

# NUEVAS PERSPECTIVAS CARTOGRAFICAS PARA LOS AÑOS 90

**Jaume Miranda i Canals**

## New Horizons for the 1990s in Cartography

En el artículo se pone en relación el avance de las distintas ciencias: geodesia, fotogrametría, topografía, informática... con la cartografía actual.

Un repaso histórico del panorama cartográfico de los años 60 permite enlazar con el futuro prometedor que se abre para la cartografía al comenzar la década de los 90, gracias a los avances de la física del estado sólido, el desarrollo de las ciencias del proceso de la información, la segunda generación de los sistemas fotogramétricos analíticos y de los Sistemas de Posicionamiento Global.

Todo ello supondrá una radical transformación de los Atlas Topográficos Nacionales con la incorporación de los Atlas Digitales y los Sistemas Digitales del Terreno. Paralelamente, los avances de las tecnologías de archivo, con la irrupción de los nuevos soportes sobre Disco Optico WORN y los nuevos sistemas para la difusión de la información, hacen prever una nueva época para la cartografía que sin duda obligará a romper con muchas viejas concepciones sobre la información geográfica.

The paper puts recent advances as within geodisics, photometrics, topography and communications into their interrelating context of present day cartography.

A historical survey of the cartographical scene during the 60s is used to tie in a promising vision of what the early years of the 90s could promise us in this field thanks to to advances in solid state physics, information processing improvements and second generation photometric analysis and global positioning systems.

All the afore-going has led to a radical change in National Topographical Atlases with a call now for an incorporation of digital atlases and a digital systematization of ground relief. To this must be added all that can be offered by archive storing advances now that new support systems such as the WORN optical disk have come on the scene, as well as the possibilities opened up by new ways of spreading information. The future of cartography, thanks to all this, is felt here to be most promising and many time shrouded concepts as within the world of geographical information as seen as being soon to the questioned.

A cartografía clásica y moderna ha sido un conjunto multidisciplinar de ciencias y técnicas las cuales han dado lugar a productos que, principalmente, pueden ser calificados como analógicos con unos niveles de precisión aceptables puntualmente, pero difícilmente generalizables.

El inicio de los primeros vuelos fotogramétricos de la década de los años 20 significa el nacimiento tecnológico de la moderna fotogrametría, tecnología que ha permitido la producción cartográfica con un rigor y precisión que tan sólo en este siglo XX se ha podido conseguir. En el período 1920-1960 una serie de desarrollos métricos basados en sistemas óptico-mecánicos cada vez más eficientes, ha permitido la producción en masa de *modus* gráficos (mapas de lí-

nea) y fotográficos (rectificación y ortoproyección). En cualquier caso, la investigación en las disciplinas numéricas ligadas al hecho cartográfico (geodesia, fotogrametría, topografía, etc.), avanzaban en la primera mitad del siglo esperando la existencia de una base de cálculo efectiva y versátil.

## EL ESCENARIO DE LOS DECENIOS 1970 Y 1980

La irrupción del miniordenador durante la década de los años 60 y su consolidación en los años 70 va a permitir la implementación de los primeros sistemas analíticos en la medida fotogramétrica y, por tanto, el inicio de una segunda generación de sistemas analíticos presentados en los congresos del ISPRS (International Society

for Photogrammetry and Remote Sensing) de 1973 y 1976 aunque podrían encontrarse precursores, como Helava, ya en 1957.

Esta segunda generación 1970-1980 ha originado en veinte años, dos líneas principales de investigación y desarrollo:

1. La línea fotogramétrica que, basada en métodos de cálculo de ayuda al trabajo de generación cartográfica a través de sistemas analíticos, ha introducido la aerotriangulación (Ackerman, 1986) con un método general para la determinación de puntos en el terreno, aligerando y posibilitando a la vez la restitución de grandes áreas de la superficie terrestre. Esta posibilidad de producción en masa ha provocado el uso común de los modelos digitales del terreno que especialmente en el ámbito de la ingeniería civil, se ha transformado en el campo de estudio numérico más ampliamente tratado donde se han invertido importantes esfuerzos dada su variada utilización, que va desde las geo-ciencias hasta su aplicación en toda clase de ingenierías y otros usos cotidianos, como la navegación aérea civil y militar. Esta línea desemboca en la implantación de sistemas de cartografía digital que permiten acumular la información gráfica y cartográfica en soporte digital para su posterior uso y grafismo. Esta es la denominada cartografía digital, que nace en los años 70 y se desarrolla en la década de los 80.

2. La línea de sistemas de información o bases de datos geográficas, concepto desarrollado por multitud de usuarios (fundamentalmente del campo de la planificación territorial y urbanística), tiene un desarrollo paralelo a la línea fotogramétrica. La falta de herramientas de cálculo capaces de almacenar los volúmenes de información requeridos y de darles la interactividad necesaria, amortiguaron el crecimiento de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) en los años 70. Sólo la implementación sería de los miniordenadores a principios de los años 80 posibilitó la generación de los primeros SIG sólidos, aunque todavía muy específicos y alejados del usuario final. El catastro digital, integrado y polivalente, es siempre el ejemplo más estudiado, criticado y casi nunca logrado del todo. Esto se produce a causa de la falta de potencia, ya que el miniordenador no ponía en manos del usuario ni memoria con capacidad suficiente (hablando de Gbytes) ni la potencia de cálculo local para cada usuario. La solución a estas deficiencias se ha iniciado parcialmente al final de los años 80.

De otra parte, por lo que respecta a los sistemas de captura de información primaria, en este período (1970-1989) se han perfeccionado sustancialmente los sistemas de navegación aérea hasta llegar a la inserción de cámaras fotográficas métricas en plataformas aéreas o en las espaciales, en satélites de observación de la Tierra, y hasta la introducción de cámaras digitales y multispectrales. Todo este proceso ha quedado consolidado principalmente, en occidente, en

las series «LANDSAT», americana, y «SPOT», francesa. Fundamentalmente, se han introducido nuevos sensores que han permitido a las líneas de investigación fotogramétricas y a los SIG ampliar su capacidad en lo que concierne a la obtención de los datos así como a la cobertura territorial.

Pero una vez más, al finalizar la década de los 80, el advenimiento de plataformas de cálculo basadas en una gran integración y en la optimización de las arquitecturas de los CPU (Central Process Unit o Unidad Central de Procesos) digitales ha permitido la consolidación de dos tendencias:

a) La migración de todos los sistemas analógicos hacia sistemas digitales.

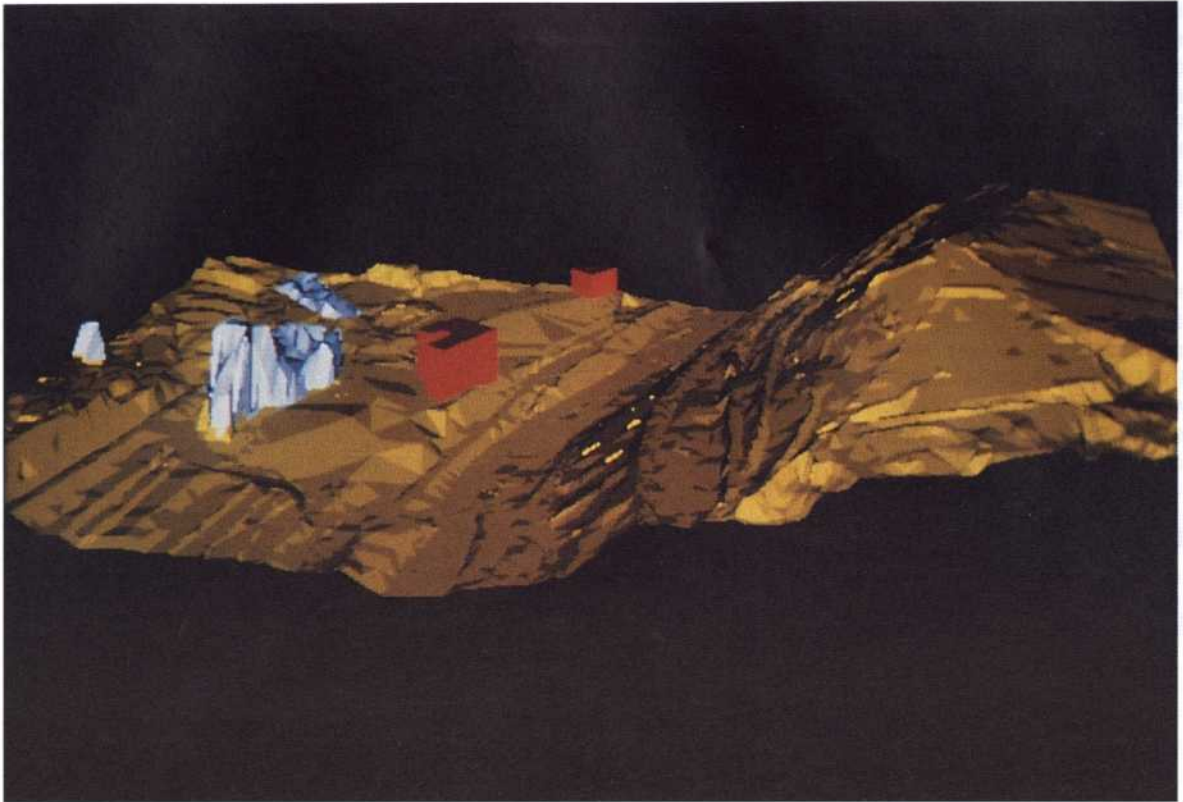
b) La implementación de los grandes sistemas de Software que requerían calculadoras caras y pesadas, sobre ordenadores personales, PC. Esto ha permitido la divulgación del proceso de aerotriangulación, de los modelos digitales de terreno (MDT), SIG, teledetección, y su uso en producción real con los usuarios reales. De esta forma, se ha podido acortar la distancia entre los instrumentos de trabajo y el usuario especialista y, por tanto, se ha conseguido dar más eficacia al uso tecnológico.

Pero, además de la consolidación de los sistemas de la primera y segunda generación (analógicos y analíticos, respectivamente), los avances en los sistemas de Hardware y de adquisición de imagen, calibración de cámaras, algoritmos rápidos de procesos de imagen, algoritmos para la localización de subpixel de patrones, y algoritmos para el solapamiento de imágenes estereó y su correlación digital, han ocupado las principales tendencias de investigación dentro de una de las ramas de las ciencias de medida de la tierra como es, por ejemplo, la fotogrametría. De esta forma, se perfila ya el nacimiento de una tercera generación (digital) que fructificará, con toda seguridad, en el decenio de los años 90.

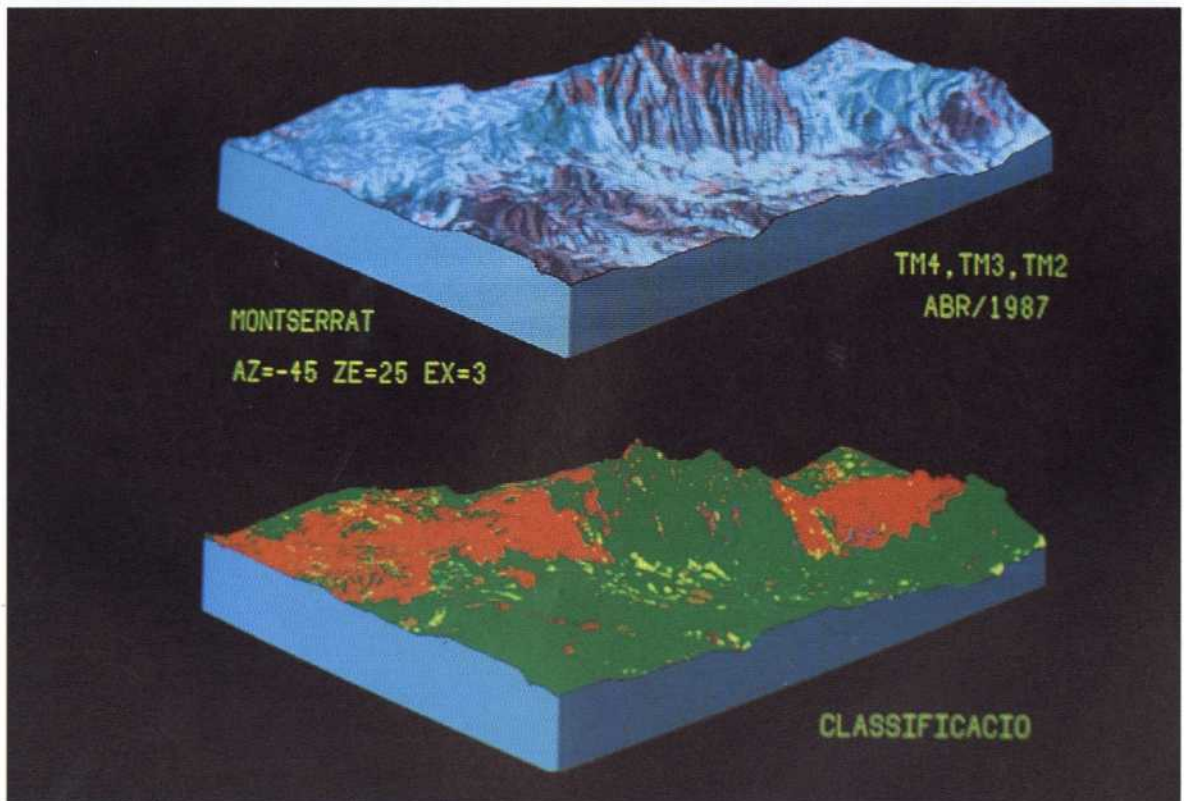
Se puede ver, pues, que la cartografía tiene, desde el siglo XX, una perspectiva de subsidiariedad en su investigación y desarrollo, hacia las tecnologías de cálculo y de proceso. Dicha subsidiariedad viene determinada por su volumen, pequeño respecto a los grandes sectores promotores del desarrollo tecnológico de la industria occidental. No obstante esta subsidiariedad, el tiempo de implementación de las nuevas técnicas o plataformas de procesos ha sido siempre corto por el avance de la investigación universitaria especialmente en Europa Central y en los Estados Unidos de América.

## NUEVOS ESCENARIOS PARA EL DECENIO DE LOS 90

El avance de la física del estado sólido y de las ciencias del proceso de la información harán que, a mediados de la década, un procesador



Visión en perspectiva de un modelo digital cartográfico tridimensional (foto: ICC).



Perspectiva digital de Montserrat después del incendio de 1986: Imagen en falso color (parte superior) e imagen clasificada resultante (parte inferior) (foto: ICC).

RISC (Reduce Interaction Set Computer) con tecnología GaAs (siglas químicas del ARSENIURO de GALIO), de 100 MIPS (millones de instrucciones por segundo), estructuradas en estación de trabajo, costará de 25.000 a 75.000 dólares. Este hecho dará un impulso que hará desarrollar las aplicaciones dentro de los ámbitos propios de las denominadas Ciencias de la Tierra, donde se encuentra incluida también la cartografía digital.

Es difícil, por no decir imposible, entrever los nuevos desarrollos que hoy día, en el inicio del decenio, se perfilan, pero podemos intentarlo sintéticamente con el ánimo de ayudar a concretar el escenario futuro. Trataremos tres escenarios distintos que tienen, sin embargo, como nexo de unión su relación en la cartografía digital.

### Las estaciones fotogramétricas digitales

La segunda generación de sistemas fotogramétricos analíticos ha supuesto fundamental-

mente un avance en la precisión de la medida. Los sistemas comerciales garantizan 1/2 micrómetros sobre fotogramas con elevados rendimientos en términos de repetibilidad de la medida. El circuito de la información continua siendo analógico mediante un sistema óptico mecánico de gran precisión. Esta segunda generación ha tenido una subgeneración intermedia que ha formado los sistemas denominados de fotogrametría en tiempo real (RTP). Puede definirse como una técnica de medida tridimensional sin contacto, con un tiempo de respuesta equivalente a un ciclo vídeo. En sus aplicaciones cartográficas ha significado un paso hacia la estación fotogramétrica digital integral, aunque todavía con la limitación del uso de películas analógicas tradicionales y el proceso simultáneo de ventanas del orden de  $512 \times 512 \times 8$  pixels. En todo caso en la determinación se ha obtenido un error relativo en planimetría de 1:5.000 y una precisión de 0,08 por 1.000 de la distancia objeto, así como un RMSE en la imagen plana de 0,7 micrómetros,



Visión parcial del Mapa d'usos del sòl de Catalunya 1:250.000. Area de Barcelona y sus alrededores (foto: ICC).

que corresponden a un giro principal de 0,04 pixels (Gruen, 1986).

Esta subgeneración ha permitido el desarrollo de técnicas en los ámbitos de la fotogrametría terrestre y de la visión robótica y, en cambio, ha tenido un éxito discreto en el campo de las aplicaciones cartográficas, teniendo en cuenta que los primeros restituidores tradicionales no han llegado al mercado de la producción cartográfica, quedando como prototipo para la investigación y el desarrollo.

Pero, como siempre, las ecuaciones existentes y las limitaciones son impuestas por las plataformas. La tercera generación de sistemas fotogramétricos digitales contemplará el trabajo sobre todo el par estereoscópico sin limitaciones, con una relación pixel-superficie analógica, fotografiada de un máximo de 5 micrómetros. De tal forma que se puede mantener todo el contenido semántico de cada uno de los elementos planimétricos identificable sobre un par estereoscópico analógico. Esto, comporta el manejo de imágenes digitales de 60 k x 60 k pixels estéreo, posibilidad todavía lejana en la actualidad. Pero la distancia se acorta diariamente; gran parte del trabajo algorítmico se ve obligado a avanzar y las estaciones de trabajo que permitirán construir sistemas productivos tienen un horizonte: en 1995, para su implementación práctica y constituirán la tercera generación de las estaciones fotogramétricas digitales integrales.

### **El uso de los sistemas GPS en el reajuste fotogramétrico**

Las agencias cartográficas dependientes del Estado tienen normalmente un volumen de producción que conduce a menudo al típico cuello de botella en el proceso productivo, como es el caso del elevado volumen de su triangulación aérea. Las campañas de vuelo tienen, en sus diferentes modalidades y escalas, una gran capacidad para generar estéreo-modelos sobre los territorios a cartografiar. A título de ejemplo ponemos el caso del ICC (Instituto Cartográfico de Cataluña), que produjo 19.000 estéreo-modelos en el año 1989. Como referencia, un Instituto Geográfico Nacional europeo produce del orden de 50.000 estéreo-modelos en una campaña anual. Ello conlleva un gran volumen de aérotiangulación para la compilación fotogramétrica. El Instituto Geográfico de Cataluña aerotriangula unas 4.500 imágenes al año. Diversos vuelos, distintas escalas, distintos requerimientos, diversidad de problemas, todo unido conduce, aparte de tener un sistema de aerotriangulación robusto y flexible a la vez, a la necesidad de contar con una red geodésica densa y con un notable esfuerzo de trabajo topográfico.

El advenimiento de los sistemas de posicionamiento global (GPS) ha supuesto una nueva frontera para las actividades geodésicas y topográficas, en especial en sus aplicaciones cartográ-

ficas. Se han obtenido medidas de alta precisión con una eficacia y eficiencia no conocidas hasta el momento. Pero el trabajo de campo terrestre, con el uso de los sistemas GPS se ha iniciado prácticamente al final de los años 80 con las limitaciones de una constelación de satélites no completa, a pesar de que se llama la década del avance en la sofisticación y el abaratamiento de los receptores, lo que ha supuesto un paso importante cara a su utilización inmediata.

El objetivo más importante para los fotogrametristas es la integración del sistema GPS y las cámaras métricas (MC) analógicas embarcadas en los aviones fotogramétricos. Este interface permitirá cambiar la información del trabajo de campo topográfico por la información GPS, e introducirla directamente en las operaciones de aerotriangulación. Los primeros ensayos realizados sobre bloques de uso operacional (4 km x 4 km) han producido resultados suficientemente positivos para considerar que su aplicación práctica será próspera en producción. Actualmente se trata de determinar en fase de test una variedad de bloques, realizando simulaciones (Colomina, 1989) que elaboren el modelo matemático necesario para la integración de los datos cinemáticos GPS en el seno de una red fotogramétrica y obtener resultados con residuos inferiores a los generalmente aceptados.

Esta tecnología, tendrá consecuencias especialmente importantes en las implantaciones cartográficas de territorios con redes geodésicas débiles o acceso geográfico difícil. En cualquier caso, garantizada la total constelación GPS-MC se presenta como una realidad en el ámbito de la investigación y un avance considerable en la aerotriangulación fotogramétrica, que dará mayor precisión a los levantamientos cartográficos y una productividad de un orden de magnitud superior a la actual.

### **Atlas digitales**

La complejidad del hecho cartográfico ha conducido históricamente al hecho de que las series cartográficas denominadas Mapas Topográficos Nacionales (MTN), tienen en los países avanzados un número reducido de ediciones. Paralelamente, la cartografía derivada que es producida a partir de la básica existente, era ya parcial y puntual, con una total discontinuidad. La necesidad de un tratamiento global de la información cartográfica genera el concepto de Atlas con el fin de dar un carácter omnicompreensivo, tanto territorial como temático, o bien con ambas características.

Normalmente, un país publica un conjunto de Atlas generales y temáticos que representan un gran esfuerzo geográfico y cartográfico, pero también de análisis y síntesis estadística, etc. El resultado final genera una obra magna, pero inmóvil, difícil de consultar y de actualizar, de difusión restringida, y por tanto, que cumple par-



Comprobación de la digitalización y del etiquetado de clases del Mapa geológico de Catalunya 1:250.000 (foto: ICC).

cialmente sus objetivos. Estos aspectos poco positivos no son fruto del proceso o del método de trabajo, sino de la dinámica territorial de los países y de las variables estadísticas que los definen. A partir de los años 80 se inicia una tendencia hacia la expansión digital de los compendios de información cartográfica y estadística que representan los Atlas, con la aparición de los primeros Atlas Digitales:

— Los que reproducen la estructura en árbol de la información que es subdividida en capítulos, subcapítulos, epígrafes, páginas, etc. Se trata de una reproducción mimética de la obra impresa aunque con ventajas en su actualización y

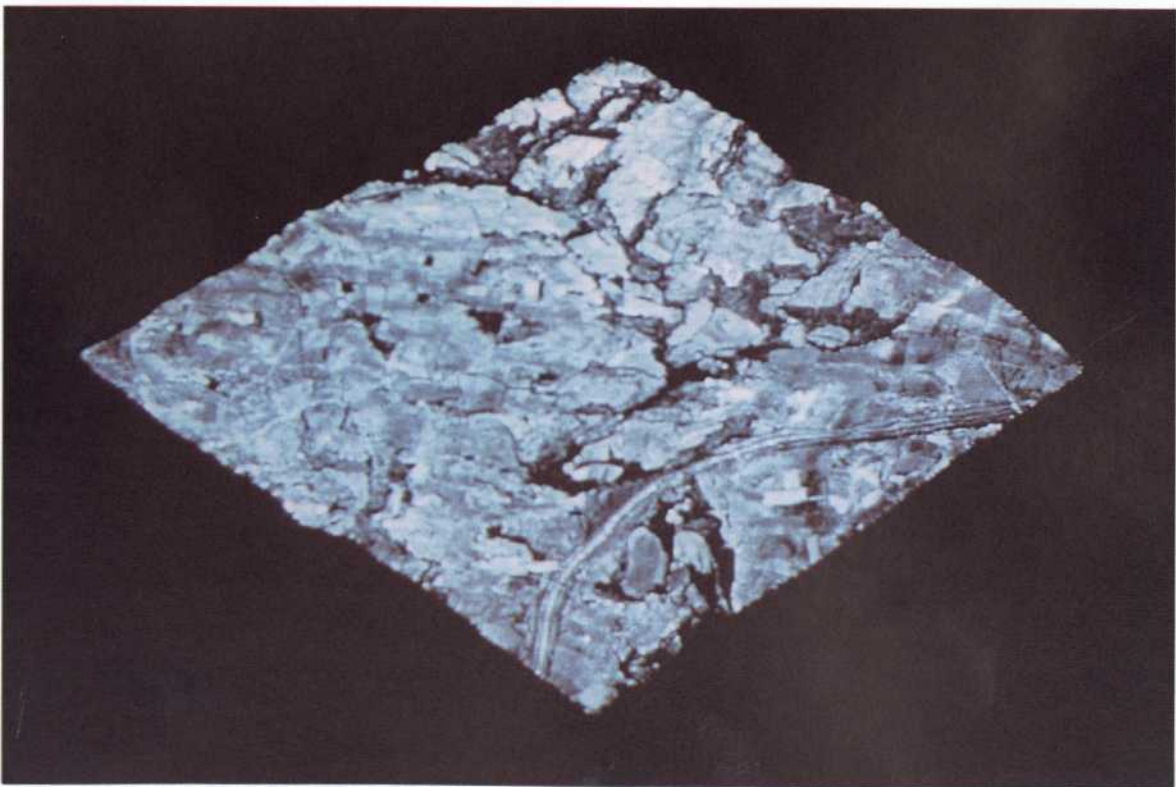
reproducción. Permite una reproducción y distribución a un precio módico, a través del soporte en disco flexible de bajo coste. Un ejemplo de esto es el Electronic Atlas of Arkansas, 1988.

— Los que permiten la interrogación mediante operaciones booleanas de los diversos contenidos, que aunque son estructuras de forma paralela al Atlas impreso permiten la interrogación gráfica y alfanumérica de las distintas tablas y archivos de información que conforman el Atlas. Asimismo también permiten la expresión gráfica selectiva con toda una inforgrafía específica. Como ejemplo tenemos el Globe Atlas, 1989.

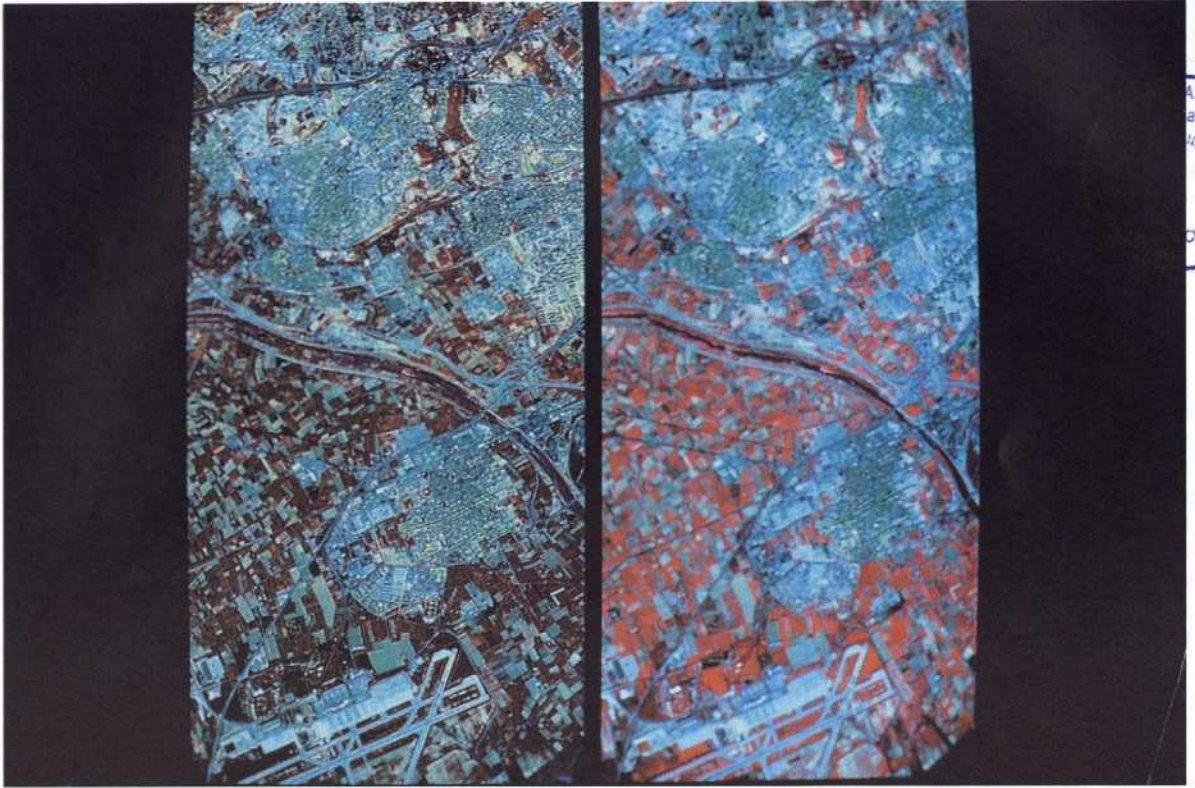
— Los que tienen interface de usuarios avanzado con lenguajes que permiten la interrogación no estructurada y que, por tanto, tiene que tener un sistema de inteligencia superior. Se trata ya de sistemas de información que permiten un nivel de integración completo, que comportan un interface gráfico inteligente que selecciona la expresión cartográfica en función de la información tratada en la interrogación. Este es un campo de investigación que se inicia en la década de 1990 en toda la gama de sistemas tipo Hypercard.

Un complejo sistema de compilación, construcción, expresión y producción no puede auto-limitarse y transformarse quedando obsoleto informativamente o cartográficamente; los Atlas Digitales permitirán resolver estos problemas y abaratar el coste.

En cualquier caso, la limitación sustantiva que los productos digitales tienen, es la disponibilidad de la plataforma informática, que parece



Visión en perspectiva con Modelo Digital del Terreno (MDT) de una hoja del Ortofotomapa de Catalunya 1:5.000 (foto: ICC).



*Corrección radiométrica de una imagen de satélite (foto: ICC).*



*Reactor Cessna Citation I del Cartogràfic de Catalunya para la realización de fotografía aérea vertical (foto: ICC).*

que ya está en vías de solución. Cada escuela dispone ya de un PC compatible o de otras plataformas estándar y esta tendencia va en aumento.

## FUTUROS DESARROLLOS A MEDIO PLAZO

En el capítulo anterior se han descrito brevemente campos de investigación iniciados antes de los años 90 que fructificarán próximamente gracias a la existencia de tecnología o de plataformas que permitirán su implantación. Hay otros problemas cartográficos que por su complejidad conceptual no dependen tanto de los recursos de proceso como de las nuevas aplicaciones, más inteligentes, que permitirán obtener resultados reales cercanos a la producción cotidiana. Serán, pues, necesarias nuevas técnicas para afrontar los problemas hasta aquí mencionados que todavía no están maduros a inicios del decenio, pero que tendrán, con gran probabilidad, solución al finalizar los años 90.

## Georreferenciación automática de la toponimia cartográfica

La georreferenciación de la toponimia cartográfica es una de las tareas cartográficas en la construcción de un mapa que requiere un análisis de mayor profundidad y un mayor trabajo en su realización. Se trata de un conjunto de procedimientos geográficos y cartográficos que el profesional cartógrafo utiliza conjuntamente. Diversos autores han descrito extensamente el conjunto de reglas que se usan en la localización de la toponimia, pero pueden resumirse en unos principios generales del tipo: asociación biunívoca, minimalización de los solapamientos, legibilidad, contextualización de la extensión espacial del ítem, correspondencia sin ambigüedad de la leyenda, etc.

Se han producido aproximaciones en la implementación de sistemas automáticos para la interacción de textos con sistemas de programación usual en el cálculo científico, tipo FORTRAN, que han puesto de manifiesto sus limitaciones. Otras aproximaciones han mostrado la conveniencia del uso de lenguajes para procedimientos tipos PROLOG. Una de las principales razones de su efectividad es, en el contexto de la colocación toponímica, que el lenguaje proporciona un motor de inferencia, o mecanismo de búsqueda, que trabaja automáticamente hasta determinar cuál es la solución de colocación textual que satisface las restricciones o reglas establecidas. Esta aproximación permite un tratamiento del sistema experto más flexible que las soluciones tradicionales de algoritmos de búsqueda de grafos CONNEXOS. Existen ya prototipos (Jones, 1989) que permiten la colocación de 100 topónimos distintos en 36 segundos de ejecución (VAX 11/785) con una base de 100 predicados. Esta

aproximación mediante un sistema reglado tiene un gran potencial, no sólo en el ámbito de la producción fotomecánica sino también en el contexto de la generalización cartográfica. Este es un problema básico especialmente con la llegada próxima de los SIG (Sistemas de Información Geográfica), en los que la información pierde en parte el nexo de la escala y ha de ser representada a escalas diferentes y, por tanto, con la toponimia propia de cada escala. El problema de la generalización cartográfica es más complejo, pero la vía para su solución será parecido al ya en estudio, como es el de la georreferenciación automática de la toponimia cartográfica.

## La detección y extracción de líneas características de los MDT cartográficos

El traspaso de la curva de nivel en el proceso de compilación fotogramétrica al MDT fue posible en 1960 gracias a la interface de los sistemas de primera y segunda generación con calculadoras que registraban las coordenadas de los perfiles altimétricos de un modelo. Esta aproximación rigurosa es la que ha permitido la generación de bases de datos de los MDT y su generalización y transmisión mediante su uso numérico. Pero esto ha significado la no compilación de la curva de nivel fotogramétrica. Todos los desarrollos en el campo de la interpolación sobre los MDT para obtener directamente la curva de nivel, elemento esencial de la representación cartográfica, han conducido a la demanda de más información de contorno tridimensional, como puede ser la propia planimetría o bien las denominadas «Break-line» o líneas de cambios de derivadas. Entonces se ha planteado una multiplicación de esfuerzos en la compilación (MDT y curvas) con la generación de dos productos que pueden llegar a dar lugar a contradicciones puntuales (conexiones, tamaño de hojas, etc.) De hecho, lo que se propone es la nueva restitución de las líneas características, que es una función de extracción que realiza un operador una vez que ha hecho el perfilado del MDT. Por tanto, la información necesita recurrir a un operador humano para interpretarla.

Actualmente, otros sectores de la robótica, como son los de la visión industrial, se plantean problemas similares en la detección y extracción de facciones determinadas de superficies que corresponden a hechos industriales o bien fenómenos humanos (reconocimiento de la voz, etc.). Estos tipos de tratamiento algorítmico de la información se denominan de Cálculo Neuronal y pueden aportar una metodología sólida para la caracterización lineal de los MDT que permitan a los interpoladores existentes generar una representación del MDT fiel, precisa y semánticamente correcta según los usos de la representación cartográfica.



## Uso, transferencia, difusión y archivo de la información cartográfica digital

Parece que catalogar este epígrafe con un desarrollo de futuro casi lejano es un contrasentido. De hecho esto se hace cotidianamente. Es cierto, sin embargo, que no hay una perspectiva de futuro clara. En primer lugar no existen estándares para la representación cartográfica consolidados y aceptados de forma general, lo cual significa un esfuerzo de interface que frena el desarrollo. Por otra parte, los sistemas de soporte son reducidos ante el enorme volumen de datos que cualquier información cartográfica, aunque parcial, significa. Por ejemplo, sólo los niveles correspondientes a hidrografía y Comunicaciones del mapa 1:100.000 del USGS significa 242 cintas magnéticas a 6.250 bip. Otro ejemplo, una hortofoto digital de escala 1:5.000 de las que produce el ICC ocupa en su imagen un mínimo de 20 Mb de información (la serie consta de 6.345 hojas). Los nuevos soportes sobre disco óptico WORM no tienen todavía estándares en sus formatos, y por tanto, el interface es necesario para cada uno de los usuarios. Parece claro que el avance tecnológico en materia de soportes es importante, pero no llega todavía en materia de capacidad y estandarización a los niveles que la gran exigencia de la información cartográfica exige.

Apuntaremos únicamente un problema no estrictamente tecnológico, pero que cierra el paso a la difusión directa de la información cartográfica digital. Se trata del denominado «Copyright». La situación tiene un porvenir poco claro, ya que es un asunto poco técnico y ligado a los derechos muy regulados en otros campos de la industria gráfica, pero poco regulado en la industria cartográfica.

## CONCLUSIONES

La palabra clave es crecimiento. Se multiplican los usos de la información cartográfica a la vez que su demanda crecerá enormemente. Como no es uno de los motores del crecimiento tecnológico en general, la cartografía tendrá que incorporar correlativamente los avances en las plataformas de proceso y las tecnologías del tratamiento de la información que aparecen de forma creciente. En cualquier caso, al final del siglo el panorama será muy diferente del que hoy conocemos, el rigor en la medida de la Tierra llegará a niveles no alcanzados todavía y las coberturas cartográficas tendrán un ámbito incomparable al del momento presente. *Tempus fugit.*

Enero 1990

## BIBLIOGRAFIA

- ACKERMANN, F. (1986): *The Impact of Modern Data Processing in Photogrammetry*. Stuttgart University. Lisboa. Abril.
- COLOMINA, I. (1989): *Combined Adjustment of Photogrammetric Data*. 42nd Photogrammetric Week. Stuttgart. Semana 11-16 de septiembre.
- ELECTRONIC ATLAS OF ARKANSAS (1988): University of Arkansas Press. Fayetteville (Arkansas).
- GRUEN, A., y BEYER, H. (1987): *Real-Time Photogrammetry at the Digital Photogrammetric Station*. The Canadian Surveyor, volumen 41, núm. 2, págs. 181-199. Ottawa. Estiu.
- JONES, C. (1989): *Cartographic Name Placement with Prolog*. IEEE Computer-Graphics and applications, volumen 9, núm. 5, págs. 36-47. North Hollywood. Septiembre.
- STAPLETON, J. (1989): *Use of Optical Disk for Digital Cartographic Data Transfer and Archiving*. FDC Newsletter, núm. 9, págs. 6-7. Reston (Virginia). Hivern.
- ZUCKER, S.; DOBBINS, A., e IVERSON, L. (1989): *Two Stages of Curve Detection Suggest Two Styles of Visual Computation*. Neural Computation, volumen 1, núm. 1, págs. 68-81. Cambridge. Primavera.