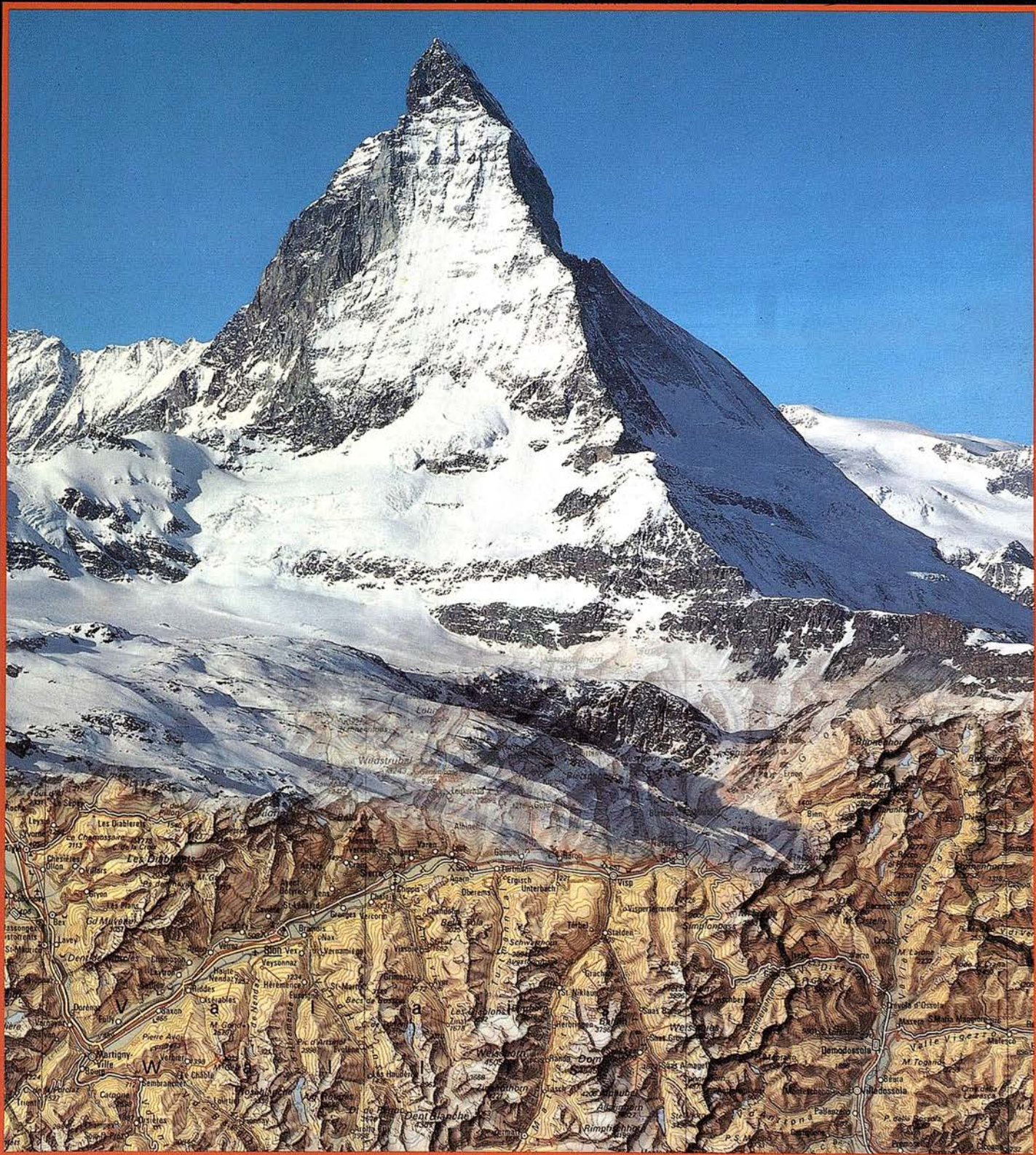


MAPPING

REVISTA DE CARTOGRAFIA, SISTEMAS DE INFORMACION
GEOGRAFICA, TELEDETECCION Y MEDIO AMBIENTE



PRECIO 900 PTAS.

1997

JULIO

Nº 39



Un Sistema de Información Geográfica sobre Windows NT... en la palma de su mano

Quizás su SIG esté funcionando actualmente en una red basada en UNIX. Probablemente esté Ud. utilizando sus herramientas ofimáticas en un sistema Windows®.

¿No le gustaría disponer de la familiaridad y sencillez de utilización del entorno Windows de Microsoft, tanto para su Sistema de Información Geográfica como para su procesador de textos y su hoja de cálculo? Sin duda. ¿Quizás le preocupa la migración a partir de su sistema actual? La solucionaremos. ¿Porqué no disfrutar ya de un sistema que puede acceder y compartir datos en un entorno único, sin solución de continuidad... y de una compañía que entiende sus necesidades?

Intergraph tiene la solución SIG para sus problemas. Durante los tres últimos años, Intergraph ha sido el suministrador líder en SIG. Durante este período hemos suministrado productos basados en Windows NT, tales como MGE y FRAMME, a un número cada vez mayor de clientes, asegurándonos siempre de proteger sus inversiones en datos. Hoy en día disponemos de la gama más amplia de soluciones de software técnico para este sistema operativo, con cerca del 93% del mercado mundial de SIG sobre Windows NT y soluciones para prácticamente cualquier necesidad: desde visualización a bajo coste hasta gestión y análisis de los datos, Intergraph dispone de la solución SIG en el entorno Windows NT.

Y ahora, más que nunca, esta solución está al alcance de su mano.

Si desea recibir más información o presenciar una demostración, póngase en contacto con una de las oficinas de Intergraph España Madrid, tlf. (91) 3728017 Barcelona, tlf. (93) 2005299 Bilbao, tlf. (94) 4634066.

Y no olvide consultar nuestra información WEB en

<http://www.intergraph.com/iss/products/mapping> <http://www.intergraph.com/spain>

INTERGRAPH
SOFTWARE SOLUTIONS



¡Entre en la Topografía del futuro, hoy!



Dé un paso seguro hacia el Próximo Siglo con los innovadores Programas de Topcon y su Tecnología. 65 años liderando la industria de fabricación de instrumentos.

Desde su creación en 1932, TOPCON ha estado dando forma al progreso de la industria topográfica ofreciendo una línea completa de productos para la topografía con tecnología punta. Adoptando lo que llamamos La Estrategia del "Principio", TOPCON confirma su compromiso con el progreso y su pensamiento siempre por delante.

Empiece el siglo XXI con un Líder. Empiece con TOPCON.



Edita:
CARTOSIG EDITORIAL, S.L.

Editor - Director:
D. José Ignacio Nadal

**Redacción, Administración
y Publicación:**

Pº Sta. Mª de la Cabeza, 42
1º - Oficina 3
28045 MADRID
Tel.: (91) 527 22 29
Fax: (91) 528 64 31

Delegación en Andalucía:

D. Miguel A. Jlménez
Luz Arriero, 9
41010 SEVILLA
Tel.: (95) 434 25 11
Fax: (95) 434 41 34

Fotomecánica:

Haziel, s. l. Sistemas de Reproducción

Impresión:

COMGRAFIC, S.A.

ISSN: 1.131-9.100

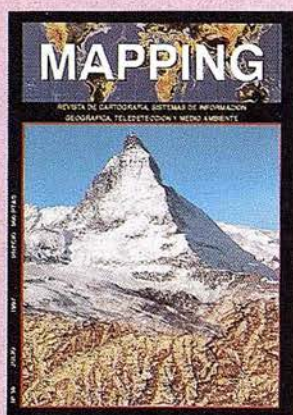
Dep. Legal: B-4.987-92

Mapa cabecera de MAPPING:

Cedido por el I.G.N.

Portada:

"Imagen impresa por cortesía de ©
Orell Füssli Kartographie AG, Switzer-
land"



Prohibida la reproducción total o
parcial de los originales de esta
revista sin autorización hecha
por escrito.

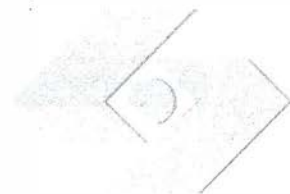
No nos hacemos responsables
de las opiniones emitidas por
nuestros colaboradores.

- 6** PRODUCCIÓN DE CARTOGRAFÍA DIGITAL CON INTERGRAPH
- 8** COMPARACIÓN REFLECTIVIDAD-INTENSIDAD DE LLUVIA EN IMÁGENES DE RADAR METEOROLÓGICO SOBRE BARCELONA
- 12** "LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL EN LA GESTIÓN DE RECURSOS AMBIENTALES"
- 14** INTEGRACIÓN DE FUENTES DE DISTINTA RESOLUCIÓN ESPACIAL: IMÁGENES DE SATÉLITE NOAA Y MAPA DE OCUPACIÓN CORINE
- 18** EGM96. UN NUEVO MODELO DE GEOIDE DE PRECISIÓN
- 24** USO DE LA SIMULACIÓN EN EL CONTROL DE ERRORES EN LA RASTERIZACIÓN
- 36** EVALUACIÓN DE EQUIPOS GPS PARA LEVANTAMIENTOS PLANIMÉTRICOS EN ACTUACIONES FORESTALES
- 43** ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL RÍO ELICHE A SU PASO POR EL NÚCLEO RESIDENCIAL DEL "PUENTE DE LA SIERRA", BASADO EN EL MÉTODO DE HELLAWELL
- 46** UTILIZACIÓN DEL COLOR EN LA DETECCIÓN DE FRONTERAS
- 72** TOPOGRAFÍA Y COOPERACIÓN, CAMINOS PARALELOS
- 74** COMPARACIÓN ENTRE EL SISTEMA DE MEDICIÓN GPS Y LOS MÉTODOS TOPOGRÁFICOS CONVENCIONALES EN UNA TRIANGULACIÓN DE PRECISIÓN
- 82** VISUALIZADOR GRATUITO DE IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN
- 86** RESEÑA DEL DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE COMPENSACIÓN EN BLOQUE "COBLO" Y TAREAS DE ACTUALIZACIÓN

C E N T E N A R I O

Isidoro Sánchez, S.A.

T O P O G R A F I A



tecnología
servicio

UN SIGLO DE TECNOLOGÍA Y SERVICIO AL CLIENTE

Un siglo es más que un cumpleaños, tiene el carácter del símbolo y, si nos lo permiten, de la proeza sencilla de pelear durante tanto tiempo.

Hoy, cuando alcanzamos el Centenario, es inevitable sentir agradecimiento, profundo y sano, hacia todos los que han estado de una forma u otra dentro. A los Clientes les agradecemos que hayan dado vida a nuestra empresa, a los que han reclamado habernos puesto el listón más alto, a los que nunca nos han comprado que sigan siendo un gran reto y a la competencia que nos haya enseñado tanto. A todos ellos, gracias.

Porque cien años no son casualidad

100

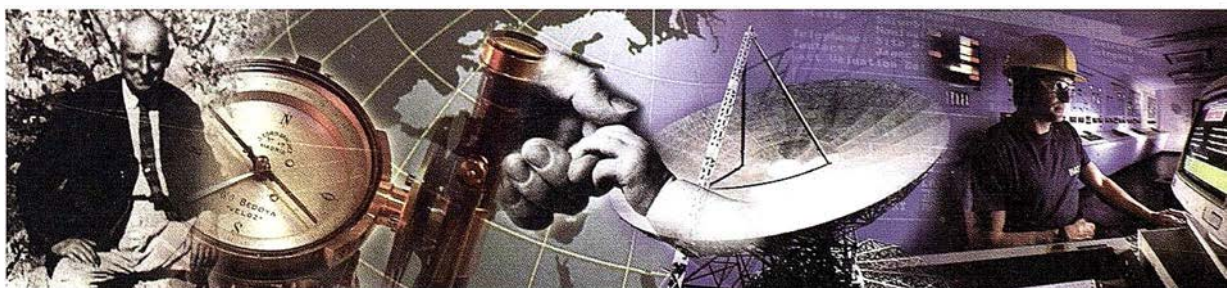
CENTENARIO
Isidoro Sánchez
1897 ~ 1997

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO DE:

SOKKIA

DISTRIBUIDOR GENERAL DE:

 **Trimble**



Ronda de Atocha, 16. 28012 MADRID
Tel: (91) 467 53 63 • Fax: (91) 539 22 16

PRODUCCIÓN DE CARTOGRAFÍA DIGITAL CON INTERGRAPH

José Fábrega Golpe
María José Serrano Beltrán
Begoña Verdejo Herreras

Departamento Técnico de
Intergraph España

Intergraph es una compañía productora de programas y equipos informáticos especializada en el tratamiento de la información gráfica. Aunque está presente en otras áreas como la ingeniería civil, sistemas de información geográfica, arquitectura o diseño mecánico, siempre, desde sus inicios, ha mostrado una clara vocación de ofrecer soluciones completas para la producción cartográfica digital.

La estrategia de la empresa de trabajar sobre los sistemas operativos de 32 bits de Microsoft (Windows® 95, Windows NT® y sus sucesores) y procesadores Intel (Pentium-Pro, Pentium II) permite ofrecer las piezas necesarias para el proceso completo a unos precios muy asequibles.

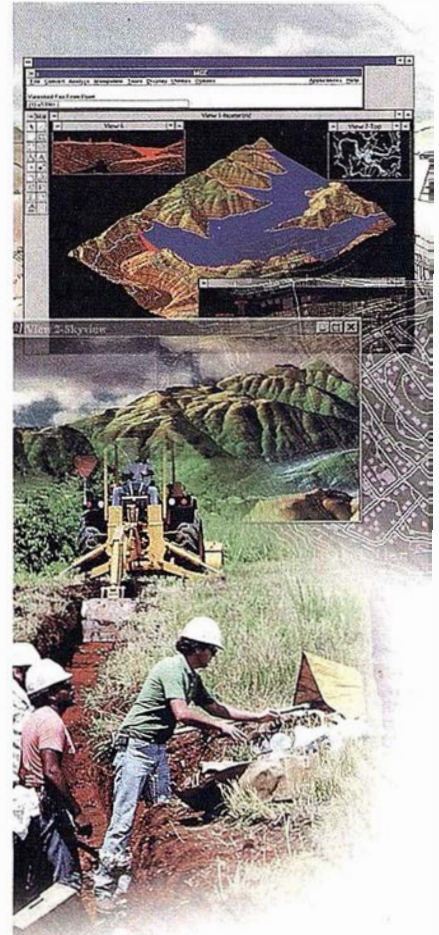
Desde la restitución fotogramétrica a la generación de los fotolitos para imprenta, Intergraph ofrece los equipos, programas y flujos de trabajo completos en un entorno de trabajo único y diseñado a medida del proceso de producción de mapas.

Repasando las diferentes etapas podemos destacar:

Fotogrametría

Continuando la colaboración establecida entre Zeiss e Intergraph, aparece de nuevo PhotoScan TD, un escáner fotogramétrico de gran precisión que une la óptica de Zeiss con equipo y aplicaciones informáticas de Intergraph.

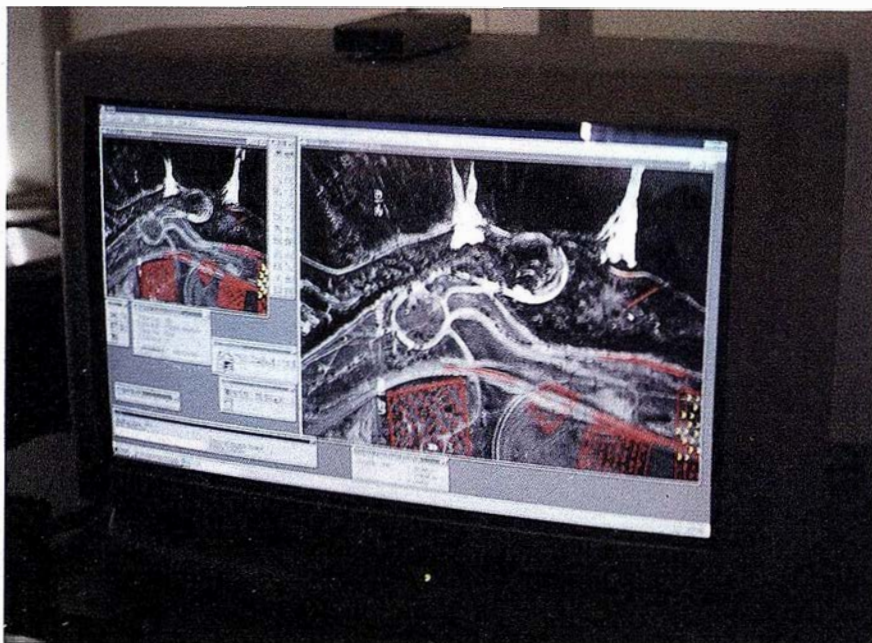
El restituidor fotogramétrico digital ImagestationZ es una máquina diseñada ex-profeso para el trabajo de fotogrametría. Sus cuatro procesadores Pentium-Pro a 200mhz trabajando en paralelo, el procesador JPEG para la compresión de imágenes y su avanzado sistema de visión estereoscópica configuran un restituidor digital de altísimas



prestaciones. A parte de los monitores clásicos de 21" (uno o dos monitores), se puede optar por el nuevo monitor de 28" de formato panorámico.

Además de las prestaciones del equipo, el programa de visualización ImagePipe, encargado de la mejora y aceleración de los procesos gráficos, aumenta aún más el rendimiento del restituidor; generando las imágenes epipolares "al vuelo" reduce los tiempo de proceso.

Junto con los programas para la orientación y la captura de datos, se ofrecen otros para la captura automática de modelos digitales del terreno,



aerotriangulación, creación de secciones transversales a lo largo de un eje o generación de ortofotos partiendo de fotografías aéreas o imágenes de satélite.

Validación, edición y corrección geométrica y topológica

Los ficheros gráficos que se obtienen de la restitución son exactamente los mismos que utilizan MGE y sus módulos. MGE es el núcleo del sistema de información geográfica de Intergraph. En él se encuentran las herramientas para casar hojas, generar nodos en las intersecciones de elementos lineales, eliminar líneas duplicadas, cerrar polígonos, crear centroides automáticamente, y otras relacionadas estos procesos.

La generación de colas de elementos para corregir, a las que se pueden asociar comandos permiten que el proceso de corrección sea lo más organizado y automático posible, facilitando mucho el trabajo del operador. Además de las herramientas de corrección geométrica existen potentes herramientas para la validación y corrección topológica. La posibilidad de utilizar la capacidad de MGE para asociar atributos a los elementos gráficos puede ser de gran utilidad en los siguientes pasos del proceso de producción.:

- La capacidad de MGE de integrar la información capturada en un SIG ofrece la posibilidad de, desde este entorno, añadir otra información que enriquezca el mapa.
- MGE Analyst es el módulo de MGE que permite crear capas de información temática basadas en valores de atributos o relaciones espaciales entre entidades.
- MGE Terrain Analyst permite añadir información temática proce-

dente de modelos de terreno (mapas de elevaciones, mapas de pendientes) u obtener una imagen sombreada del terreno que pueda servir como fondo del mapa para realzar la sensación de relieve.

- MGE Advanced Image utiliza información de fotografías aéreas o imágenes de satélite que una vez tratadas pueden formar parte del mapa.

Edición de la cartografía

Para la generación, modificación y terminación de los mapas hasta que queden listos para imprimir, Intergraph ofrece las herramientas más avanzadas. Según las necesidades de cada usuario se puede optar por dos soluciones:

1) MGE Map Finisher, ofrece funciones para extraer entidades de varios ficheros de base que darán origen a nuestro mapa impreso sin por ello modificar la cartografía de nuestro SIG.

Mediante tablas de simbología se procede a una resimbolización de las distintas entidades si ello fuese necesario. La simbología puede definirse según su fichero de origen, simbología original o de acuerdo con los atributos de la entidad. Junto con la nueva simbología se definen tramas, rellenos de color, terminaciones de las líneas y las prioridades con que se imprimen.

Se generan y superponen a las entidades del mapa las retículas de referencia, carátulas, leyendas y, si se desea, las cuadrículas para la generación de índices de situación para la toponimia o para callejeros.

Durante estos procesos, en cualquier momento, se pueden obtener en pantalla o dibujar por plotter los ficheros tal y como saldrían en imprenta, en color o según las separaciones de color, tanto en CMYK como en colores sólidos, permitiendo incluso combinar distintos porcentajes de Pantone.

2) Por otro lado MGE Map Publisher es el programa idóneo cuando se trata de publicar mapas que además de información gráfica vectorial incluyan imágenes. Los datos vectoriales se tratan mediante los procesos anteriores utilizando MGE Map Finisher y se convierten en raster a través de un proceso específico del producto. El resto de imágenes (otros mapas convertidos mediante escáner, imágenes de satélite, relieve del terreno, fotografías) se incorporan directamente.

Las definiciones de composición de colores, ángulos, tramas, mascarar, relleno de áreas y prioridades se fijan mediante tablas definidas por el usuario.

Al igual que en MGE Map Finisher las pruebas previas se pueden sacar por pantalla o por un plotter convencional en cualquier momento.

Realizada la separación se obtienen los distintos fotolitos en formato raster, que se pueden tratar directamente en una filmadora de la familia Map Setter o bien convertirlas a formato TIFF para ser procesados en otras filmadoras del mercado.

Resumen

Para la publicación cartográfica digital, es decir, cuando se trata de publicar mapas en formatos de papel grandes, en los que el sistema de coordenadas y la escala son importantes, Intergraph tiene la solución ofreciendo el proceso completo: equipos y programas. Todos en un único entorno de trabajo basado en Windows NT o Windows95 de Microsoft y ordenadores personales PC. Un entorno de trabajo en el que se integran todas las herramientas necesarias para poner en marcha un proceso de producción que resultará enormemente familiar a todos aquellos usuarios que trabajan en la producción cartográfica empleando las técnicas tradicionales.

COMPARACIÓN EFECTIVIDAD-INTENSIDAD DE LLUVIA EN IMÁGENES DE RADA METEOROLÓGICO SOBRE BARCELONA

Ferré Gravoz M.¹, Pascual Peña, F.J.²

⁽¹⁾ Ingeniero Técnico Informático. Técnico del Servicio de Informática y Cartografía de Clavegueram de Barcelona, S.A. (CLABSA).

⁽²⁾ Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones. Técnico del Servicio de explotación-Telecontrol de CLABSA.

Palabras clave:

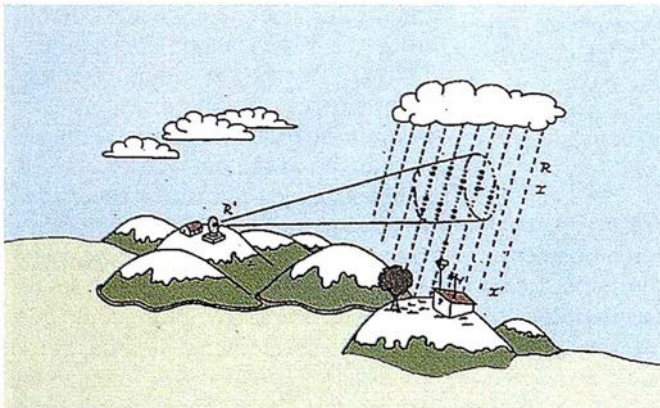
Meteorología, previsión, intensidad, lluvia, reflectividad, radar.

RESUMEN

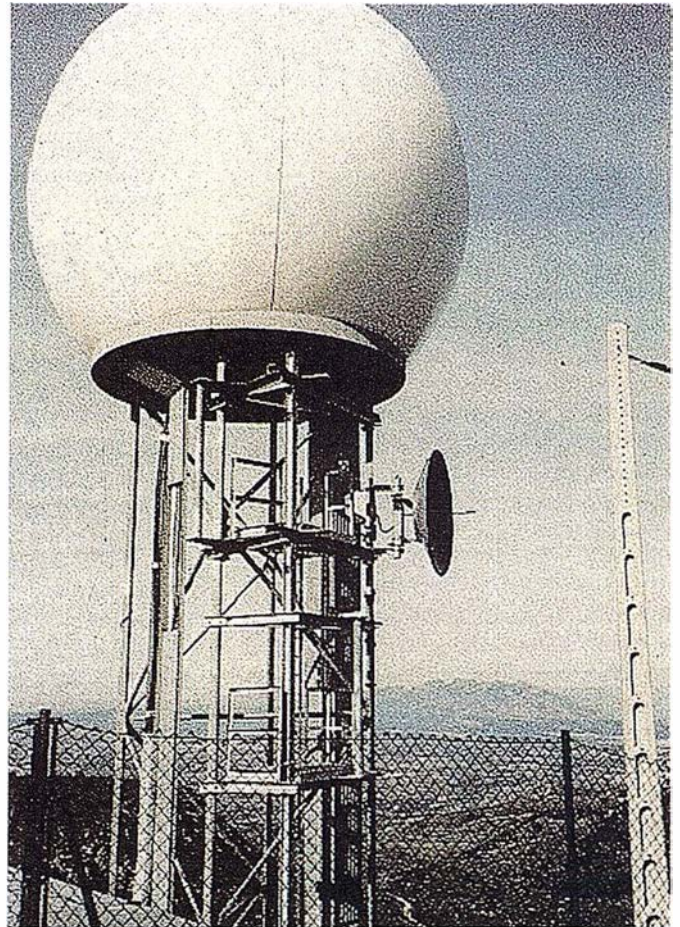
El presente estudio presenta los resultados obtenidos en la comparación de imágenes servidas por el radar meteorológico del Instituto Nacional de Meteorología en Cataluña, con las intensidades 10-minutales provenientes de la red de pluviómetros de Clabsa. Este trabajo se ha dividido en varias frases: Estudio de los formatos de las imágenes de radar, desarrollo de software de apoyo para las tareas tanto de selección de períodos y áreas, como de posterior presentación gráfica de las relaciones obtenidas, y por último obtención y estudio de los resultados. En base a estos últimos se han formulado propuestas de mejora con vistas a futuros estudios.

1. INTRODUCCIÓN

La predicción de precipitaciones, y el estudio posterior de las mismas cuentan hoy en día, con un aliado nacido en los albores de la segunda guerra mundial, y que el desarrollo de las tecnologías digitales ha convertido en un equipo operativo para la meteorología, el radar. En efecto, el uso del radar meteorológico



Funcionamiento del radar meteorológico.



Radar meteorológico.

en las redes de teledetección se está generalizando, siendo sus observaciones especialmente valiosas en la predicción, a corto plazo, de precipitaciones de tipo convectivo. Precisamente el clima mediterráneo, y su sector occidental en particular, se caracteriza por el gran peso de estos fenómenos sobre el número total de episodios de lluvia registrados.

Desde el año 1991 Cataluña dispone de un radar meteorológico del Inm situado en el pie de les Agulles, a 654 metros de altitud, y a 20 kms de distancia de la ciudad de Barcelona. Este equipo trabaja en una longitud de onda de 10 cms., (banda S), generando dos ficheros de información cada diez minutos. El primero de estos ficheros contiene datos de reflectividad a diferentes elevaciones, y el segundo observaciones doppler en un solo barrido a la elevación inferior 0,9°.

Un radar meteorológico funciona básicamente como cualquier otro radar; emite energía que al impactar contra un

obstáculo, en este caso gotas de lluvia, retorna parcialmente hacia la fuente. A la medida del retorno parcial de energía se le denomina reflectividad, y constituye la información que posteriormente se procesa. Quizás el más extendido de los productos de esta información son las imágenes coloreadas en función de la reflectividad observada. Estas cartas de reflectividad se corresponden con la densidad de gotas que se encuentran en suspensión y por tanto, aunque sea de manera indirecta, con la intensidad de lluvia que se está produciendo.

Los procesos de calibración y validación de los datos ofrecidos por los radares, y su conversión en valores de intensidad de precipitación no son triviales, se está tratando con una relación indirecta, que está influida negativamente por la distancia al radar, por la orografía, por la distribución del tamaño de las gotas y por otros factores. En este campo se han realizado trabajos como los de Marshall y Palmer o los de Jones que han dado como resultado fórmulas potenciales de relación entre reflectividad e intensidad.

En este sentido, el estudio aquí presentado intenta relacionar los valores de los pixels, de la imagen de radar, correspondiente a la ciudad de Barcelona, en las imágenes ofrecidas por el radar de Cataluña, con los datos de los 22 pluviómetros de intensidad telesupervisados, con que la Empresa Mixta de Gestión del Alcantarillado de Barcelona (Clabsa) cuenta en Barcelona, formando parte de su sistema de telecontrol del alcantarillado de la ciudad.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES DE RADAR DISPONIBLES

Las imágenes de radar utilizadas han sido las obtenidas por el radar meteorológico que el Instituto Nacional de Meteorología ha instalado en el pie de les Agulles. En concreto se han utilizado las imágenes de la denominada Cappi -1, (o PPI). Estas imágenes presentan la información correspondiente a la reflectividad medida en la capa más baja rastreada por el radar (0,9° de elevación). En este formato cada pixel corresponde a una célula cuadrada de 2 Kms. de lado. Los datos están corregidos en origen, es decir, los ecos no meteorológicos han sido eliminados por software.

El radar, en el formato de información indicado, tiene un radio de alcance útil de 240 kms., pero en el trabajo de comparación desarrollado solo se han utilizado los 24 pixels de (2 x 2 kms) correspondientes a la ciudad de Barcelona, zona que dispone de la red de pluviómetros citada anteriormente.

3. DESARROLLO DE SOFTWARE DE APOYO

Para la realización de las operaciones de búsqueda de episodios representativos, y generación de gráficas de relación Reflectividad-Intensidad se han desarrollado dos aplicaciones de apoyo en Visual Basic.

La primera aplicación, *FltRadar*, se encarga de escoger, de la base de datos de Clabsa, los períodos de intensidad que se consideran interesantes, según ciertos criterios. La segunda

110Dbz, busca las imágenes de radar correspondientes a estos períodos, y si se encuentran disponibles, extrae los pixels correspondientes a Barcelona, y relaciona en una gráfica, la intensidad 10-minutal obtenida en los pluviómetros con la reflectividad de los pixels que representan Barcelona en la imagen de radar.

3.1. Aplicación FltRadar

Clabsa dispone de una base de datos Oracle que contiene información sobre el funcionamiento del alcantarillado de Barcelona. En esta base se incluyen, entre otros, datos pluviométricos tanto de la red de Clabsa, como provenientes de otros organismos, entre ellos, el observatorio Fabra, institución que ha generado una serie de datos de volumen de precipitación desde el año 1914, y de intensidad de precipitación desde el año 1927.

La aplicación denominada '*FltRadar*' ha sido desarrollada para encontrar, en la citada base de datos, períodos de intensidad 10-minutal, que cumplan ciertos requisitos, modificables por el usuario. El funcionamiento es el siguiente:

Al arrancar, '*FltRadar*' utiliza un fichero de configuración que contiene los valores que la aplicación escoge por defecto: período de Inicio de la consulta, período Final de la consulta, umbral medio de rechazo, umbral de rechazo de Pluviómetro, número mínimo de pluviómetros válidos, y nombre del fichero Ascii de salida. Cada uno de estos parámetros puede ser modificado, con lo que la consulta rechazará: datos fuera del período inicial y final, pluviómetros cuya intensidad individual no supere el umbral de rechazo de pluviómetro, días en que el número de pluviómetros activos no supere el número mínimo de pluviómetros válidos, días en que la intensidad media de todos los pluviómetros activos no supere el Umbral medio de rechazo.

Una vez aceptadas las condiciones de la consulta, el programa se conecta a la base de datos Oracle mediante Odbc → Sql *Net → Tcp/Ip, generando un 'select' con los filtros elegidos. El resultado obtenido se almacena en un fichero Ascii con la información de fecha seguida de la intensidad 10 minutal asociada. Este fichero, que se genera en el directorio escogido y con el nombre escogido, presenta un formato adecuado para ser utilizable por la siguiente aplicación. El programa permite imprimir el 'form' con sus resultados, también se puede monitorizar la estadística de pluviómetros descartados y el porqué.

3.2. Aplicación I10Dbz

Esta aplicación, ha sido desarrollada para relacionar gráficamente los datos de Intensidad de precipitación 10 minutal con los de reflectividad en Dbz. Para ello, la aplicación busca las imágenes de radar cuyos períodos de tiempo se incluyen en el fichero que ha generado '*FltRadar*'.

Al arrancar, '*110Dbz*' utiliza un fichero de configuración con parámetros escogidos por defecto: fichero de configuración, fichero generado por '*FltRadar*', fichero Ascii de salida, path de imágenes de radar, path de Imágenes comprimidas, fichero log de resultados, umbral de intensidad media, umbral de Reflectividad mínimo y umbral de Dbz mínimo. Cada uno de estos parámetros puede ser modificado desde pantalla.

Las coordenadas de los pixels correspondientes a Barcelona son extraídas de un fichero auxiliar, donde se guardan

sus posiciones dentro de la imagen de radar. Una vez elegidos los pixels geográficamente correctos, en las imágenes que coinciden en tiempo con períodos 10-minutales interesantes, se extraen sus valores de reflectividad, R_i , y se convierten a unidades Dbz mediante la fórmula:

$$R_{dbz} = -30 + 0,4 * R_i$$

De este modo, solo resta representar una gráfica con las parejas Intensidad-Reflectividad según los criterios siguientes:

En el eje x, se ha representado (en Dbz), la media de las reflectividades de los pixels, correspondientes a Barcelona, que se han considerado válidos por superar el filtro previo denominado 'reflectividad', y siempre que dicha media supere el segundo filtro denominado 'Dbz'.

En el eje y, se ha representado (en mm/h), las intensidades 10-minutales, que superan el filtro denominado 'Intensidad', y correspondientes a las reflectividades que a su vez han superado sus dos filtros ya citados.

Los resultados se representan además de gráficamente, en un archivo ascii (fichero de log). Ambos formatos son imprimibles.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El estudio se ha realizado con las imágenes de radar captadas entre los días 25/2/96 y 12/11/96. Por razones de índole técnica, no se dispone de la serie completa de imágenes durante este período, por lo que han quedado fuera del trabajo algunos episodios potencialmente interesantes.

En primer lugar se han fijado los criterios mínimos exigidos a los períodos de intensidad 10-minutal a estudiar. En la elección de estos filtros inciden dos factores: Por una parte, se ha considerado necesario imponer criterios de intensidad de precipitación, tanto por pluviómetro como de media en Barcelona, suficientemente altos como para evitar los ecos no meteorológicos, por otra parte, para disponer de un número significativo de períodos de lluvia, estos umbrales no podían elevarse demasiado. Tras varias tentativas se ha fijado, un criterio de intensidad media mínima de 10 mm/h. Esto ha dado como resultado 83 Períodos 10-minutales correspondientes a 12 episodios lluviosos: 26 de Febrero, 11 de Marzo, 17 y 30 de Abril, 7 y 11 de Mayo, 7 de Agosto, 3 y 17 de Septiembre, 14 de Octubre y 11 de Noviembre.

En segundo lugar los filtros utilizados para la obtención de resultados gráficos han variado entre los siguientes extremos: Intensidad entre 5 mm/h y 10 mm/h, reflectividad en valores fuente entre 130 y 175, reflectividad en Dbz entre 20 y 30.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Los gráficos producto de aplicar la metodología explicada en el anterior apartado han resultado poco concluyentes. Los puntos se han dispuesto de forma incoherente formando nubes con núcleos poblados pero informes, y una notable aparición de alejados puntos marginales.

Tan solo, y por destacar algún resultado, en las gráficas con filtros: Intensidad 5 mm/h, reflectividad en valores fuente

130 y 140, y reflectividad en Dbz 26 o Intensidad 10 mm/h, reflectividad en valores fuente 175, y reflectividad en Dbz 26, se puede apreciar correlación. (Ver gráfica adjunta, en la que también se representa la relación de Marshall - Palmer).

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos se pueden apoyar en las siguientes hipótesis de trabajo:

1. La reflectividad contenida en las imágenes PPI refleja una idea de la densidad de gotas de lluvia, a una altura de alrededor de 1000 mts sobre la ciudad de Barcelona. La totalidad de los pixels Cappi-1, correspondientes a esta ciudad se han podido captar en un tiempo inferior a los dos segundos. Esto implica que un pixel representativo de estas circunstancias pueda tener poco que ver con una intensidad 10-minutal, demasiado larga para los tiempos de captura de la información.

2. El realizar medias de reflectividad, y relacionarlas a su vez con medias de intensidad en una extensión de 24 pixels también ayuda a la dispersión de los resultados.

Estas reflexiones parecen llevar a reanudar los trabajos teniendo en cuenta las siguientes propuestas:

En relación con la primera hipótesis, parece aconsejable trabajar con intensidades relativas a períodos de tiempo más cortos, (se puede empezar por las 5-minutales, y si los resultados no resultan satisfactorios acercarse a las 1-minutales).

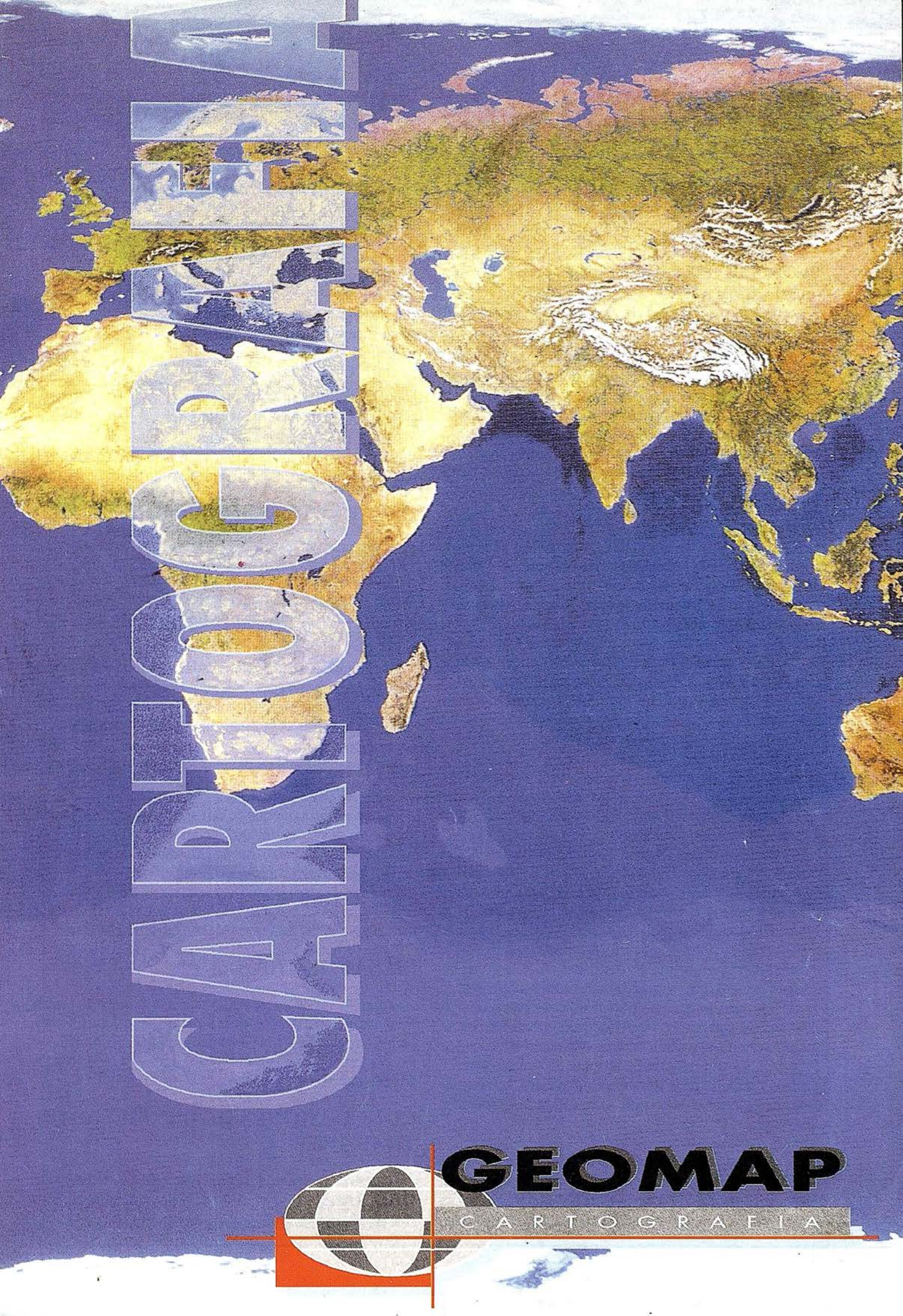
De la segunda hipótesis se puede desprender que un esfuerzo por determinar la posición relativa de los pixels individuales con respecto a los pluviómetros, y su estudio posterior por separado, podría abrir unas mejores perspectivas de éxito.

La conjunción de ambas hipótesis recomienda intentar conocer los instantes en los que el barrido del radar se sitúa sobre Barcelona, con el fin de estudiar las intensidades del intervalo, entre instantáneas y 1-minutales, en el entorno de estos tiempos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Terradellas, E. "Noves Eines de diagnòstic i de predicció: Radar meteorològic i xarxa de detecció de descàrregues elèctriques". Boletín de la Societat Catalana de Ciències, Volumen XV, Núm. 1, 1995.
- (2) Sempere, D., Sánchez Diezma R. "Características básicas y estudio previo de la calidad de la medida en base a imágenes acumuladas", Universidad Politècnica de Catalunya. Febrero 1996.
- (3) Sempere, D., Sánchez Diezma R. "Caracterización de las propiedades de la lluvia y proposición de una relación z-r para Barcelona", Universidad Politècnica de Catalunya. Junio 1996.
- (4) Rosengaus, M. Fundamentos de Radares meteorológicos. Ingeniería Hidráulica en México. Volumen X, Núm. 1, 1995.
- (5) Marchall, J.S., Palmer, W. McK. The distribution of Raindrops with size. J Meteor., 5; 165-166.

CARTOGRAFIA



GEOMAP
CARTOGRAFIA

“LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL EN LA GESTIÓN DE RECURSOS AMBIENTALES”

PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS

Al objeto de promover el conocimiento y el uso de la Teledetección en la gestión del medio ambiente, los pasados 20 y 21 de noviembre, el palacio de Villasuso acogió la celebración de unas jornadas técnicas tituladas “**La Teledetección espacial en la gestión de los recursos naturales**”. La organización de este encuentro, en el que se abordaron diferentes aspectos de una tecnología que ha cobrado en los últimos años una gran importancia para el análisis y protección del Medio Ambiente, corrió a cargo del Centro de Estudios Ambientales de Vitoria-Gasteiz, en colaboración con el Gobierno Vasco y la Diputación Foral de Alava. El acto de apertura contó con la presencia de José Ángel Cuerda, alcalde de Vitoria-Gasteiz, Patxi Ormazabal, consejero de Medio Ambiente y Julio Herrero Romero, diputado de Urbanismo y Medio Ambiente.

La Teledetección espacial es la técnica que permite captar a distancia, por medio de sensores instalados en satélites, información sobre lo que está ocurriendo en la superficie de la Tierra. Las imágenes recogidas por los ingenios espaciales proporcionan infinidad de datos muy valiosos para conocer -a escala global, regional o incluso local- el frágil entorno medioambiental que nos rodea.

Las Jornadas permitieron reunir en la capital alavesa a técnicos de reconocido prestigio a nivel del Estado y de la Unión Europea, como Thuy Le Toan, experta en tecnología radar y colaboradora de la NASA, Lluís Solé Sugrañes, presidente de la Asociación Española de Teledetección y Pamela Kennedy y Olivier Arino, investigadores de la Agencia Espacial Europea.

El simposio se dividió en dos partes. A lo largo de las sesiones matinales, tuvieron lugar diferentes conferencias en las que los ponentes disertaron sobre aspectos prácticos de la teledetección y expusieron los principales resultados obtenidos hasta el momento. Por la tarde, se celebraron sendas mesas de trabajo, donde los conferenciantes debatieron, junto a técnicos y gestores de la administración pública, las posibilidades de emplear la observación remota en la Comunidad Autónoma.

El objetivo principal del simposio era el acercar a los investigadores y responsables de la gestión agroforestal del territorio y el medio ambiente en el País Vasco una novedosa técnica que ya puede brindar en la actualidad un sólido apoyo

a su trabajo diario, y cuya utilización será imprescindible en un futuro no muy lejano.

En este sentido, el Centro de Estudios Ambientales de Vitoria-Gasteiz viene utilizando de manera puntual la Teledetección espacial, entre otras aplicaciones, para analizar el estado de salud de la vegetación en las sierras de Badaia y Arrato, para recuperar las antiguas balsas de Salburúa, situadas a las afueras de la ciudad, o para diferenciar en el municipio vitoriano los cultivos de regadío de los de secano.

DESARROLLO DE LAS JORNADAS

INAUGURACIÓN

La inauguración de las jornadas técnicas “La Teledetección espacial en la gestión de recursos ambientales” tuvo lugar el día 20 de Noviembre de 1996 a las 8:45 horas en el Palacio de Villa Suso de Vitoria-Gasteiz.

Las jornadas fueron presentadas por Don José Ángel Cuerda Montoya, Alcalde del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, Don Julio Herrero Romero, Diputado del Departamento de Urbanismo, Arquitectura y Medio Ambiente de la Diputación Foral de Alava y Don Patxi Ormazabal Zamakona, Consejero del Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco.

En la sesión de apertura de las jornadas, tras la bienvenida a todos los asistentes y el agradecimiento a los ponentes por su colaboración, se hizo especial hincapié en la importancia de este tipo de acontecimientos para el estrechamiento de lazos entre ciudadanos de diferentes países. También se resaltó la importancia de la Teledetección como herramienta para la gestión del territorio y del medio ambiente.

MESAS DE TRABAJO

Además de la presentación de las ponencias, estas jornadas incluían dos mesas de trabajo que se desarrollaron en sesión de tarde. Cada una de ellas estaba constituida por los conferenciantes del día y técnicos y gestores de la administración del País Vasco.

CONCLUSIONES DE LAS MESAS DE TRABAJO

Las principales conclusiones que se pueden extraer de los debates habidos en torno a las mesas de trabajo son las siguientes:

La Teledetección es una herramienta importante y necesaria para la mejora del conocimiento del Medio Ambiente. A medio plazo, su utilización será básica, al tener una potencialidad muy alta.

Actualmente se desarrolla su actividad en los campos de la geología, recursos forestales, recursos hidrológicos, agricultura y minería. En un futuro próximo se podrá adaptar a otros campos incluso al desarrollo del urbanismo. Se debe continuar avanzando en mejorar los canales de acceso a satélites. Actualmente, con la telemática e Internet ya se pueden obtener buenos resultados en cuanto a adquisición de este tipo de información. Continuar desarrollando nexos de unión entre los intereses de los investigadores y quienes aplican este servicio en su gestión.

Invertir en formación, investigación y divulgación de estas técnicas de Teledetección. El proceso formativo debe dirigirse hacia la investigación universitaria y hacia el campo de la gestión, para que quienes utilizan estos recursos conozcan mejor las posibilidades reales de su aplicación.

La infraestructura informática necesaria para acceder a este tipo de información no implica ya necesariamente inversiones elevadas, lo que permite una utilización más generalizada.

Esta técnica está especialmente recomendada para el análisis y evolución de los cambios que se producen en el Medio Ambiente y permitirá prever situaciones de riesgos ambientales.

DEMOSTRACIÓN DE LA BASE DE DATOS AMBIENTAL DEL AYUNTAMIENTO DE VITORIA-GASTEIZ

Para facilitar la familiarización del público asistente con la información suministrada por los S.I.G y la Teledetección, se ubicó en dependencias anejas al salón de actos, un ordenador de alto rendimiento para la realización de diferentes demostraciones en base a imágenes de satélite (imágenes Landsat-TM del municipio de Vitoria-Gasteiz de 1992 y 1996, imagen SPOT del País Vasco de 1.994, imagen fusión del área de Valderejo,...) y coberturas vectoriales de la base de datos ambiental del Municipio (ríos, suelos, carreteras, geología, calidad de la vegetación, montes, riesgos de erosión, biotopos faunísticos,...).

La utilización conjunta de los diferentes tipos de información se podía contemplar en algunos proyectos realizados por el CEA (seguimiento de la evolución de los usos de suelo en el área de Salburua, estudio de las superficies roturadas del municipio de Vitoria-Gasteiz, estudio de la erosión en la Sierra de Badaya,..).



GEA S.A., es una empresa que centra su desarrollo profesional en el ámbito de la Topografía y la Cartografía.

Sus objetivos dentro de estos campos son los de cumplimentar un servicio técnico cualificado y extenso en labores tanto fotogramétricas, cartográficas, de topografía clásica convencional o de precisión.

GEA S.A., es una empresa creada con carácter independiente, con intenciones de colaboración con los sectores públicos y privados.

ACTIVIDADES

La experiencia y capacidad actual de GEA abarcan los siguientes campos de actividad:

FOTOGRAMETRÍA.

CARTOGRAFÍA.

TOPOGRAFÍA CLÁSICA.

TOPOGRAFÍA DE PRECISIÓN.

LEVANTAMIENTOS ESPECIALES.

Dentro de cada una de esta áreas, las actuaciones habituales de GEA cubren todas las etapas de colaboración que se precisan.

GEA CARTOGRAFÍA C/. Real, 27
41920 San Juan Aznalfarache-SEVILLA

Tel. (95) 476 28 70
Fax. (95) 476 28 33

INTEGRACIÓN DE FUENTES DE DISTINTA RESOLUCIÓN ESPACIAL: IMÁGENES DE SATÉLITE NOAA Y MAPA DE OCUPACIÓN CORINE

Marta Florez Caton. Abel Calle Montes.
José Luis Casanova Roque.

Dpto. Física Aplicada 1. Laboratorio de Teledetección,
Universidad de Valladolid.

La integración de fuentes de distinta resolución espacial en el campo de la Teledetección y de la gestión de información rasterizada ha sido una técnica muy utilizada debido a las distintas características técnicas de los sensores y fuentes de información. En el presente artículo se presenta un método de integración de dos tipos de información ráster. De esta manera, se pretende superponer ambas y recibir un procesamiento conjunto en tratamientos específicos, Sistemas de Información Geográfica ráster, etc.

El método de integración consiste en la degradación de la fuente de mayor resolución espacial, en este caso el mapa de ocupación CORINE a una resolución espacial menor como es la que corresponde a las imágenes de satélite NOAA-AVHRR.

El proyecto europeo CORINE permite disponer de bases de datos digitales sobre usos del suelo en todo el territorio nacional. Se disponía éste en formato vectorial (1:100.000), mientras que la segunda estaba en formato ráster (1km x 1km). Teniendo en cuenta que la actividad de nuestro Laboratorio se centra en la Teledetección,

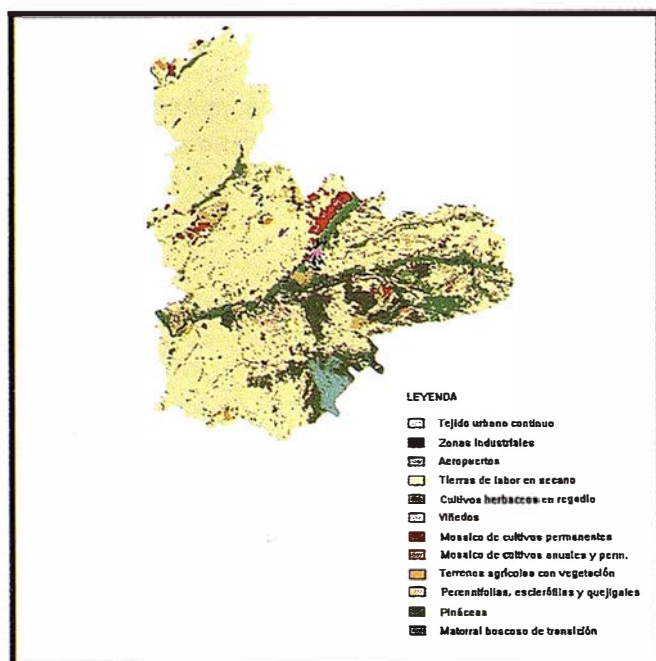


Figura 1: Mapa de ocupación CORINE. Res. 250 m. x 250 m.

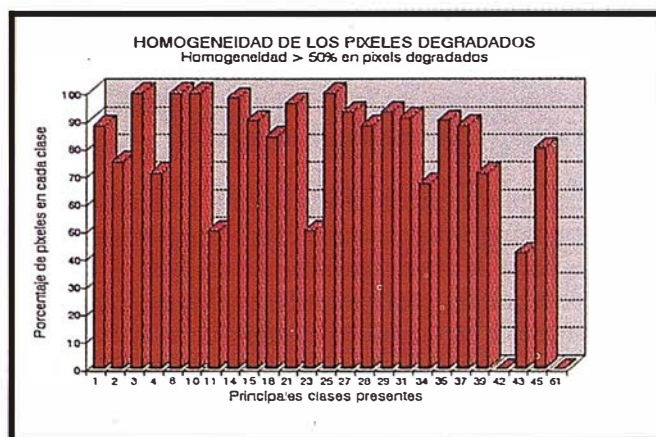


Figura 2: Porcentaje de píxeles con alta homogeneidad.

se optó por transformar toda la información a formato ráster. Así pues, además de la degradación se realizó un tratamiento previo a los Mapas de Ocupación CORINE con el fin de convertirlos a formato ráster.

Aunque está complementada la degradación de todas las Hojas CORINE que comprenden el territorio nacional, el análisis se centrará en la provincia de Valladolid, para analizar, mediante un caso concreto, el procedimiento empleado y sus resultados.

1. MAPA DE OCUPACIÓN DEL SUELO CORINE

El proyecto de "Mapa de Ocupación del Suelo" se integra en el programa CORINE y pretende elaborar una base digital medioambiental a partir de la fotointerpretación asistida por ordenador de la información transmitida por satélites de observación de la Tierra (Landsat 5 y SPOT). El resultado es un mapa vectorial de ocupación del suelo a escala 1/100.000. En la versión disponible, el territorio nacional está cubierto por 297 hojas, en proyección UTM y la clasificación española a cinco niveles incluye 64 clases.

El tratamiento realizado para transformar los mapas de ocupación en formato ráster se realizó con el programa Arc/Info. Las coberturas disponían de topología y estaban formadas por polígonos correspondientes cada uno de ellos a una clase de ocupación. Mediante diversos comandos y funciones del módulo GRID se obtuvieron mapas con una resolución de 250 m. x 250 m. por píxel. Se consideró conveniente esta resolución para el propósito final del análisis. El resultado del proceso son mapas de ocupación del suelo como el que muestra la figura 1.

2. DEGRADACIÓN DE IMÁGENES CORINE A LA RESOLUCIÓN NOAA

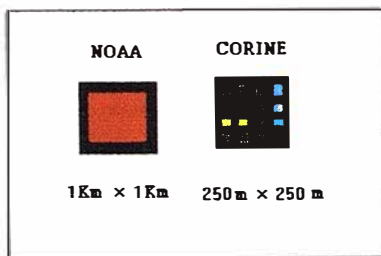
Una vez que se dispone de las dos fuentes en formato raster, y con el fin de poder superponerlas para múltiples propósitos, se procede a la degradación de una de ellas, el mapa CORINE (250 m. x 250 m.) a la resolución de las imágenes NOAA (1 km. x 1 km.).

2.1. Planteamiento de la metodología

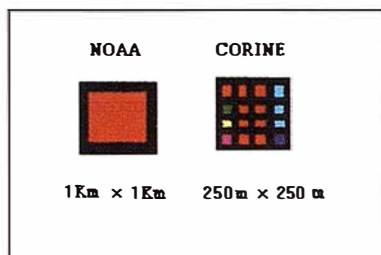
El problema de la degradación de píxeles de ocupación del terreno, tiene su base en el hecho de que la variable con la que se está trabajando (la clase ó especie del terreno) no es una variable continua sino discreta, por lo que, lógicamente no se puede promediar.

Son abundantes los trabajos realizados para degradar imágenes (Moreno et al., 1991) (Bastin et al., 1995). En nuestro caso, estábamos interesados en el grado de representatividad y homogeneidad del píxel degradado. Si se tiene en cuenta que un píxel NOAA contiene 16 píxeles del mapa de ocupación CORINE, el proceso de degradación consistirá en obtener la clase resultante en resolución NOAA, a partir de las clases de los 16 píxeles originales que lo componen. Para llevar a cabo este proceso se han considerado dos opciones:

- Degradación al píxel mayoritario, es decir, tomar como píxel de resolución NOAA aquella clase que aparezca mayoritariamente entre los 16 píxeles clasificados que lo componen.



- Degradación a un grado de homogeneidad fijado, es decir, fijar un umbral de homogeneidad para el futuro píxel NOAA a partir de los 16 píxeles del mapa de vegetación que lo componen.



Por ejemplo, si tomamos el grado de homogeneidad del 50%, solo consideraríamos aquellos píxeles degradados de resolución NOAA donde apareciera como mínimo 8 píxeles de una misma clase del mapa de ocupación.

La adopción del primer método tiene la ventaja de aprovechar toda la información de que se dispone, ya que a todos los píxeles degradados se les asigna una clase de vegetación; sin embargo, adolece del riesgo de construir píxeles poco representativos de una clase de vegetación determinada, sobre todo si los píxeles que lo forman son muy heterogéneos. El caso extremo se presenta cuando todas las clases son diferentes. En este caso cualquier clase de vegetación sería la mayoritaria. Esta es la opción que incluyen la mayoría de los paquetes software.

El segundo método construye píxeles muy representativos de la clase de ocupación (sobre todo si se eleva el umbral de homogeneidad exigido), pero a su vez hace perder información en las zonas heterogéneas, donde es probable que queden píxeles degradados sin clase de ocupación asignada.

En el presente estudio se ha tomado como método de degradación el segundo, a un grado de homogeneidad del 50%. De esta manera, gracias a la condición de que al menos 8 de los 16 píxeles originales pertenezcan a la clase resultante, se construyen píxeles degradados representativos a partir de las clases del mapa original, desechando información excesivamente heterogénea.

2.2. Método de degradación empleado

En nuestro Laboratorio se ha desarrollado el software necesario para degradar los mapas con el método del 50% de homogeneidad. Interesaba obtener píxeles degradados verdaderamente representativos de las diferentes clases que componían los píxeles originales y, a su vez, no perder gran parte de información en el proceso. Con el método de degradación al 50% de homogeneidad, se adquiere así un compromiso aceptable entre ambos objetivos. En algoritmo parte de las imágenes NOAA-AVHRR que se han corregido geográficamente con un método mixto orbital y por polinomios de ajuste (Illera et al, 1996). Para cada píxel de imagen, se buscan los 16 píxeles que lo forman en el mapa CORINE y se procede al reagrupamiento.

El software utilizado, no sólo realiza la degradación, sino que además proporciona información estadística acerca de la información eliminada por razones de heterogeneidad en la distribución de las clases. De esta manera el usuario puede adoptar distintos niveles de homogeneidad exigidos a la hora de obtener una información adecuada al estudio concreto.

Para demostrar que el método resuelve satisfactoriamente la cuestión de la representatividad de los píxeles resultantes, se presentan las figuras siguientes.

En el cuadro 1 se analizan los píxeles degradados pertenecientes a las clases con una distribución espacial más homogénea.

Cada columna representa el porcentaje de píxeles degradados de la clase correspondiente que cumplen la condición de homogeneidad indicada en la parte superior. Así por ejemplo, el 55% de los píxeles degradados pertenecientes a la clase 14, tienen una homogeneidad del 100%, observándose que la práctica totalidad (98%) de los píxeles degradados de esta clase, tierras de labor en secano, poseen una homogeneidad de al menos el 50%. En el otro extremo, la clase 42, grandes formaciones de matorral denso, no llega a formar ningún píxel degradado en nuestro mapa resultante, con la condición adop-

Clase	Porcentajes de Homogeneidad				
	H=100	100>H>75	75>H>50	50>H>25	H>=50
1 Urbano	13	19	56	12	88
2 Urbano laxo	0	0	75	25	75
3 Urbanizaciones	0	0	100	0	100
4 Industria	0	21	50	29	71
8 Aeropuertos	33	67	0	0	100
10 Escombreras	0	0	100	0	100
11 Construcción	0	0	50	50	50
14 Secano	55	29	14	2	98
15 Regadio	17	33	40	10	90
18 Viñedos	0	28	56	16	84
21 Frutales	37	35	24	4	96
23 Olivares	0	0	50	50	50
25 Cultivos anuales	0	50	50	0	100
27 Cult. Permanentes	26	29	38	7	93
28 Cult. Anual perman.	11	26	51	12	88
29 agrícola y natural	30	37	26	7	93
31 Peren., quejigales	15	41	35	9	91
34 Frond. plantación	0	0	67	33	67
35 Pináceas	12	35	43	10	90
37 Bosque Mixto	12	32	44	12	88
39 Otros pastizales	3	14	54	29	71
42 Matorral denso	0	0	0	100	0
43 Matorral poco dens	0	4	38	58	42
45 Mat. Boscoso trans.	1	21	58	20	80
61 Embalses	0	0	0	100	0

Cuadro 1. Tabla de homogeneidad de las clases.

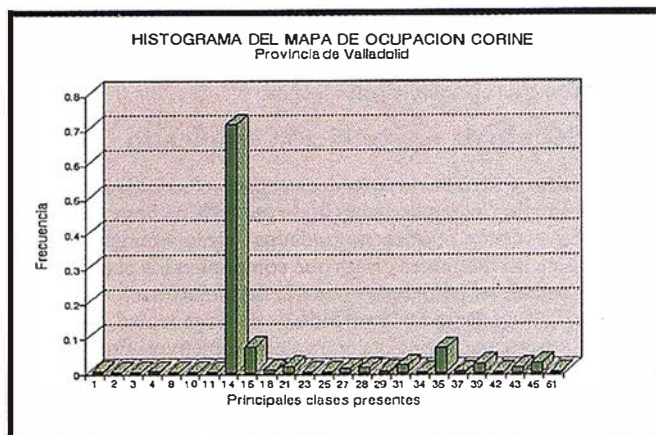


Figura 3: Histograma del mapa de ocupación CORINE.

tada de $H=50\%$. Si hubiéramos optado por $H=25\%$ (4 píxeles de la clase mayoritaria de los 16 que forman uno degradado), la clase 42 habría superado la condición puesto que el 100% de los píxeles degradados de la clase 42 tendrían una homogeneidad entre 50% y 25% (4-7 píxeles). Lo mismo ocurre con la clase 61 (embalses). Así pues, la degradación al 50% supone un filtrado que sólo superan 23 clases. Además las clases que superan la prueba sufren una pérdida de información relacionado con el porcentaje de píxeles =50% (última columna).

La figura 2 representa, de forma esquemática, el porcentaje de píxeles de cada clase que presentan una homogeneidad mayor del 50% en la construcción del mapa degradado a resolución NOAA.

No se considera relevante la pérdida de información puesto que ésta se sacrifica en favor de una buena **representatividad** de los píxeles resultantes. El histograma de frecuencias de las clases del cuadro 1, en el mapa original a escala 250 m. x 250 m. se muestra en la figura 3.

En efecto, las clases más heterogéneas, ausentes o poco representadas en el mapa degradado, no poseen un alto índice de ocupación en el mapa original (clase 4, 11, 23, 42, 43 y 61). Por el contrario, las clases de mayor presencia en la fuente original (clases 14, 15, 31, 35, 45) presentan un alto porcentaje de homogeneidad ($H=50\%$).

El mapa degradado resultante se muestra en la figura 4, donde se observan píxeles en blanco, es decir, con ausencia de clase asignada. Esto es debido a que la clase mayoritaria en el mapa original no estaba presente, como mínimo en 8 píxeles.

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Por todo ello, se considera aceptable la representatividad en los mapas degradados respecto a la fuente original. Las pérdidas de información producidas en el proceso de degradación responden a clases con un bajo índice de ocupación en el mapa original. Con este método de degradación con un umbral de homogeneidad se pretende controlar y adecuar el proceso de degradación o reclasificación a las necesidades de representatividad que requiere un tratamiento adecuado de la información espacial. No se considera importante para nuestros objetivos finales la existencia de píxeles degradados sin clase asignada debido a la necesidad de obtener información verdaderamente representativa, adquiriendo un compromiso entre una buena representatividad y la obtención de la máxima información posible.

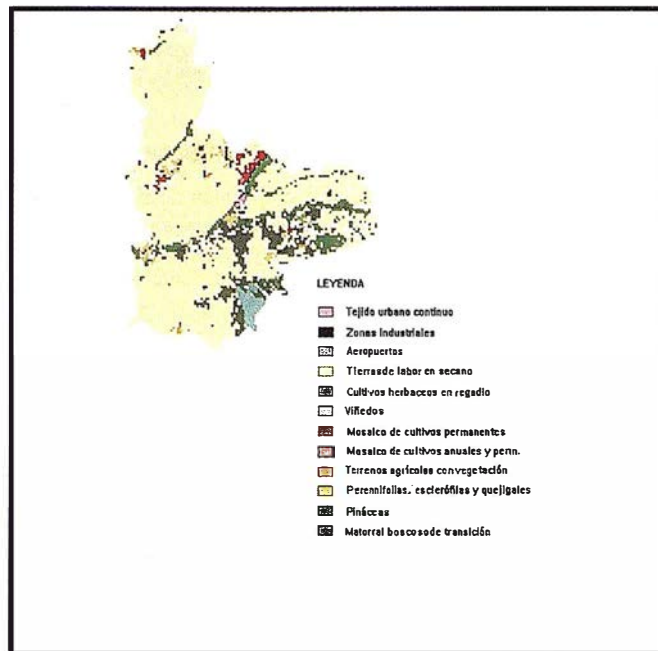


Figura 4: Mapa de ocupación degradado. Res. 1 km. x 1 km.

Si las necesidades del estudio particular fuera la existencia completa de píxeles degradados con clase asignada en el mapa resultante, se habría optado por la reclasificación de las clases originales en otras más globales con el criterio de asignación por clase mayoritaria.

El método presentado, ha sido aplicado a otras áreas del territorio peninsular como las comunidades autónomas de Valencia y Madrid en el desarrollo de proyectos de prevención de incendios forestales.

4. BIBLIOGRAFÍA

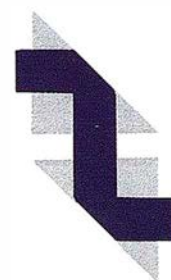
- Bastin, G.N., Pickup, G., Pearce, G. (1995), Utility of AVHRR data for land degradation assessment: a case study, en *International Journal of Remote Sensing* vol. 16 núm. 4.
- Illera, P., Casanova, J.L., Fernández, A. (1995), Uso de los satélites de la serie NOAA en la vigilancia de los incendios forestales, en *MAPPING* núm. 23, ed. MAP & SIG Consulting.
- Illera, P., Delgado, J.A. and Calle, A. (1996), A navigation algorithm for satellite images. *International Journal of Remote Sensing* vol. 17 núm. 3.
- Moreno, J., Gandia, S., Melia J. (1991) Integración De Imágenes De Muy Diferente Resolución Espacial: Aplicación Al Caso Spot Hrv-noaa Avhrr, En *Actas De La IV Reunión Científica De La Aet*, Sevilla.
- MOPU (1990), *El programa CORINE de la CEE*, Monografías de la Secretaría General de Medio Ambiente, ed. MOPU.

LA TECNICA, S.A.



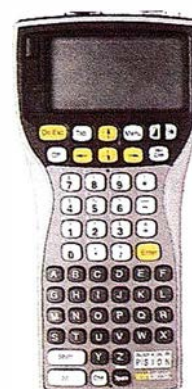
SERVICIOS TOPOGRAFICOS

- Alquiler
- Venta
- Reparación
- Calibración
- Cálculo y Trabajo de Gabinete
- Restitución
- Aplicaciones Informáticas



Distribuidor Oficial TOPCON
en Andalucía

GEOSECMA®



COLECTOR DATOS
ZAS

CENTRAL:

C/ Juan de Austria, 30
28010 - Madrid
Tfno: (91) 446 87 04
Fax: (91) 447 02 43
E-Mail: latecnica@sinix.net

DELEGACION ANDALUCIA:

C/ Ana de Viya, 5 - Of. 207
Edif. Nereida
11009 - Cádiz
Tfno/Fax: (956) 27 11 04

EGM96. Un Nuevo Modelo de Geoide de Precisión

José Antonio Peláez Montilla
Escuela Politécnica Superior. Universidad de Jaén
email: japelaez@ujaen.es

El impacto que ha supuesto la utilización de los sistemas de posicionamiento GPS a la hora de realizar controles geodésicos, ha sido muy importante. Estos proporcionan altitudes elipsóidicas, con lo que sigue siendo necesario el conocimiento del geoide a la hora de transformar las anteriores altitudes en altitudes sobre geoide (estas serían, sólo de forma aproximada, las llamadas cotas ortométricas) o altitudes sobre el nivel medio del mar local; para relacionar estas dos últimas, sería necesario conocer además la llamada topografía de la superficie del mar, es decir, la distancia en cada punto entre la superficie del mar media local y el geoide.

Si h es la altura elipsóidica (medida sobre la normal al elipsoide) y H la altitud sobre el geoide (medida sobre la dirección de la vertical o normal al geoide), podremos escribir que

$$H = h - N$$

en donde N es la altura del geoide u ondulación del geoide, medida, al igual que h , sobre la normal al elipsoide; conocida N en todo punto, tenemos definido el geoide.

En este artículo se ha pretendido indicar de forma somera y esquemática una de las posibles formas de calcular un geoide a partir de un modelo de geopotencial dado, así como mostrar los recientes resultados obtenidos que han llevado a la determinación del modelo de geopotencial EGM96, su cálculo para la zona de la Península Ibérica y, su comparación con otros modelos de geopotencial más simples.

1. MODELOS DE GEOPOTENCIAL

El campo gravífico terrestre puede establecerse y determinarse a través de los llamados modelos de geopotencial (supone el conocimiento del potencial gravífico terrestre, generalmente para aplicaciones geodésicas, en el exterior de la Tierra). Podemos escribir que éste es la suma del potencial gravitatorio y el potencial centrífugo, de tal forma que

$$W(r, \theta, \lambda) = V(r, \theta, \lambda) + \Phi(r, \theta) =$$

$$= \frac{KM}{r} \left(1 + \sum_{n=1}^{n_{max}} \left(\frac{a}{r} \right)^n V_n(\theta, \lambda) \right) + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \sin^2 \theta$$

en donde

$$V_n(\theta, \lambda) = \sum_{m=0}^n (C_{nm} \cos(m\lambda) + S_{nm} \sin(m\lambda)) P_{nm}(\cos \theta)$$

siendo K la constante gravitacional, M la masa de la Tierra (incluyendo su atmósfera), a el radio ecuatorial terrestre que se toma como referencia, ω la velocidad angular de rotación de la Tierra, las

funciones P_{nm} son las funciones asociadas de Legendre de primera clase (de grado n y orden m) fuertemente normalizadas, r , θ y λ las coordenadas esféricas del punto de cálculo y, los coeficientes C_{nm} y S_{nm} los llamados coeficientes armónicos. Conocidos estos últimos, tenemos definido lo que se denomina un modelo de geopotencial, o lo que es igual, puesto que el geoide es una determinada superficie equipotencial del campo gravífico terrestre, tendremos definido el geoide.

La constante n_{max} que aparece en la expresión del potencial gravífico nos indica el grado máximo del modelo de geopotencial (de forma indirecta nos proporciona una indicación de la precisión del geoide que se puede obtener); modelos simples consideran sólo hasta orden 50 ó 60, considerándose geoides de precisión aquellos obtenidos a partir de modelos en los que se conocen los coeficientes armónicos hasta grado 360.

2. MODELO EGM96

A finales del pasado año fue presentado en el *International Symposium on Gravity, Geoid and Marine Geodesy*, en Tokyo, el modelo de geopotencial EGM96 (*Earth Gravity Model 1996*). Fue desarrollado mediante la colaboración de distintos centros de investigación, fundamentalmente el *Laboratory for Terrestrial Physics - NASA Goddard Space Flight Center* y la *National Imagery and Mapping Agency* (antes *Defense Mapping Agency*), aunque también han colaborado la *Hughes - STX Corporation*, *Ohio State University* y *The University of Texas at Austin*.

Se han utilizado para su elaboración gran cantidad de datos de la gravedad, incluso de zonas en donde antes no se disponían (zonas del océano Ártico, Groenlandia y la Antártida), observaciones láser a satélites (TOPEX/POSEIDON, Stella, Starlette, SEASAT, Peole,

n	m	$C_{nm} (\times 10^{-4})$	$S_{nm} (\times 10^{-4})$	$C_{nm} (\times 10^{-4})$	$S_{nm} (\times 10^{-4})$
2	0	-484.163371736	0.035611		
	1	-0.000186988	0.000000	0.001195280	0.000000
	2	2.439143524	0.053739	-1.140016684	0.054353
3	0	0.957254174	0.018094		
	1	2.029988822	0.139652	0.248513159	0.136459
	2	0.904627769	0.109623	-0.619025944	0.111829
	3	0.721072657	0.095156	1.414356270	0.093285
4	0	0.539873864	0.104237		
	1	-0.536321617	0.085674	-0.473440266	0.082408
	2	0.350694106	0.160002	0.662671573	0.163906
	3	0.990771804	0.084658	-0.200928369	0.082663
	4	-0.188560803	0.087315	0.308853169	0.087853
5	0	0.068532348	0.054383		
	1	-0.062101213	0.279969	-0.094422613	0.280829
	2	0.652438298	0.237474	-0.323349613	0.243570
	3	-0.451955406	0.171116	-0.214847190	0.168106
	4	-0.295301648	0.119813	0.049669887	0.118498
	5	0.174971983	0.116426	-0.669384278	0.115900

Tabla 1

LAGEOS, etc.), observaciones Doppler a satélites (SEASAT, RADCAL, OSCAR-14, Nova-1, HILAT, GEOSAT, etc.), altimetría de satélite (TOPEX/POSEIDON, GEOSAT y ERS-1), observaciones GPS (TOPEX/ POSEIDON, GPS/MET y EUVE), observaciones TDRSS (*Tracking and Data Relay Satellite System*) al satélite EUVE, observaciones SST Doppler (*Satellite to Satellite Tracking*) entre los satélites GEOS-3 y ATS-6, observaciones DORIS (*Doppler Orbit determination and Radiopositioning Integrated on Satellite*) a los satélites TOPEX/POSEIDON y SPOT-2 y, observaciones ópticas a satélites (GEOS-1, GEOS-2, Midas-4, BE-C, D1-D, Echo-1RB, etc.).

El modelo que nos ocupa está definido hasta grado 360, es decir, se han calculado del orden de 131000 coeficientes armónicos, lo que hace que podamos restituir ondulaciones del geoide con semilongitudes de onda del orden de 45 km para nuestras latitudes. Ha sido desarrollado para ser utilizado, principalmente, como referencia geodésica, determinación de órbitas de satélites más precisas, con fines oceanográficos y, para estudios geofísicos. En la tabla I, como ejemplo, se han querido mostrar los coeficientes armónicos C_{nm} y S_{nm} , así como sus errores medios cuadráticos estimados α_C y α_S , sólo hasta grado n igual a 5.

Las calibraciones realizadas sobre el error cometido en la determinación de este geoide / modelo de geopotencial proporcionan los errores medios cuadráticos, considerando sólo hasta grado 70, que se exponen a continuación. En áreas continentales, 28 cm, en latitudes comprendidas entre 66° y 82° , 21 cm, considerando toda la superficie terrestre, 18 cm, en áreas oceánicas, 12 cm, y en latitudes inferiores a 66° , sólo 11 cm. Se ha de notar que estos errores son entre dos y tres veces inferiores a los que se estimaron para anteriores geoides de precisión, como por ejemplo, los JGM-1, 2 y 3 (*Joint Gravity Model*).

3. CÁLCULO DEL GEOIDE A PARTIR DEL MODELO DE GEOPOTENCIAL

El geoide puede calcularse, entre otros métodos, resolviendo mediante aproximaciones sucesivas la expresión

$$W(r, \theta, \lambda) = W_0$$

para la variable r , es decir, la distancia desde el centro de masas de la Tierra a la que se encuentra el geoide, dado un punto sobre su superficie de coordenadas geocéntricas θ y λ ; W_0 es el valor del potencial gravítico en el geoide. Tras resolver esta expresión y, teniendo en cuenta que podemos calcular la distancia desde el centro

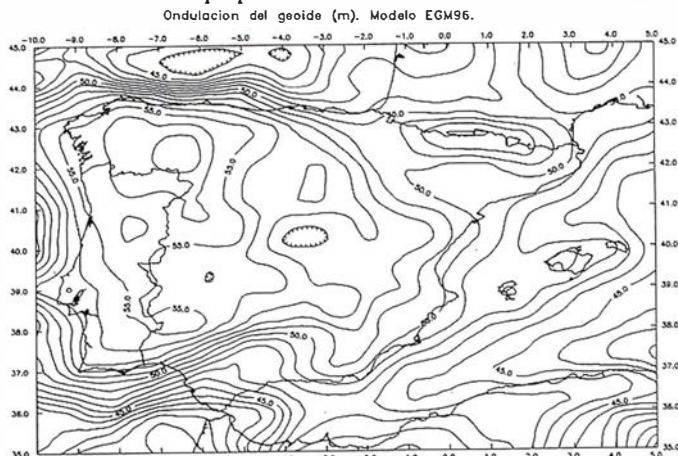
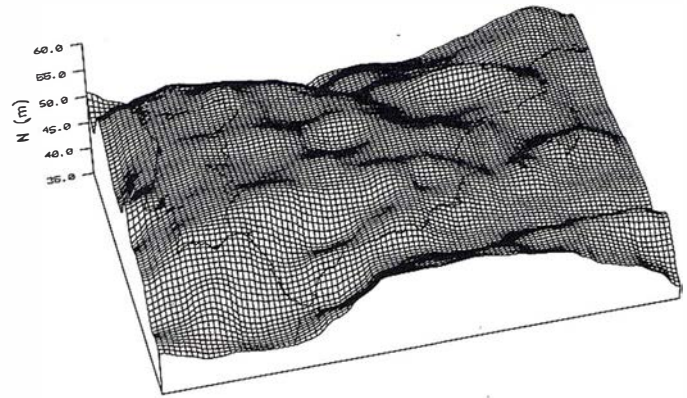


Figura 1



Modelo EGM96.

Figura 2

de la Tierra a la superficie del elipsoide al que queremos referir el geoide a través de

$$r_0 = \frac{a(1 - f)}{\sqrt{\text{sen}^2 \phi + (1 - f)^2 \text{cos}^2 \phi}}$$

siendo a y α el semieje ecuatorial y el aplastamiento, respectivamente, del elipsoide al que se quiere referir el geoide (en este trabajo se han referido los resultados al elipsoide WGS84), y ϕ la latitud geocéntrica, la ondulación del geoide vendrá dada mediante

$$N \approx r - r_0$$

en donde el uso de esta expresión sólo lleva aparejados errores del orden de $N\alpha^2/2$, es decir, inferiores al milímetro en nuestro caso; hay que tener en cuenta que N no se define exactamente sobre la misma dirección que r o r_0 .

A la hora de resolver la expresión inicial mediante aproximaciones sucesivas se han de tener en cuenta distintas cuestiones. Primariamente, las constantes a utilizar en el cálculo son

$$\begin{aligned} W_0 &= 62636856.85 \text{ m}^2/\text{s}^2 \\ a &= 6378136.3 \text{ m} \\ KM &= 3986004.415 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2 \\ \omega &= 7.292115 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

en donde los valores de W_0 y ω son los recomendados por el *International Earth Rotation Service* (convenio 1996) y, los valores de KM y a son los utilizados por convenio en el cálculo de este modelo de geopotencial (no confundir este valor de a con el que se utiliza para el cálculo de r_0).

Por otro lado, el coeficiente armónico C_{20} que se indica en la tabla I no está afectado del término constante del potencial de marea; se dice que está referido al sistema libre de mareas. A la hora de incluir este término (en los resultados que se muestran sí se tiene en cuenta), se ha de transformar de la siguiente forma

$$C'_{20} = C_{20} - 4.17357 \cdot 10^{-9}$$

Finalmente, se puede tener en cuenta la variación temporal (secular) observada de los coeficientes C_{20} , C_{21} y S_{21} ; son las únicas variaciones que llegan a modelarse. La velocidad de variación es

$$dC_{20} / dt = 1.16275534 \cdot 10^{-11} \text{ año}^{-1}$$

$$dC_{21} / dt = -0.32 \cdot 10^{-11} \text{ año}^{-1}$$

$$dC_{22} / dt = 1.62 \cdot 10^{-11} \text{ año}^{-1}$$

El resultado final obtenido, para la Península Ibérica y sus inmediaciones, referido al elipsoide WGS84, puede observarse en las figuras 1 y 2. Las mayores ondulaciones del geoide ($> 57 \text{ m}$) se observan en la zona limítrofe de las provincias de Orense, León y Zamora, mientras que los valores más bajos ($< 43 \text{ m}$) se encuentran en el Sur de la provincia de Cádiz.

4. COMPARACIÓN ENTRE LOS MODELOS EGM96 Y GEM-T3

A la hora de comparar el anterior geoide de precisión con otro modelo más simple, se ha querido utilizar el modelo de geopotencial GEM-T3 (*Goddard Earth Model*). Este modelo, al igual que sus predecesores GEM-T1 y T2, ha sido obtenido a través de medidas de la gravedad y distintos métodos de Geodesia Espacial, a saber, observaciones a satélite y altimetría; en total, más de dos millones y medio de observaciones distintas. Ha sido muy utilizado como un modelo simple de geoide.

Está completo hasta grado 50 (se han calculado "sólo" algo más de 2500 coeficientes armónicos), tal que se estima un error medio cuadrático en la determinación del geoide a partir de este modelo de 59 cm, considerando toda la superficie terrestre y, de 25 cm, si sólo consideramos las áreas oceánicas (3.3 y 2.1 veces superior, respectivamente, al indicado en el modelo EGM96). Es posible restituir semilongitudes de onda en la determinación de la ondulación del geoide del orden de algo más de unos 300 km para nuestras latitudes.

Tras encontrar el geoide para este modelo siguiendo la metodología descrita anteriormente, se ha representado para la misma zona, refiriéndolo también al elipsoide de referencia WGS84 y, considerando también el término constante del potencial de marea; puede observarse en la figura 3.

En este caso, aparece un único y claro abombamiento del geoide, de valor superior a 55 m, en la zona de Cáceres, Salamanca y Ávila.

Finalmente, a la hora de que queden más explícitas sus discrepancias, en la figura 4 se puede observar la diferencia entre ambos modelos. Las diferencias llegan a ser cercanas a los 7 m en la zona del Estrecho de Gibraltar o, del orden de 5 m en el Norte de Galicia; aparte de estas dos singularidades, las diferencias no llegan a ser superiores a unos 2 ó 3 m.

Evidentemente, geoides como el GEM-T3 se construyen a la hora de marcar las tendencias de un geoide global, y no pueden

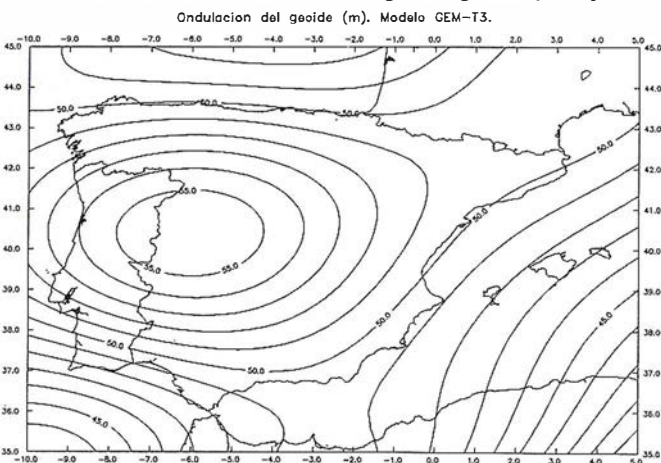


Figura 3

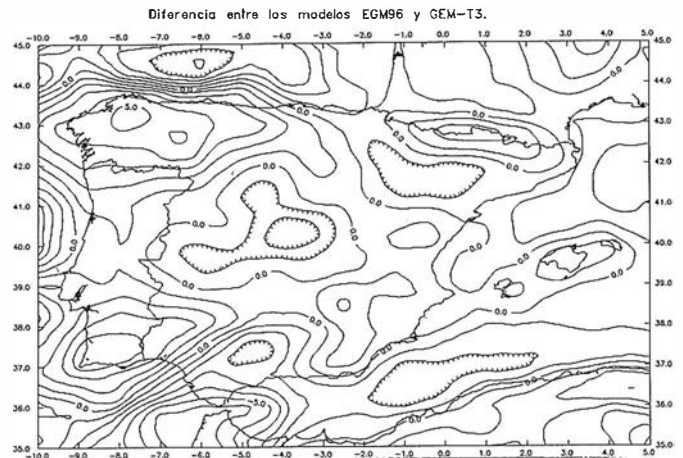


Figura 4

enfocarse a trabajos en los que se necesita un geoide de precisión. Ni siquiera geoides llamados de precisión, como el EGM96, obtenidos a partir de modelos de geopotencial, proporcionan precisiones suficientes en un gran número de casos; son deseables geoides locales gravimétricos, incluso con errores medios cuadráticos sensiblemente superiores a los anteriores, obtenidos, independientemente de la metodología, a través de una gran densidad de datos gravimétricos, utilizando a la misma vez modelos topográficos y de densidades de alta resolución; las correcciones topográficas e isostáticas a las medidas de la gravedad son cruciales a la hora de obtener buenas precisiones en los cálculos de geoides, hasta tal punto que pueden llegar a ser la fuente principal de error.

Para la Península se dispone del geoide IBERGEO1994A, elaborado por el Instituto de Astronomía y Geodesia. Tras trabajar con más de cien mil datos de la gravedad, y resolver la conocida (en Geodesia Física) ecuación de Stokes en el dominio de la frecuencia, se calculó un geoide en el que se estima un error medio cuadrático, en cualquier punto, inferior a unos 50 cm.

BIBLIOGRAFÍA

- Gil, A. J. y Sevilla, M. J.; Determinación Gravimétrica del Geoide a partir de un Modelo de Geopotencial. Estudio Comparativo de Diversos Métodos. VI Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Madrid, 1988.
- Heiskanen, W. A., y Moritz, H.; Geodesia Física. Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 1985.
- Lemoine, F. G., *et al.*; The Development of the NASA GSFC and DMA Joint Geopotential Model. International Symposium on Gravity, Geoid and Marine Geodesy (GraGeoMar 96). University of Tokyo, Tokyo, Japan, 1996.
- Lerch, F. J., *et al.*; A Geopotential Model from Satellite Tracking, Altimeter, and Surface Gravity Data: GEM-T3. Journal of Geophysical Research, Vol. 99, No. B2, pp. 2815-2839, February 10, 1994.
- McCarthy, D. D. (Ed.); International Earth Rotation Service (IERS) Technical Note 21: IERS Conventions (1996). Observatoire de Paris, Paris, France, 1996.
- Moritz, H.; Advanced Physical Geodesy. Herbert Wichmann Verlag GmbH, Karlsruhe, Germany, 1989.
- Sevilla, M. J.; IBERGEO1994A. Determinación del Geoide Ibérico. Estudio del Geoide y de la Superficie Topográfica Marina en la Península Ibérica y su Entorno. Topografía y Cartografía, V. XI, No. 61, pp. 9-25, Marzo-Abril, 1994.

Sin recortar. Sin apilar. Digitalizar automáticamente 600 fotografías aéreas Con el SCAI de Carl Zeiss.



¿Cuál es su tiempo de trabajo para digitalizar y archivar centenares de fotogramas?
¿Quedaría cansado al realizar esta operación?.

Con el scanner de precisión Zeiss SCAI queda intacto el rollo de película. Los fotogramas no se cortan. Solo hay que colocar la película y digitalizarla automáticamente. En breve intervalo de tiempo dispondrá del «original digital» dentro de su ordenador Silicon Graphics. Al archivo se manda solamente el rollo de película.

SCAI tiene una alta productividad: Los tres canales cromáticos se registran con óptima calidad

durante una sola pasada. Es posible ejecutar el trabajo automáticamente, en forma de proceso por lotes, con selección de imágenes. Y todo esto se produce con alta velocidad de exploración.

Se sobreentiende que SCAI está integrado en el sistema fotogramétrico digital PHODIS®.

A nosotros nos gustaría mucho hablar con usted sobre SCAI y PHODIS®. ¿Está usted interesado? En caso afirmativo, dirijase por favor a:



Carl Zeiss
150
Años
de innovación en óptic

Carl Zeiss S.A.
Sociedad Unipersonal
Avda. de Burgos, 87
«Edificio Porsche»
28050 Madrid
Teléfono 91/767 00 11
Telefax 91/767 04 12

**Carl Zeiss -
Cooperación
a largo plazo**

LA EMPRESA ABSIS INFORMATIZA MÁS DE 1.600 AYUNTAMIENTOS

En Cataluña, alcanza una cuota de mercado del 71% y se consolida como líder indiscutible

La compañía informática de ámbito estatal Absis, dedicada al diseño y desarrollo de programas para la Administración Local, ha informatizado 1.610 entes locales, lo que supone alcanzar una cuota de mercado en España del 22%. En Cataluña, donde tiene su sede social, son más de 699 ayuntamientos, un 71% del total, los que utilizan las aplicaciones de la empresa.

En el mercado catalán, Absis es líder indiscutible. La mayor implantación la tiene en los municipios menores de 3000 habitantes -un 79%-; un 72% de sus usuarios son ayuntamientos con una población de 3.000 a 5.000 habitantes, y sólo un 37% de los municipios con más 5.000 habitantes utilizan sus aplicaciones.

El presidente de la compañía, Jesús Bellostes, considera que la situación informática de los ayuntamientos ha dado un importante giro, sobre todo en los de tamaño pequeño y mediano. *"Los municipios, independientemente de su tamaño, utilizan ya herramientas informáticas para mejorar día a día su gestión e incrementar y optimizar los presupuestos que manejan"*. El sistema informático de Absis se basa en redes de PC's (ordenadores personales) y abarca

las áreas contable, fiscal, secretaría y urbanismo.

Un estudio elaborado por la propia compañía indica que el 60% de los ayuntamientos catalanes tienen menos de mil habitantes y cuentan con un presupuesto anual de 29 millones de pesetas de promedio.

Un análisis más detallado permite descubrir que una parte de estos ayuntamientos disponen de un potencial económico superior a la media porque concurren factores de riqueza como el turismo, la industria, etc. *"Es importante conocer el número de viviendas y locales de una población, porque de ello depende hasta el 70% de sus ingresos tributarios, a través del Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI). Así, un ayuntamiento con muchas unidades urbanas será especialmente sensible a mejorar la gestión de este impuesto mediante herramientas informáticas"*.

Ingresar más sin subir impuestos

El sistema de Absis, que integra también un SIG (Sistema de Información Geográfica) ayuda a incrementar notablemente los ingresos municipales, hasta en un 30%, sin aumentar la presión fiscal, según cifras ofrecidas por los propios

ayuntamientos mecanizados por la empresa.

Absis, pionera en el desarrollo de programas informáticos para la Administración Local, fue la primera compañía que creó un *software* de gestión contable totalmente adaptado a la nueva normativa de las administraciones locales. El programa se mejora y actualiza constantemente con innovaciones técnicas. Un ejemplo de ello es la nueva herramienta gráfica que corre sobre Windows y que permite a los gestores relacionar los datos del catastro con imágenes gráficas, controlando visualmente las necesidades urbanísticas del municipio; desde las obras de infraestructuras (agua, gas, electricidad) o los inmuebles que no pagan el IBI, a la situación de la población respecto a los centros escolares, por ejemplo.

Gran parte de los ingresos de Absis, un 87%, proviene de los servicios de valor añadido y consultoría. Su sistema integrado de contabilidad ha sido homologado por varias Diputaciones (entre otras la de Barcelona, Lleida y Toledo), el Consejo Insular de Mallorca y el Gobierno Autónomo de la Rioja. La sociedad, posee una delegación en Lérida y distribuidores por todo el país.

Gran capacidad interna Gran capacidad en su entorno **PHODIS®** de Carl Zeiss



Carl Zeiss ofrece con el sistema fotogramétrico digital **PHODIS®** una solución completa para la fotogrametría digital.

Usted puede digitalizar los fotogramas con ayuda del scanner **SCAI** de precisión Zeiss, sin necesidad de cortar la película. **PHODIS® AT** sirve para la medición automática de la aerotriangulación. La evaluación tridimensional se efectúa mediante el estereorrestituidor digital **PHODIS® ST**. El software **TopoSURF** apoya la obtención de modelos altimétricos digitales. Mediante **PHODIS® OP**, usted puede confeccionar y producir ortofotos digitales con un Rasterplotter.

PHODIS® está integrado en la plataforma de los ordenadores Silicon Graphics, lo cual garantiza un flujo de datos óptimo, condiciones de trabajo uniformes y la cómoda llamada de todos los módulos de **PHODIS®**.

Con este sistema entregado por un solo proveedor, usted tendrá la garantía de un futuro seguro.

A nosotros nos gustaría mucho hablar con usted sobre **PHODIS®**. ¿Está usted interesado? En caso afirmativo, diríjase por favor a:



Carl Zeiss S.A.
Sociedad Unipersonal
Avda. de Burgos, 87
28050 Madrid
Teléfono 91/767 00 11
Telefax 91/767 04 12

Carl Zeiss – Cooperación a largo plazo

Uso de la simulación en el control de errores en la Rasterización

F.J. Ariza López (1); C. Pinilla (1);
A. López Pinto (2); R. López Luque (2)

(1) Dpto. Ingeniería Cartográfica Geodésica y
Fotogrametría. Universidad de Jaén.

(2) Grupo de Investigación en Energía y Recursos
Renovables. ETSIAM - Universidad de Córdoba.

Introducción

La importancia del proceso de rasterización es grande dado que la conversión de información vectorial a raster es un proceso bastante común, y algunas veces indispensable, en los flujos de información propios de los SIG.

La rasterización es un proceso que afecta a puntos, líneas y polígonos que, por lo general, supone una pérdida de información, así como un cambio de concepto y de las relaciones espaciales, puesto que los valores puntuales pasan a tener dimensiones espaciales (Fig. 1).

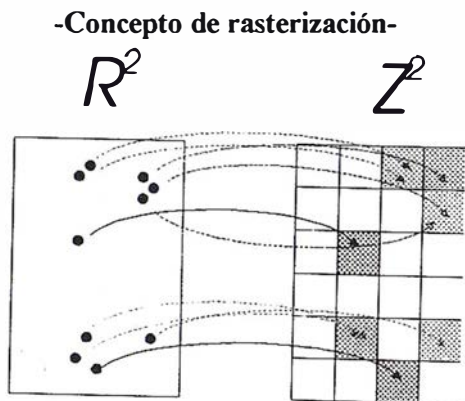


Figura 1

A pesar de la aparente simplicidad del proceso de rasterización, lo cierto es que la caracterización de los errores derivados del proceso, al menos desde un planteamiento teórico, no siempre resulta directo, por lo que numerosas veces se hace necesario recurrir a técnicas auxiliares. Dentro del abanico de técnicas a utilizar en los estudios de rasterización, ya desde sus inicios, se ha venido destacando el uso de la simulación.

Mediante el establecimiento de unas hipótesis de trabajo, que pueden definir procesos o las propiedades de unos datos, y mediante la conjunción de la programación y el uso de

técnicas estadísticas, la simulación permite realizar múltiples experimentos numéricos controlados con los que se pueden corroborar las hipótesis de trabajo validando modelos cuyo planteamiento resultaría excesivamente complejo por otras vías como puede ser la analítica.

El tamaño de la celda aparece como parámetro fundamental en todos los estudios del error. Como idea general, su repercusión está ligada al tamaño relativo respecto al elemento a rasterizar. Ocurre pues, que cuanto más pequeño es el tamaño de la celda respecto al de la figura geométrica a la que pertenece (segmento/área) menor será el error que se comete.

La orientación de la malla es otro parámetro con influencia sobre el resultado final de la rasterización tal como puede observarse, a título de ejemplo, en la Figura 2. De cualquier forma, este parámetro suele ser fijo dado que es común la existencia de una orientación convencional. La orientación de la malla tendrá una influencia muy marcada en aquellos casos en los que exista un patrón lineal en los datos a rasterizar.

-Influencia de la orientación de la malla en la determinación de la superficie-

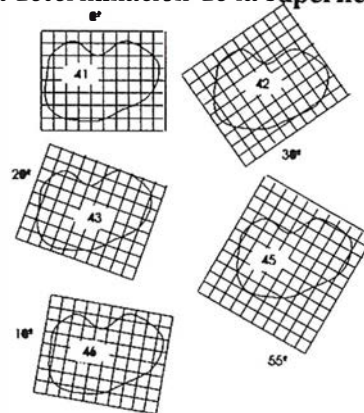


Figura 2

En el trabajo con superficies, además de los factores comentados (tamaño de celda y orientación de la malla) influyen de una forma especial la complejidad de la figura y método de rasterización.

La complejidad de la figura puede entenderse como la abruptuosidad o sinuosidad de sus límites, o cualquier otra medida sobre los mismos, o sobre la relación de aquellos y el área encerrada.

Esta influencia se basa en que, para un mismo tamaño de celda, a mayor complejidad del elemento a rasterizar, existirá

un mayor número de celdas marcadas como pertenecientes al perímetro, algunas de las cuales tendrán muy poca significación respecto al área real del polígono sobre esa celda.

A su vez, el método de rasterización puede tener gran repercusión, principalmente cuando se rasterizan diversos polígonos adyacentes y cuando la complejidad de la figura es grande. En algunos casos el valor asignado en los bordes rasterizados puede variar en función de la ordenación de los elementos en el proceso de rasterización o de que, por ejemplo, se utilice el método de la unidad dominante u otro criterio de asignación.

Finalmente, aunque se escapa del ámbito de este trabajo, otro factor importante en el control de los errores es el propio conocimiento del proceso en cada programa SIG. Aquí también cabe utilizar técnicas de simulación para la caracterización y obtención de comportamientos comparados.

Error en un punto

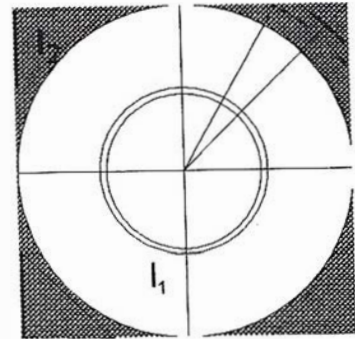
De cualquier forma que se obtengan los índices o coordenadas matriciales i, j de un punto, se tiene una incertidumbre sobre la situación inicial o verdadera del punto, tal que se extiende a las dimensiones de la celda. El error cometido en este proceso no depende tanto del algoritmo como del tamaño de la celda. Suponiendo que el algoritmo de rasterización utiliza la opción de redondeo, el error puede acotarse por un valor máximo correspondiente a la semidiagonal de la celda, tal como recoge la ecuación 1 para una celda cuadrada ($T_x = T_y$).

$$\varepsilon_d = \frac{1}{2} \sqrt{T_x^2 + T_y^2} = \frac{T}{\sqrt{2}} \tag{1}$$

Un planteamiento estadístico para el conocimiento de este error lleva a la necesidad de conocer la función de densidad (fdd) de dicho error. Tomando una celda de tamaño unidad ($T_x = T_y = 1$), y una vez asumido que un punto se rasteriza sobre una celda dada y que no existe patrón alguno, la fdd , definida como la evolución de las frecuencias de rasterización respecto al centro de la celda se puede plantear analíticamente como el cociente entre el área de un círculo de radio la distancia del punto al centro de la celda, y el área total de la celda (la unidad en este caso), según se presenta en la Figura 3.a.

Para obviar este problema se puede recurrir a la simulación. Utilizando la hipótesis de que las coordenadas X, Y del punto se distribuyen, en el interior de la celda, con una función Uniforme (0, 1) según cada uno de los ejes, y tomando 25000 pares de valores X, Y, se ha obtenido el resultado mostrado en la Figura 3.b. Lo cual permite caracterizar el error con una mayor precisión estadística: error mínimo cero, el error máximo la semidiagonal de la celda [L], el error medio 0,38 [L], el error modal 0,49 [L] y la varianza 0.020116 [L²].

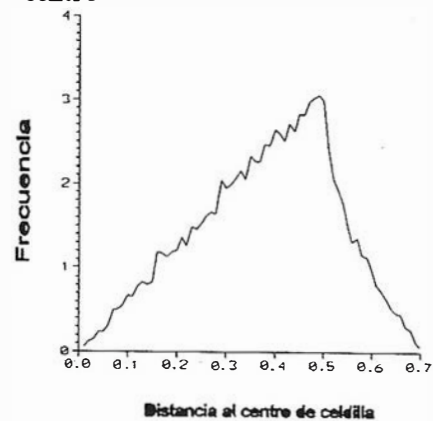
-Planteamiento analítico de la distribución de frecuencias en la rasterización-



$$I_1 + I_2 = \int_0^{l/2} \frac{2\pi r dr}{l^2} + 4 \int_{l/2}^{l/\sqrt{2}} \frac{2\theta(r)r dr}{l^2}$$

a

-Función de densidad de la distribución de la distancia de los puntos de una celda a su centro-



b

Figura 3

Error en la distancia entre dos puntos

La incertidumbre se hace mayor cuando lo que se comparan son distancias entre dos puntos cuyas representaciones son dos celdas. Indudablemente, de forma relativa, el error es tanto más importante cuanto más cerca se encuentren los puntos. Para un par de puntos alineados según una recta de pendiente unidad, y en una representación raster de celdas cuadradas, la ecuación 2 presenta el caso más desfavorable: se supone la comisión del error máximo, y consigno opuesto, en ambos extremos del segmento. De esta forma, si se desea tener, por ejemplo, un error inferior a una centésima (1/100) la distancia que lo asegura es la equivalente a 100 celdas.

(2)

$$D(\alpha = 45^\circ) = D_c \pm T\sqrt{2}$$

-Error máximo en la determinación de distancias-

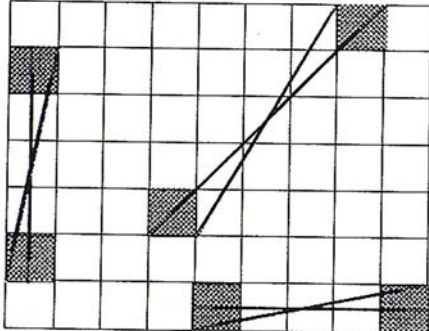


Figura 4

Cuando la alineación no está sobre la recta de pendiente unidad, sino sobre el eje vertical u horizontal, el caso más desfavorable supone el error que se comete entre esquinas extremas y opuestas. Para los casos intermedios de inclinación, y bajo el supuesto de máximo error, la formulación se complica algo más, pero en cualquier caso nunca llega a valer lo apuntado en la ecuación 2 cuando la distancia entre celdas supera cierto umbral, por lo que puede ser utilizarla como una cota máxima para cualquier inclinación, según esto:

$$D \in [D_c - T\sqrt{2}, D_c + T\sqrt{2}] \quad (3)$$

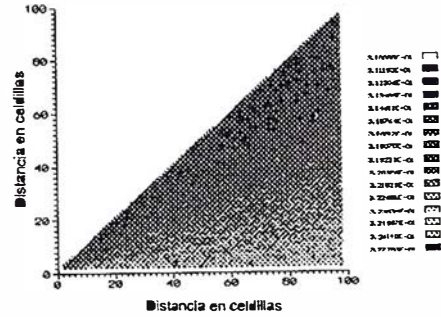
A pesar de estar simplificado, este planteamiento teórico priva de cierto entendimiento de la realidad espacial del fenómeno. Nuevamente, la simulación puede ayudar en la caracterización de este comportamiento. La Figura 5.a presenta gráficamente la distribución espacial del error medio en distancia para un segmento AB cuyo extremo A está aleatoriamente situado en la celda origen ($i=0, j=0$), y cuyo extremo B está aleatoriamente situado en el interior de las celdas pertenecientes al octante comprendido entre los valores angulares $[P/4; P/2]$ y los valores de i, j 100. Se han realizado 25.000 simulaciones en cada celdilla (origen y fin). Debido a la hipótesis de distribución del punto en celda, y dado que la Figura 5.a sólo muestra los valores medios, en esta Figura no se aprecia excesivamente la evolución del error con la distancia, pero si puede observarse la afectación del error por el ángulo.

Por otra parte, la simulación también permite obtener una representación gráfica del comportamiento espacial de la máxima incertidumbre en el establecimiento de la distancia, tal como se presenta en la Figura 5.b. Esta Figura corrobora la acotación establecida anteriormente por la ecuación 3.

Error en el acimut/rumbo entre dos puntos

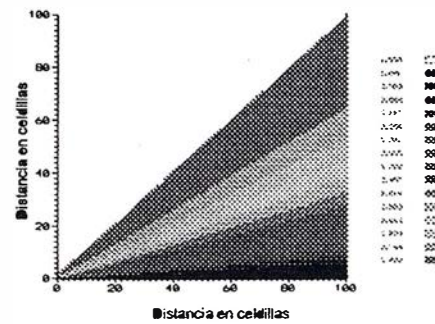
Los valores angulares también se ven influidos por la estructura teselar. Para cada pareja de puntos existirá un error entre el acimut real y el que determina la estructura de celdillas al tomar los centros de las celdas de asignación. La Figura 6.a presenta un caso extremo propio de cuando las celdas son vecinas, aquí se muestra como al tomar el rumbo del eje formado entre los centros de celda frente al punto de los puntos originales, se comete un

-Distribución espacial del error medio en distancias-



a

-Distribución espacial de la máxima incertidumbre en la determinación de distancias-

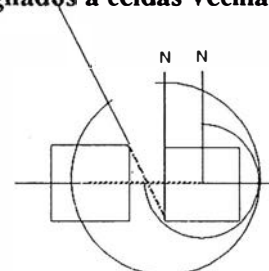


b

Figura 5

error de hasta 90 grados. En cualquier otro caso, cuando las celdas no son vecinas, el máximo error cometido estará definido por la combinación de los casos extremos más desfavorables. La Figura 6.b muestra este ejemplo para una estructura de celdillas cuadradas. Cuando los dos puntos se rasterizan sobre dos celdas alineadas según la una diagonal de pendiente unidad, la ecuación 4 cuantifica el máximo error angular, que se correspondería con los puntos situados en las esquinas extremas cruzadas.

-Ejemplo de error posible en el ángulo entre dos puntos asignados a celdas vecinas-



a

Figura 6



Confiar en nosotros es una garantía para usted

Somos una empresa líder en cartografía,
*ofrecemos un servicio integral,
somos un equipo de más de cincuenta expertos,
tenemos la mejor cualificación profesional
y una dilatada experiencia, nos formamos continuamente,
invertimos permanentemente en tecnología avanzada,
ofrecemos el aval de decenas de proyectos
realizados para las Administraciones
Central, Autonómicas y Locales,
creamos soluciones personalizadas y... sobre todo,*

**le aseguramos
unos excelentes resultados**

CADIC, S.A.

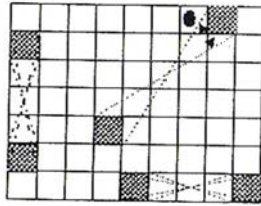
Camino de Valderribas, 93 C. 5ª Planta
28038 Madrid. Tel: 328 12 16 • Fax: 437 65 88

Marqués de San Juan, 5
46015 Valencia. Tel: 348 86 37 • Fax: 348 86 38

cadic

SUS SOCIOS EN CADA PROYECTO

-Error máximo en la determinación de ángulos-



b

Figura 6

$$\varepsilon_a(\alpha = 45^\circ) = 2 \operatorname{arctg}\left(\frac{T\sqrt{2}}{D_c}\right) \quad (4)$$

donde:

ε_a Error máximo en el cálculo del acimut.

T Tamaño la celda.

D_c Distancia entre centro de celdas.

En cualquier caso, cuando la distancia supera un cierto umbral y las celdas se encuentran sobre la horizontal o vertical el error angular máximo es menor que el mostrado por la ecuación 4. Para los casos de pendiente intermedia ocurre otro tanto, por cuyo motivo el valor apuntado por la ecuación 5 puede considerarse como una cota.

$$\varepsilon_a \leq 2 \operatorname{arctg}\left(\frac{T\sqrt{2}}{D_c}\right) \quad (5)$$

-Variación del error angular máximo en función de la distancia y del tamaño de celda-

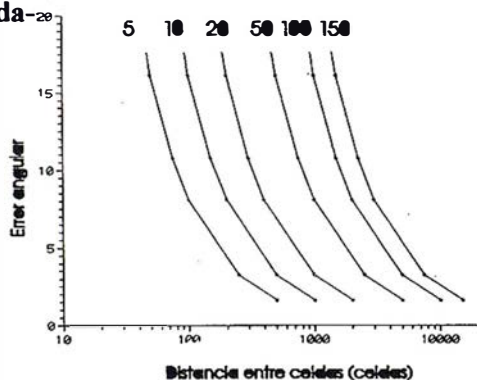


Figura 7

De esta forma, la ecuación 6 presenta la indeterminación existente en el acimut calculado.

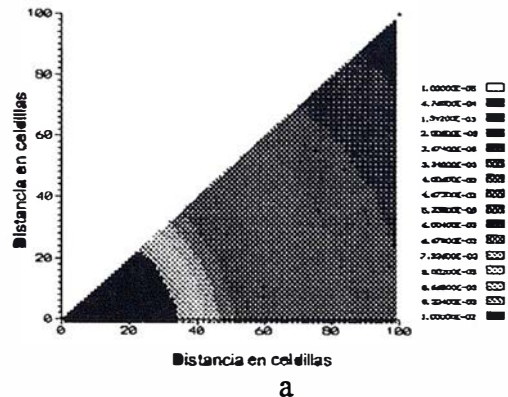
$$A \in [A_c - \varepsilon_a ; A_c + \varepsilon_a] \quad (6)$$

El error relativo disminuye a medida que lo hace la relación entre la semidiagonal y la distancia entre los dos puntos considerados. La Figura 7 muestra esta ley sobre un eje logarítmico; de ella se deduce lo inadecuado de los sistemas raster para este tipo de mediciones.

Mediante el uso de la simulación se obtiene la Figura 8.a que presenta gráficamente la función espacial de distribución del error medio angular (radianes), entre puntos aleatoriamente distribuidos en la celda origen y puntos aleatoriamente situados en las celdas pertenecientes al octante comprendido entre los valores angulares $[P/4; P/2]$ y los valores de ij 100, para 25.000 simulaciones en cada celdilla.

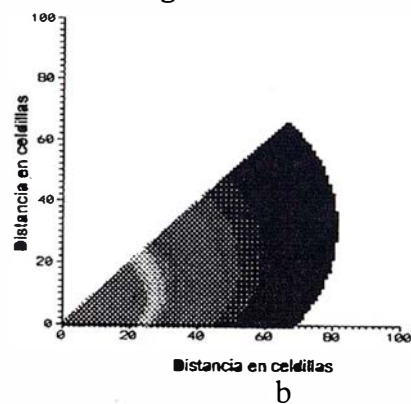
En la Figura 8.a puede observarse, como era de esperar, la afectación del error medio por la distancia entre puntos, presentando valores mayores en los casos de puntos más cercanos.

-Distribución espacial del error medio angular-



a

-Distribución espacial del máximo error angular-



b

Figura 8

La Figura 8.b presenta los valores incertidumbre angular. Esta Figura permite corroborar la hipótesis establecida por la ecuación 6, dado que para una misma distancia medida sobre la diagonal del octante, los valores sobre la horizontal, y sobre posiciones intermedias, son menores. En este caso no ha hecho falta un proceso de simulación, basta con calcular la mayor diferencia posible de ángulos entre las posiciones esquineras de las celdillas.

Error en la medida de longitudes de líneas rasterizadas

La determinación de longitudes de línea es una operación básica en los SIG, sin embargo, si bien en los SIG vectoriales es una operación directa, en los SIG raster es un proceso computacional complejo que requiere el seguimiento de las celdas que forman la representación raster de la misma siendo necesario, en muchos casos, un preproceso de esqueletización para que el seguimiento del rastro sea óptimo computacionalmente. Por otra parte, es común que se filtren los resultados obtenidos del seguimiento de la línea raster por el efecto escalera que suele mostrar. Es decir, por el efecto de troceamiento escalonado presente en la representación raster de un segmento vectorial cuando no es paralelo a ninguno de los ejes; este escalonamiento lo muestran tanto los contornos de las celdas y/o la poligonal formada por los centros de las celdillas del segmento raster.

No existen acotaciones inmediatas a dichos errores sino más bien índices que permiten comparar el resultado de la medición derivada del raster con respecto a las dimensiones originales vectoriales. Estos índices son, en gran medida, los mismos de que se dispone en los estudios de generalización de líneas quedando fuera de nuestra atención.

Error en la determinación de perímetros y de superficies

El cálculo de perímetros es una operación necesaria en muchas aplicaciones y disponible en los SIG convencionales tanto vectoriales como teselares. En sistemas raster este cálculo puede enfrentarse desde dos perspectivas, una más simple y centrada en el mero cómputo del perímetro raster de la(s) figura(s) en cuestión, para lo cual hay que utilizar algoritmos adecuados y un álgebra raster, y otro caso, más complicado e interesante, que pretende relacionar ese perímetro con el perímetro del objeto real. El desarrollo histórico de este último caso está estrechamente ligado al estudio de los errores areales en la representación raster de superficies por lo que se presentarán conjuntamente.

El cálculo del número de celdas perimetrales n_{per} que conforman el perímetro de un polígono raster es una operación que puede hacerse utilizando algoritmos de cálculo aproximado mediante técnicas de orlado, o utilizando algoritmos de cálculo exacto (en álgebra raster), bien basados en técnicas de filtrado o en técnicas de barrido del plano. No obstante, aunque la técnica utilizada permita determinar de forma precisa el número de lados perimetrales de un polígono raster,

siempre está presente la incertidumbre sobre la dimensión real del perímetro dado que el efecto escalera queda subyacente a la estructura y, también, las repercusiones del algoritmo de rasterización utilizado, por ello conviene delimitar dicho error.

Debido al modelo de la realidad, calcular una superficie en un sistema raster es inmediato, tan sólo basta ir sumando las celdas que cumplen con un filtro sobre los atributos. Sin embargo, la superficie así obtenida tan sólo puede considerarse como una estimación de la vectorial, o de la del objeto real del cual procede. Este es pues un ámbito de estudio de gran interés y por ello existen numerosos trabajos, casi desde los inicios de los SIG teselares, donde se pretende cuantificar los errores propios de este proceso ayudados en técnicas de simulación donde se relacionan superficie con perímetro.

El error en la estimación raster de una superficie no procede de las celdas internas de polígono, si no que está íntimamente ligado a lo que ocurre en las celdillas mezcla o de borde, es decir, las del perímetro. Por este motivo el estudio del error en superficie y del perímetro están muy ligados (ver Figura 9).

-Celdas perimetrales o celdas mezcla-

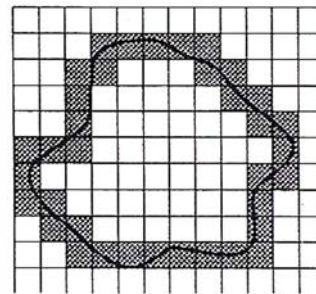


Figura 9

El error superficial cometido en la rasterización de un polígono puede definirse según la ecuación 7, de esta forma, el área real puede expresarse en función de la calculada y de una estimación de este error (ecuación 10).

$$\varepsilon_S = ABS \left[\frac{A_{Calculada} - A_{Poligono}}{A_{Poligono}} \right] \quad (7)$$

donde:

ε Error relativo.

$A_{Calculada}$ Área calculada de la forma raster ($A = N T^2$; donde N = número de celdillas, y T = tamaño o dimensión del lado de la celda cuadrada).

$A_{Poligono}$ Área del recinto vectorial.

Es decir:

$$A = A_{Calculada} \pm \varepsilon_S A_{Poligono} \quad (8)$$

despejando el área del polígono de la ecuación 7:

$$\pm \varepsilon_s = \frac{A_{Calculada}}{A_{Poligono}} - 1; \quad 1 \pm \varepsilon_s = \frac{A_{Calculada}}{A_{Poligono}}; \quad (9)$$

$$A_{Poligono} = \frac{A_{Calculada}}{1 \pm \varepsilon_s}$$

de la siguiente expresión:

$$A = A_{Calculada} \pm \frac{\varepsilon_s A_{Calculada}}{1 \pm \varepsilon_s} \quad (10)$$

De forma similar se define el error en el perímetro como:

$$\varepsilon_p = ABS \left[\frac{P_{Calculada} - P_{Poligono}}{P_{Poligono}} \right] \quad (11)$$

donde:

- ε Error relativo.
- $P_{calculada}$ Perímetro calculado de la forma raster.
- $P_{Poligono}$ Perímetro del recinto vectorial.

Llegando a escribirlo como:

$$P = P_{Calculado} \pm \frac{\varepsilon_p P_{Calculado}}{1 \pm \varepsilon_p} \quad (12)$$

Un planteamiento básico para entender ambos procesos es el propuesto por Frolov y Maling, el cual se basa, en parte, en la teoría de la aguja de Buffon. Frolov y Maling basan su modelo en la identificación de las celdas de borde, o celdas mezcla (mixels), es decir, celdas bisecadas por el perímetro del polígono. Como primera hipótesis, asumen que el perímetro del polígono puede considerarse, sin pérdida apreciable de precisión, como un segmento recto dentro del confín de cada celda, dividiendo a ésta en dos partes de diferente tamaño. Además asumen como hipótesis fundamental de trabajo que toda línea de borde de área puede considerarse aleatoriamente orientada sobre la celda. Las variables que especifican la situación de la línea sobre la celda son el punto de inserción (en el intervalo $[0, 1]$ para una celda cuadrada de lado unidad) y el ángulo (en el intervalo $[0, \pi]$).

De esta forma, mediante integración obtuvieron que el valor medio del área más pequeña que forma la recta al caer sobre la celda era de 0.2126 unidades² (ϖ). Igualmente, calcularon el valor medio de la longitud de la recta comprendida dentro de los límites de la celda ($b = 0.7979$ unidades). La Figura 10 muestra gráficamente estos conceptos.

-Celda mezcla de Frolov y Maling-

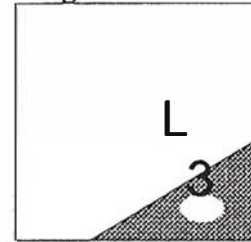


Figura 10

Bajo las mismas hipótesis, distribución uniforme bivariente para la posición de un punto dentro de la celda y ángulo de orientación aleatorio para el segmento, este proceso también puede ser simulado. Un total de 50.000 simulaciones ha permitido determinar dichos parámetros con los siguientes valores: $\varpi = 0.2487$ u² y $b = 0.7979$ u, valores totalmente de acuerdo con los obtenidos por Goodchild en sus trabajos de revisión de los resultados originales de Frolov y Maling. Cabe destacar que históricamente este procedimiento de simulación ha tenido gran importancia dado que cuando el segmento tiene una longitud tal que pudiera no cortar la celda, la probabilidad de cortar un lado está relacionada con el valor del número P, por lo que se han sido muchos los autores que han utilizado este proceso para ajustar su valor.

Frolov y Maling estudiaron también la varianza del error superficial para una celda, encontrando la relación empírica marcada por la ecuación 13.

$$\sigma_\varepsilon^2 = a T^4 \quad (13)$$

donde:

- σ_ε^2 Varianza del error para una celda.
- a Constante de Goodchild ($a = 0.0619$).
- T Tamaño de la celdilla cuadrada.

Dado que tras la rasterización de un polígono existirá un cierto número n_{per} de celdas perimetrales, y suponiendo que cada una de ellas genera un error como el anteriormente apuntado, y que el comportamiento es independiente y aleatorio, la varianza del error total será la suma de todos los errores simples, es decir, n_{per} veces el valor indicado en la ecuación 13 anterior. La desviación máxima valdrá en este caso la raíz cuadrada de esa varianza total. Indudablemente, allí donde existan patrones de forma en los límites de los polígonos (p.e. caso de parcelas de cultivos orientadas según la ladera) no será cierta la hipótesis de aleatoriedad.

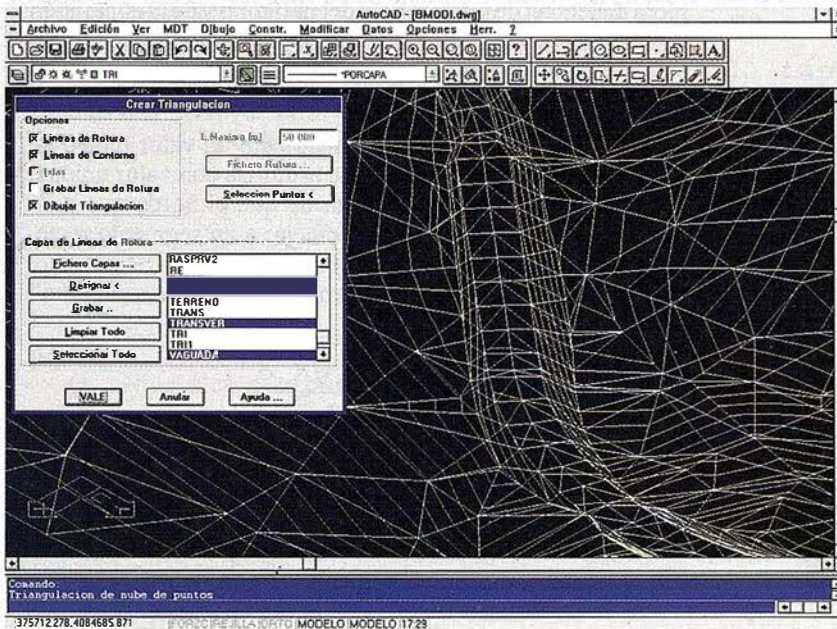
$$\sigma_\varepsilon^2 = aT_1^4 + aT_2^4 + aT_3^4 + \dots + aT_{n_{per}}^4 = aT^4 n_{per} \quad (14)$$

TCP – Modelo Digital del Terreno

Soluciones para Topografía, Ingeniería Civil y Construcción en AutoCAD

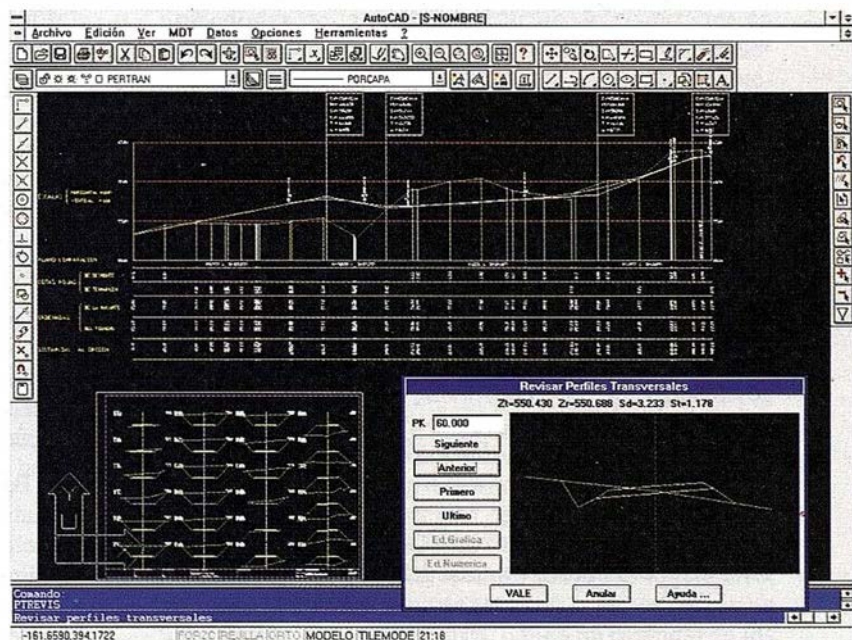
El programa ideal para profesionales de la Topografía, empresas constructoras, estudios de ingeniería, canteras, minas, etc.

Excelente servicio post-venta, con asistencia técnica por teléfono, fax o correo electrónico. Adaptaciones y conversiones a medida.



- Aplicaciones para libretas electrónicas PSION y NEWTON, implementadas para las principales marcas de aparatos topográficos del mercado.
- Cálculo de puntos procedentes de recolectoras de datos o ficheros ASCII. Compensación de poligonales, intersecciones inversas, etc.
- Dibujo automático de planimetría a partir de BD de códigos.
- Triangulación automática o considerando líneas de rotura. Edición interactiva. Contornos e islas.
- Generación de curvas de nivel. Suavizado automático. Rotulación de cotas. Utilidades de elevación de curvas.
- Definición de ejes a partir de polilíneas y alineaciones (rectas y curvas con o sin clotoide) por diferentes métodos.

- Obtención de perfiles a partir de modelo o cartografía digitalizada.
- Diseño de rasantes de forma gráfica y/o numérica. Acuerdos verticales.
- Definición librerías de plataformas, cunetas, taludes, firmes y peraltes.
- Dibujo de perfiles configurable con bloques con atributos. Distribución automática en hojas.
- Cálculo y replanteo de puntos en planta. Control de obras.
- Cálculo de volúmenes por mallas, modelos o perfiles transversales.
- Creación de vistas 3-D. Conexión con programas de fotorrealismo.
- Opciones especiales para canteras, balsas, líneas eléctricas, etc.



TCP Informática y Topografía
C/ Sumatra, 11 E-29190 MÁLAGA
Tlf: (95) 2439771 Fax: (95) 2431371
Internet: tcp_it@agp.servicom.es
Compuserve: 100517, 3213

 **Autodesk.**
RAD-Desarrollador Registrado

P.V.P.
135.000
a 250.000 ptas.

Basándose en estos resultados, y dado que los errores en la estimación de un área en los sistemas teselares se deberá a las celdas mezcla del perímetro, Frolov y Maling estiman que la desviación del error en superficie, puede expresarse como:

$$S = \bar{\omega} \sqrt{n_{per}} \tag{15}$$

Una aproximación, para formas geométricas simples, que también puede obtenerse por simulación, consiste en establecer que n_{per} es proporcional a la raíz cuadrada del número total de celdillas N que componen el polígono según establece la ecuación 16.

$$n_{per} = 4\sqrt{N} + 4 \tag{16}$$

donde:

- n_{per} Perímetro, (estimación medida en lados de celdilla).
- N Número de celdillas que forman la superficie.

Otra formulación permite establecer que:

$$n_{per} = k_2 B \tag{17}$$

donde:

- B Es la suma de la longitud de todos los segmentos rectilíneos que forman el borde ($B = \sum b_i$); uno por cada celdita.
- k_2 Es el inverso de la longitud media de los segmentos de borde de las celdillas ($k_2 = 1/b$).

donde, por otra parte, el valor de B puede calcularse en función del área del polígono (A) y de un factor de forma k_3 , también ajustable por simulación, según:

$$B = k_3 \sqrt{A} \tag{18}$$

Combinando las expresiones anteriores, la desviación del error de la estimación del área del polígono queda:

$$S = k_1 \sqrt{k_2} \sqrt{k_3} \sqrt[4]{A} \tag{19}$$

Expresando dicho valor en forma relativa al tamaño del polígono:

$$S = \frac{k_1 \sqrt{k_2} \sqrt{k_3}}{\sqrt[4]{A^3}} \tag{20}$$

Es decir, S es función del tamaño del polígono y decrece cuando el tamaño se incrementa.

Los trabajos de Crapper se han centrado en la estimación del número de celdas perimetrales. Cabe esperar que su número dependan de la superficie del polígono y de la contorsión o sinuosidad de su perímetro. Según esto, dicho autor definió el coeficiente de forma (k_3) y un parámetro adimensional de contorsión media (k_4).

Crapper encontró experimentalmente un valor medio de k_3 de 1.82, mientras que k_4 puede asumirse con valor unidad. Esto último equivale al supuesto de que el borde que pasa dentro de una celda se puede asemejar a un segmento recto, hipótesis que coincide con la de Frolov y Maling. Según esto, el número de celdas del perímetro puede estimarse como:

$$n_{per} \approx \frac{P}{k_4 \bar{b}} = \frac{2k_3 \sqrt{\pi A}}{k_4 \bar{b}} \tag{21}$$

Siguiendo este planteamiento, y sustituyendo en la ecuación 15, Crapper formula la desviación típica del área del polígono como:

$$S = \bar{\omega} \sqrt{n_{per}} = k_1 \sqrt{n_{per}} = \left[\frac{2k_1^2 k_3 \sqrt{\pi A}}{\bar{b} k_4} \right]^{1/2} \tag{22}$$

Los modelos precedentes muestran que la desviación estándar (relativa) es proporcional al área elevada a la potencia $-3/4$. Cuando la dimensión lineal de la celda, T , no es la unidad, dicho error relativo es proporcional a la $T^{3/2}$. Estas relaciones son válidas cuando se consideran polígonos individuales, no el mapa completo. En este último caso el error relativo se relaciona linealmente con T , y es proporcional al inverso de la raíz cuadrada de A ($-1/2$).

Goodchild criticó el modelo de Frolov y Maling por cuanto supone independencia de los errores asociados con cada celda de borde. Si se tiene en cuenta la existencia de correlación el error se incrementa. Por otro lado, esta correlación es más patente cuanto mejor se aproxima el borde por segmentos rectos.

Bajo la misma concepción de error Carver y Brunson estudiaron el error areal en la conversión vector-celda para árboles cuaternarios en función de la complejidad de la línea perimetral y del número de niveles de la estructura receptora. Esta formulación también es válida para estructuras matriciales normales. Dichos autores se basaron en:

- definir la complejidad de la línea en función de un parámetro indicador del cambio angular (dirección) por unidad de longitud.
- definir del nivel cero de partida de la estructura de árbol cuaternario como la máxima distancia x-y. (ancho/alto) de los datos vectoriales iniciales.

En este caso, la simulación permite controlar, de forma precisa, la complejidad de los elementos a rasterizar dado que se obvian los problemas propios de la captura de datos tanto

en su vertiente de digitalización como de muestreo. De esta forma, mediante la obtención de modelos digitales del terreno por procedimientos de simulación fractal y la generación de líneas de costa por inundación de los modelos simulados, Carver y Brunson determinaron y ajustaron una relación exponencial entre el error y el número de niveles en la estructura en árboles (ecuación 23).

$$\varepsilon_s = C e^{FQ} \quad (23)$$

donde:

- ε_s Error de la rasterización (según ecuación 18).
- Q Nivel alcanzado en la estructura árbol cuaternario.
- F Coeficiente con valor -0.7514 (aproximadamente constante).
- C Coeficiente función de la complejidad angular, se determina como:

$$C = c_1 t^2 + c_2 t + c_3 \quad (24)$$

donde:

- t Parámetro de complejidad angular (ángulo medio entre segmentos).
- c_1, c_2, c_3 Coeficientes de la regresión.

despejando Q de la ecuación 23:

$$\varepsilon_s / C = e^{FQ} \quad ; \quad \ln \left[\frac{\varepsilon_s}{C} \right] = FQ \quad ; \quad Q = \frac{\ln \left[\frac{\varepsilon_s}{C} \right]}{F} \quad (25)$$

De esta forma, si se fija un error máximo de rasterización, y es conocida la complejidad angular del elemento poligonal, la ecuación 25 determinará el nivel de la hoja menor del árbol, que sustituido en la ecuación 26, establece el tamaño de celda base.

$$T = \frac{M}{2^Q} \quad (26)$$

- T Tamaño de la celda.
- M Tamaño máximo de la dimensión x-y del mapa.
- Q Nivel máximo del árbol cuaternario según ecuación 40.

Siguiendo el ejemplo marcado por los autores, para el caso de la línea de costa de Inglaterra ($M = 1300 \text{ km}$, $t = 0.5018$, $\varepsilon = 0.002$) se encuentra que el tamaño de la celda mínima debe ser de 635 metros, correspondiente con una estructura de árbol con 11 niveles.

Conclusiones

1. La rasterización es un proceso más complejo de lo que normalmente se suele considerar, siendo necesario un conocimiento profundo de la estructura raster para determinar los errores o incertidumbre esperables en un proceso concreto.
2. Existe la posibilidad de acotar analíticamente ciertos errores en la rasterización de puntos, líneas, y áreas, sin embargo, la formulación matemática o estadística es bastante compleja.
3. El uso de la simulación y de la programación permite conocer y caracterizar de una forma más simple el comportamiento espacial del error, así como generar bases de datos controladas y, por tanto, más adecuadas para hacer experimentos, estudios y modelos sobre el comportamiento del error.
4. La rasterización de superficies es el ámbito donde mayor número de estudios se ha desarrollado por la inmediatez de la forma de cálculo de superficies en estos sistemas, y por la relación con su aprovechamiento directo en la explotación de imágenes de satélite.
5. Finalmente cabe decir que, además del problema de la incertidumbre posicional y de la estimación de distancias, ángulos,... el modelo raster genera problemas de competencia entre objetos. Esto hace realmente necesario establecer unas normas para la ejecución del proceso de rasterización; de otra forma, en la mayoría de los SIG comerciales, el resultado de la rasterización podría depender de algo tan peregrino como la organización de los elementos en un fichero informático. Es así que los resultados obtenidos sobre una misma base de datos vectorial pueden diferir de un sistema a otro, aun usando las mismas técnicas de análisis. Además, desgraciadamente, los SIG más difundidos no prestan una ayuda demasiado esclarecedora sobre sus algoritmos, ni sobre la forma óptica de resolver la rasterización en los mismos. Se necesita pues, o bien un estándar en los algoritmos y formas de conversión, o metadatos sobre el proceso que conduce a la formación de cada base de datos.

Bibliografía

- Bernhardsen, T. (1992). *Geographic Information Systems*. VIAK IT. Arendal.

- Calvo, M. (1993). *Sistemas de información geográfica digitales. Sistemas Geomáticos*. EUSKOKIKER. Vitoria.
- Carver, S.; Brunson (1994). *Vector to raster conversion error and feature complexity: an empirical study using simulated data*. En INT. J. GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS, Vol. 8, nº 3, pp. 261-270.
- Crapper P.F. (1980). *Errors Incurred in Estimating an Area of Uniform Land Cover Using Landsat*. PE&RS, 46-10, pp 1295-1301.
- Crapper P.F. (1981). *Geometric Properties of Regions with Homogeneous Biophysical Characteristics*. Australian Geographical Studies, 19-1, pp. 117-124.
- Feito, F. (1995). *Informática Gráfica Teoría y Práctica*. UNIVERSIDAD DE JAÉN. Jaén.
- Frolov, Y.S. Maling D.H. (1969). *The accuracy of area measurements by point counting techniques*. En Cartographical Journal Nº 6, pp 21-35.
- Goodchild, M.F. (1980). *Fractals and the accuracy of geographical measures*. En Mathematical Geology. Nº 12, 2, pp. 85-98.
- Knaap, M. Van der, (1992). *The vector to raster conversion: (mis)use in geographical information systems*. En INT. J. GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS, Vol. 6, nº 2, pp 159-170.
- Lawrence, R.L. (1996). *Determining patch perimeters in raster image processing and geographic information systems*. En INT. J. REMOTE SENSING, Vol. 17, nº 6, pp 1255-1259.
- López, R. (1996). *Estudio del error en la rasterización de superficies*. En ACTAS VIII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA. Jaén.
- Maling, D. (1989). *Measurements from Maps*. PERGAMON PRESS. Oxford.
- Veregin, H. (1989). *A taxonomy of error in spatial databases*. En T.R. 89-12. NCGIA. Santa Barbara.

Notación

e	Error (e_d, e_a, e_s , errores en distancia, ángulos y superficie).
v	Superficie media del sector más pequeño en la celda (Exp Frolov & Maling).
A	Area del polígono.
a	Constante de Goodchild ($a = 0.0619$).
A_c	Acimut o rumbo.
b	Longitud media del segmento (Exp. Frolov & Maling).
B	Suma de las longitudes de todos los segmentos de perímetro en celdilla.
C	Complejidad angular.
c_1, c_2, c_3	Coefficientes de la regresión para la complejidad angular.
D	Distancia (D_c distancia entre centros de celdas).
F	Constante del ajuste de Carver en los árboles cuaternarios.
i, j	Índices o componentes i, j (columna/fila) de un punto en la matriz.
k_1	Valor medio del área más pequeña bisecada en la celda ($w = 0.2127$).
k_2	Inversa del valor medio de la longitud de la recta comprendida dentro de los límites de la celda ($b = 0.7979$).
k_3	Coefficiente de forma.
k_4	Parámetro de contorsión media.
M	Tamaño dimensión máxima (ancho-alto) del mapa.
n	Número de celdas (n_{per}, n_{pol} , en perímetro y polígono) estimado.
N	Número de celdas (reales).
P	Perímetro del polígono vectorial.
Q	Nivel alcanzado en la estructura quadtree (Nivel cero = toda la imagen).
s	Varianza.
S	Desviación típica.
t	Parámetro de complejidad angular (valor medio del cambio angular).
T	Tamaño de la celda (T_x, T_y).
x, y	Coordenadas x, y de un punto.



azimut,s.a.
FOTOGRAFIA AEREA



4 razones para trabajar con nosotros

EXPERIENCIA

Casi treinta años de presencia permanente en el mercado han convertido a AZIMUT S.A. en una de las empresas más experimentadas del sector. Pionera en la aplicación de las nuevas tecnologías a los vuelos fotogramétricos tradicionales, incorporó entre otras la termografía infrarrojo, la fotografía espectral y los sensores aeromagnéticos y aeroradiométricos. Hoy, con más experiencia que nunca, une a su profesionalidad las posibilidades de vanguardia de los Sistemas GPS

Aviones bimotores

TECNOLOGIA

turboalimentados equipados con sistemas GPS de navegación (ASCOT y SOFTNAVA), estación base de referencias GPS, cámaras fotogramétricas de última generación (RC-30), laboratorio técnico color y b/n y todo un mundo de medios de alta especialización son la base de trabajo del equipo de profesionales de AZIMUT S.A.

CALIDAD

Para AZIMUT S.A. el objetivo es satisfacer al máximo las necesidades de sus Clientes. Su compromiso es proporcionar a cada uno de ellos tecnología y vanguardia, pero también servicio y trato personal. El mejor Certificado de Garantía es siempre su fidelidad

ECONOMIA

La creación de proyectos a medida permite optimizar tanto su ejecución como su coste. Son precisamente la experiencia, la tecnología y la calidad de AZIMUT S.A. lo que hace posible proporcionar a sus Clientes presupuestos basados en la economía.



azimut,s.a.

Marqués de Urquijo, 11. 28008 Madrid

Tel: (91) 541 05 00 - Fax: (91) 542 51 12

EVALUACION DE EQUIPOS GPS PARA LEVANTAMIENTOS PLANIMETRICOS EN ACTUACIONES FORESTALES

Manzano Agugliaro F. y García Buendía T.; Profesores del Area de Expresión Gráfica en la Ingeniería del Dpto. Ingeniería Rural. Universidad de Almería.

Meroño de Larriva J.E.; Profesor del Dpto. Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica. Universidad de Córdoba.

López Hernández M.; Jefe del Dpto. Planificación y Control de Calidad. TRAGSA.

aumentar la superficie de la parcela y el número de vértices que la definen.

INTRODUCCION

El origen del sistema GPS data de 1973, el *Joint Program Office* (JPO), como resultado de la union de dos proyectos : el *U.S. Navys TIMATION Program* y el *U.S. Air Force 621B Project*, ambos de mediados de los sesenta, y pretendían desarrollar un sistema de navegación pasivo usando medidas de distancia, para aplicaciones militares. (Wells,1986) y (Commitee on the Future of the GPS, 1995).

Hoy en día el uso del sistema GPS a aumentado tanto en todas sus aplicaciones civiles, que la propiedad del sistema a pasado de ser del DOD (Departament of Defence) a estar compartida entre con el DOT (Departament of Transportation), y entre ambos forman un comité, el GPS Executive Board, que depende tanto en tiempo de paz como de guerra del National Command Authority (NCA) compuesto por el Presidente o el Secretario de Defensa (con la aprobación del Presidente). (Comitee on the Future of the GPS,1995).

Las aplicaciones topográficas del sistema GPS se puede considerar que comienzan en el verano 1982, en donde se realizan pruebas por parte del investigadores del Instituto de Tecnología de Massachusetts, del prototipo del GPS "Macro-meter", donde se midieron repetidamente líneas base para estudiar la nueva técnica de levantamiento, evaluar el propio prototipo, y obtener experiencias en la propia tecnología, los tests revelaron precisiones en las medidas, del orden de 1 a 2 ppm. (aceptables incluso para medidas de una red de primer orden). (Leick, 1995).

La precisión en el posicionamiento con GPS depende de varios factores (Miliken, 1980; Hurn,1989) como son la Disponibilidad Selectiva (SA) que introduce error en el mensaje de navegación y en el reloj del satélite, los errores del reloj del satélite y del receptor, retrasos atmosféricos, geometría de los satélites (PDOP: dilución de la precisión geométrica, supone una representación numérica de la geometría de los satélites), con un PDOP bajo cabe esperar una mayor precisión en el posicionamiento (Wells, 1986).

La posición puede obtenerse con un receptor en modo absoluto (sin corregir) o en modo diferencial (corregido) lo que implica el uso de dos receptores, donde uno se sitúa en posición conocida y sirve para corregir los errores de retraso atmosférico e ionosférico, SA, retraso de los relojes, etc., siempre que estos dos receptores hallan observado un mínimo de 4 satélites comunes. (Hofmann - Wellenhof, 1992).

RESUMEN

La utilización del sistema GPS como herramienta topográfica está en pleno auge, pero aun siendo una técnica contrastada, esta necesitada de criterios de utilización.

Los trabajos presentados evalúan distintos equipos GPS para actuaciones forestales en cuanto a funcionamiento bajo cubierta boscosa, error superficial producido, influencia de la distancia entre base y móvil, e influencia del relieve.

Para ello se planteó el levantamiento de dos fincas forestales con tres equipos GPS (simultáneamente y de distintas características) y con estación total como método de control.

Los levantamientos GPS se hicieron con la técnica diferencial midiendo pseudodistancias (código C/A) y con una redundancia de 60 medidas por punto. Se utilizaron las correcciones de dos estaciones bases una situada en Madrid (Grafinta) y otra en Córdoba (TRAGSA).

Se obtuvieron errores superficiales de las medidas GPS respecto de la estación total entre el 0,6 y el 1,6 % para la superficie más pequeña y entre el -0,2 y el -0,5 % en la superficie mayor.

Para las distancias a la base estudiadas no se apreció diferencias de precisiones en un radio de 250 Km. y en cuanto a la vegetación estudiada (Pino Carrasco entre 13 a 16 m. de altura y dehesa de encinar) tampoco se apreciaron aumento de dispersión de los datos, aunque si se aprecia que el relieve es el factor que más afecta a la dispersión de los datos.

Como el error superficial mostraba una tendencia a disminuir con el aumento de superficie se planteó un estudio de simulación del comportamiento de los equipos GPS utilizados para ver como variaba el error superficial en función del número de vértices que definían la parcela y la superficie de esta, observándose como el error superficial tiende a cero al

Las empresas y organismos dedicados al manejo de recursos naturales necesitan tener un control geométrico de sus actuaciones tanto para la evaluación de los costes de producción o manejo como para la presentación final de los resultados de sus actuaciones.

Las superficies forestales suelen ser las más complicadas de topografiar por métodos tradicionales, debido a las grandes pendientes y la vegetación abundante que impiden hacer largas visuales, obligando a aumentar el número de estacionamientos (coste) y aumentando la posibilidad de errores de cierre.

Es para este tipo de actuaciones donde se va a estudiar el comportamiento de equipos GPS de distintas características, en relación con una serie de cuestiones. El número de canales, August (1994), estudio como receptores de tres canales bajo condiciones idóneas (bajo PDOP, y sin obstrucción de las señales GPS) daban precisión suficiente para escalas (de 1:12.000 a 1:24.000), obteniendo las posiciones GPS corregidas en un diámetro de 6 m. La distancia entre la base y los equipos móviles donde cabe esperar un aumento del error con el aumento de distancia (Gilbert, 1994). La degradación de la precisión debido a la cubierta boscosa, Gerlach (1989) demostró que la pérdida de la señal bajo pinar era debido un 23 % de las veces a los troncos, 28 % a las ramas y un 36 % al follaje. Los efectos del relieve del terreno estudiados por Deckert y Bolstad (1996) en bosques del este de los EE.UU. muestran como la precisión de la posición va mejorando desde los valles (peor cobertura de satélites) a las cimas (mejor cobertura).

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo se centran en comprobar y evaluar cuando proceda, equipos GPS de distintas características comerciales, en su funcionamiento diferencial y usando el código C/A, ya que es el que da precisiones suficientes para este tipo de actuaciones (de submétricas a 2 o 5 m. según las características comerciales los equipos). Concretamente su comportamiento en lo referente a:

- La pérdida de precisión en función de la distancia entre la base y el móvil
- La influencia de la vegetación en la precisión de las posiciones.
- El error cometido en superficie (comparado con el levantamiento realizado con estación total).
- Establecimiento de la tendencia del error superficial, según el número de puntos que delimitan la parcela, y al aumentar la superficie de esta.

DESCRIPCION Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Para responder a las tres primeras cuestiones se planteó hacer el levantamiento planimétrico de dos fincas forestales

DISEÑO DEL EXPERIMENTO



FINCAS: CARDEÑA, CAZORLA.

BASES: CÓRDOBA, MADRID.

EQUIPOS GPS: 4000 SE, PATHFINDER, GEOEXPLORER

ESTACIÓN TOTAL: TOPCON Serie GTS Modelo 303.

Figura 1: Diseño del experimento.

con tres equipos GPS y una estación total, usando dos estaciones base de referencia muy alejadas entre sí (Córdoba y Madrid). Ver figura 1.

La finca 1 (Los Parrales), estaba situada en una ladera de gran pendiente que ocultaba toda una parte del horizonte y con vegetación tupida, pino Carrasco de entre 13 y 16 metros de altura, en el término municipal de Hornos del Segura en la Sierra de Cazorla (Jaén). La finca 2 (GarcíGomez) abarcaba varias lomas de vegetación irregular, pinar denso (pino piñonero de entre 10 y 12 metros de altura y encinar tipo dehesa, y estaba situada en el término municipal de Cardena (Córdoba). El perímetro de las dos fincas se estaquillo para tomar los mismos puntos en todas las mediciones.

Los equipos GPS utilizados fueron: GIS Surveyor (Trimble 4000 SE), Pathfinder Básico y Geoploter, también de la marca Trimble Navigation, y como estación total una Topcon Serie GTS Modelo 303. Las características comerciales de los equipos GPS se recogen en la tabla 1.

EQUIPO	Precisión tras la corrección diferencial	Ratio mínimo de captura	Tiempo en fijación primera posición	Posibilidad de seguimiento
GEOEXPLORER	2 a 5 m	0.7 segundos	2 minutos 2D 3 minutos 3D	6 canales L1 código C/A
PATHFINDER	1 m + 10 pmm	1 segundo	≤ 30 segundos 3D	6 canales L1 Código C/A
4000 SE	Submétrica	1 segundo	≤ 2 minutos 3D	9 canales L1 Código C/A

La observación de los puntos (estacas que delimitaban el perímetro) con los equipos GPS móviles se hicieron estacionando un minuto en cada uno con: época (epoch) de 1 segun-

LUGAR: FECHA: HORA DE INICIO: HORA DE TERMINACION: N° PAGINA:
 EQUIPO: ALTURA ANTENA: SYNC TIME: PDOP: SNR: t observ:

N° punto	t desde pto anterior	Nombre del fichero	Modif. de parámetros del receptor				Modif. condiciones de observación		Δt observ. (s)	Vegetación (0 cuando esté por debajo de la antena).		Incidencias o comentarios
			PDOP	SNR	Elev mask	Otro	Alt ant	desplaz ± ±		Espesor (m)	Frondosidad	

Figura 2. Estadillo del experimento.

do, máscara de PDOP 7, máscara de SNR 6, máscara de elevación 13°. Y para las estaciones bases: época de 1 segundo, máscara de PDOP 10, máscara de elevación 10°, y observación continua durante el tiempo de los levantamientos. Las condiciones de observación de la base son menos restrictivas (mayor PDOP y menor máscara de elevación) porque el resultado final vendrá condicionado por la geometría de satélites comunes base- móvil, ya que se utilizará la técnica diferencial.

La toma de datos en campo se complementó con un estadillo de campo, ver figura 2, donde en la cabecera se reflejan las características generales para cada equipo y en la tabla se rellena para cada punto:

- Tiempo desde el punto anterior, para separar lo que son tiempos de observación con tiempos de desplazamiento.
- Nombre del fichero donde se registra el punto, muy útil para el análisis de los datos, por ejemplo relación con la vegetación.
- Modificación de los parámetros del receptor, por si había problemas en la recepción y se cambiaba algún parámetro, poder saberlo para el postproceso.
- Modificación de las condiciones de observación, por si se estaba en un punto con una captura de satélites baja (< 4) y se levantaba la antena o bien se cambiaba de posición, mediante un cuadrante (±, ±).
- Incremento del tiempo de observación, para control de tiempos de observación y de desplazamiento.
- Vegetación, se caracterizaba la vegetación para cada punto, de forma que se pudiese ver una posible inciden-

cia en el posterior análisis de los datos. El criterio para la caracterización de la vegetación fue la siguiente:

- 0 : Vegetación inexistente o por debajo de la altura de la antena.
- 1 : Árboles dispersos.
- 2 : Separación de copas.
- 3 : Tangencia de copas.
- 4 : Solape de copas.
- Incidencias o comentarios, por ejemplo cuando no se encontraba una estaca etc.

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

Las posiciones obtenidas con los equipos móviles se procesaron con los datos de dos bases de referencia, una situada en Madrid (Base comunitaria de la empresa Grafinta) y otra en Córdoba (4000 SE Trimble de la empresa TRAGSA), utilizando el Software Pathfinder V 2.5 para corregir con el Código C/A, las posiciones de todos los equipos. Las posiciones WGS84 finales obtenidas (Sistema de referencia propio del sistema GPS: World Geodetic System 1984), se transformaron a coordenadas planas, UTM zona 30 norte, con el datum ED50 (Europea Datum 1950) que utiliza el elipsoide Internacional o de Hayford que es oficial en nuestra cartografía.

Para el cálculo de las superficies de los distintos equipos GPS, se promediaron las 60 posiciones tomadas en cada punto, y la superficie final se obtuvo como resultado del recinto encerrado por dichos puntos. Obteniéndose finalmente los siguientes resultados:



**AHORA TAMBIÉN CON COORDENADAS DE LOS C.D.P.
LA ESTABILIDAD DE LA IMAGEN SE TRADUCE EN PRECISIÓN
PARA SUS LEVANTAMIENTOS FOTOGRAMÉTRICOS**



Avda. de América, 47 - 28002 MADRID
Tel. (91) 413 57 41 - Fax (91) 519 25 40

ESTACION BASE	EQUIPO	FINCA (Ha.)		ERROR % Respecto ET	
		CAZORLA	CARDEÑA	CAZORLA	CARDEÑA
CORDOBA	GEOEXPLORER	29.50	36.11	-0.61 *	0.58
	PATHFINDER	29.79	36.24	-1.60 *	0.22
	4000 SE	29.34	36.19	-0.07	0.36
MADRID	GEOEXPLORER	29.72	36.12	-1.37 *	0.55
	PATHFINDER	29.62	36.31	-1.02 *	0.03
	4000 SE	29.42	36.27	-0.34	0.13
ESTACION TOTAL (ET)		29.32	36.32	0	0

* Son valores poco significativos porque no se cerraron las parcelas por problemas de memoria de los equipos. El estudio del error superficial se tratará aparte.

Las distancias entre las bases y las parcelas, se calculó entre las coordenadas WGS84 Cartesianas (X,Y, Z) de las bases y el centro geométrico de las parcelas (promedio de las coordenadas (X,Y, Z) WGS84), según la expresión:

Tabla de coordenadas WGS84 (en metros) para el cálculo de distancias:

LUGAR	X	Y	Z
MADRID	4851503.18	-314295.01	4115890.74
CORDOBA	5023340.08	-420799.69	3894846.39
CAZORLA	5007018.18	-383127.84	3920120.71
CARDEÑA	5014295.68	-242910.46	3922151.42

Las distancias obtenidas son:

DE	A	DISTANCIA (Km.)
CORDOBA	CAZORLA	181
CORDOBA	CARDEÑA	45
MADRID	CAZORLA	263
MADRID	CARDEÑA	259

Para el estudio de degradación de la posición, se determinaron las desviaciones en la distribución de todas las posiciones en cada punto, respecto de la media (punto que finalmente se obtiene), para cada equipo y con cada base, eso hace que sean 24 desviaciones de la distribución: 3 equipos x 2 bases x 2 parcelas x 2 coordenadas (Este y Norte), siendo 4 las distancias distintas para cada equipo: Córdoba con Cazorla y con Cardeña, y Madrid con Cazorla y Cardeña.

BASE	PARCELA	EQUIPO	N	σ_{ESTE}	σ_{NORTE}
CORDOBA	CAZORLA	4000 SE	1620	4.46	4.07
		Pathfinder	4173	2.88	2.63
		Geoexplorer	1805	0.93	2.50
	CARDEÑA	4000 SE	3040	3.07	4.13
		Pathfinder	5621	1.32	1.99
		Geoexplorer	3348	0.25	0.39
MADRID	CAZORLA	4000 SE	1884	7.21	12.26
		Pathfinder	4304	2.62	3.18
		Geoexplorer	1822	0.68	0.77
	CARDEÑA	4000 SE	3482	2.35	5.45
		Pathfinder	4572	1.76	2.27
		Geoexplorer	3419	0.34	1.06

N = población de registros estudiada.

σ_{ESTE} = desviación típica de la coordenada este.

σ_{NORTE} = desviación típica de la coordenada norte.

NOTA: La desviación se estudia con las desviaciones típicas, y no con las distancias porque estas (las desviaciones típicas) serán un parámetro de entrada en el programa de simulación.

Para el estudio de la influencia de la vegetación, se generaron las poblaciones con los registros de aquellos puntos que tienen el mismo tipo de vegetación. Pero con la óptica que si no había diferencia entre los tipos extremos de vegetación estudiada, no se hacía necesario el estudio comparativo con el tipo medio de vegetación (el 2).

Se realizó el análisis teniendo en cuenta una estación base, la de Córdoba, ya que en el análisis de degradación de la precisión con la distancia a la base, refleja una diferencia pequeña entre las distancias Madrid-Cazorla y Madrid-Cardeña, de apenas 4 km.

Se unieron las poblaciones 0-1 y 3-4 para evitar el error de tomar poblaciones pequeñas. En la tabla se muestran las poblaciones obtenidas para los dos tipos de vegetación (0-1 y 3-4) y las dos parcelas: Cazorla y Cardeña.

FINCA	VEGETACION	N	σ_{ESTE}	σ_{NORTE}
CAZORLA	0-1	2139	3.1126	2.0952
CAZORLA	3-4	661	2.7264	2.6316
CARDEÑA	0-1	984	0.5894	0.9574
CARDEÑA	3-4	360	0.9087	2.5965

DISCUSION DE RESULTADOS

En primer lugar vamos a comentar la degradación de la precisión al aumentar la distancia entre base y móvil. Como se puede ver en la figuras 3, 4, 5 y 6, el único equipo que es sensible al pasar de los 250 km. es el 4000 SE, los demás muestran un comportamiento similar para las distancias estudiadas.

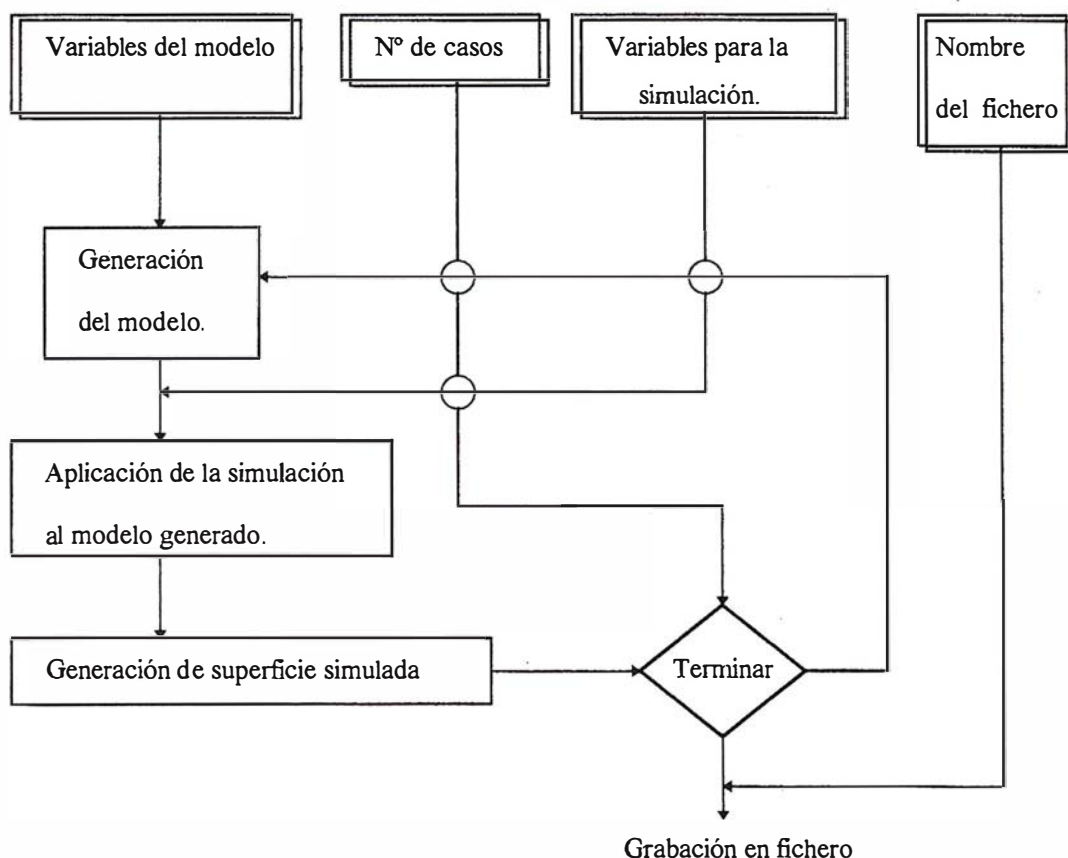


Figura 3: Organigrama del programa.

En el estudio de la vegetación, el resultado fue que la desviación típica se mantiene en las dos fincas en un orden de magnitud similar, entre 2 y 3. No obstante en la finca de Cardeña hay diferencia entre las vegetaciones 0-1 y 3-4, pero al no existir diferencia entre la vegetación 3-4 de la finca de Cardeña, con la vegetación 0-1 y 3-4 de la finca de Cazorla, es de suponer que se debe a otro factor. En la descripción de las fincas, se comentaba que la finca de Cazorla está toda en la misma ladera, mientras que la de Cardeña tiene muchas lomas y vaguadas, eso unido al hecho de que la mayor abundancia de vegetación (la 3-4) de esta última finca, está en las vaguadas como así se refleja en los estadillos de campo, nos hace deducir que la mayor dispersión se debe al relieve (a las vaguadas donde la recepción es peor) y no a la vegetación, siendo también una dispersión alta en Cazorla porque se tiene sólo la mitad del horizonte. Comprobándose de este modo los trabajos de Gerlach (1989) donde la vegetación afecta sobre todo a la pérdida de señal, y los trabajos de Deckert y Bolstad (1996) en los efectos del relieve del terreno, donde hay mayor dispersión en los valles que en las cimas.

El error superficial se abordará con un estudio de simulación del comportamiento de los equipos estudiados, ya que los datos obtenidos no son suficientes para concluir en este sentido.

ESTUDIO DE SIMULACIÓN

En el experimento realizado, se tienen sólo dos parcelas distintas, siendo estas insuficientes para extrapolar conclusiones en la determinación del error esperado al superficializar fincas forestales de distintos tamaños. Para solventar este impedimento, recurriremos a la técnica de la simulación. La simulación es una técnica numérica para realizar experimentos matemáticos que representan un sistema complejo, la experimentación en vez de realizarla con el sistema real, se hace con un modelo. En nuestro caso el GPS es el sistema complejo, y la experimentación consistiría en medir muchas parcelas de distintas superficies y distinto número de vértices.

Descripción del método y resultados

El comportamiento de cada equipo GPS, se simula gracias a que se ha deducido anteriormente la distribución de los registros en la toma de datos con los distintos equipos GPS, en el apartado anterior. Este comportamiento se aplica a cada vértice del perímetro generado, obteniéndose unos puntos que serían los obtenidos con el GPS, y de la unión de todos estos puntos se obtendrá una superficie que tendrá un error con la superficie generada.

De todas las formas generadas con la misma superficie y número de vértices, se determinará un error medio en %, que será el error esperado para cada caso, y de la representación de todos los casos, se generará una gráfica que nos indicará como evoluciona el error, en función del número de vértices y de la superficie medida.

El organigrama de funcionamiento del programa de simulación puede verse en la figura 3. Las variables de entrada al programa son: N° de vértices que delimitan el perímetro, Superficie a simular, N° de casos que se desea simular, Media del error en X, Desviación típica en X, Media del error en Y, Desviación típica en Y, Nombre del fichero donde guardar los resultados.

En los casos prácticos desarrollados se han utilizado las desviaciones típicas obtenidas con una distancia de la línea base de 259 Km. (distancia Madrid-Cardena).

El número de parcelas que se simularon para cada caso (n° de vértices y superficies) es de 100, para un número de vértices de: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200 y unas superficies de: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 Has.

En las tablas I, II, y III se muestran los errores (% en superficie) obtenidos en función del número de vértices de definen la parcela. En las gráficas I, II, y III, se representan los contenidos de las tablas, donde se puede apreciar, como el error es positivo y máximo para las parcelas más pequeñas y con menor número de vértices, siendo del 0,15% en el peor de los casos. Al aumentar el número de vértices el error disminuye hasta hacerse negativo para el mayor número de vértices.

Al aumentar la superficie de las parcelas, se aprecia una disminución en el valor del error, que es más acentuada cuantos más vértices existan en el perímetro de la esta.

CONCLUSIONES

En los tres equipos estudiados se observa que el más sensible a la distancia entre base y móvil, superado el umbral de los 250 km. es aquel que tiene a priori mejores características comerciales de precisión (submétrica), con lo cual para este tipo de precisiones no se puede ir a distancias mayores que este umbral.

La vegetación no es un factor que afecte a la precisión pero si a la pérdida de la señal, siendo el relieve el factor que más afecta a la precisión, debido a que en condiciones limitantes reduce la buena geometría de satélites disponibles para el cálculo de la posición.

El error superficial en los levantamientos con GPS disminuyen con la superficie (existe compensación del error) y con el número de vértices que definen la parcela. Por ello recomendamos tomar mayor número de puntos que los estrictamente necesarios para definir el perímetro de la parcela.

REFERENCIAS

- August P., Michaud J., Labash C., Smith C., Enero 1994. GPS for Environmental Applications: Accuracy and Precision of Locational Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol 60, N° 1.
- Comitee on the Future of the Global Positioning System, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council. 1995. The Global Positioning System. Natinal Academy Press. Washington, D.C.
- Deckert C. y Bolstad P.V. Marzo 1996. Forest Canopy, Terrain, Distance Effects on Global Positioning System Point Accuracy. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol 62, N° 3.
- Gerlach F.L. y Jasumback A. 1989. Global Positioning System Canopy Effects Study, USDA For. Serv. Technology and Development Program MTDC.
- Gilbert C., 1994. Purchasing Your Own Base-Station: A Look at Features and Benefits, Earth Observation Magazine 3.
- Hofmann - Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 1992. Global Positioning System Theory and Practice. Springer - Verlag Wien New York.
- Hurn, J. 1989. GPS: Guide to the Next Utility. Trimble Navigation.
- Leick A. 1995. GPS Satellite Surveying. Second Edition. John Wiley & Sons, INC.
- Manzano Agugliaro F. Octubre 1995. Análisis del Estado Actual de la Tecnología de Posicionamiento por Satélite (GPS). Su Evaluación para el Caso Práctico de Levantamientos Planimétricos en Actuaciones Forestales. Trabajo Profesional Fin de Carrera. ETS Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba.
- Miliken R.J. y Zoller C.J., 1980. Principle of Operation of NAVSTAR and System Characteristics. Global Positioning System. Institute of Navigation, Washington D.C.
- Wells D., Beck N., Delikaraoglou D., Kleusberg A., Krawiwsky G., Lachapalle G., Langley R., Nakiboglu M., Schwarz K., Tranquilla J., y Vanicek P. 1986. Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Associates.

ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL RIO ELICHE A SU PASO POR EL NUCLEO RESIDENCIAL DEL "EL PUENTE DE LA SIERRA", BASADO EN EL MÉTODO DE HELLAWELL

F. Armenteros-Extremera y L. M. Ortega-Latorre.

Ingenieros Técnicos en Topografía y alumnos del último curso de Ingeniería en Geodesia y Cartografía. Expertos en Recuperación de Márgenes de Ríos.

nación por nitratos en la costa mediterránea, bajo Guadalquivir y llanura manchega debida a la agricultura intensiva principalmente y a la ganadería. Un dato interesante es el hecho de que las aguas subterráneas abastecen a un tercio de la demanda industrial y urbana y otro tercio de la agricultura.

INDICE DE CALIDAD DE HELLAWELL

El índice de calidad constituye por sí mismo ya un asunto de discusión. El incremento de las alteraciones en las aguas y la creciente toma de sensibilidad por parte de los organismos competentes ha originado que se pongan diversos programas de control y vigilancia de la calidad de las aguas. Como consecuencia de esto se han desarrollado múltiples métodos o índices para interpretar el grado de alteración de los ecosistemas acuáticos. Existen índices que se basan en el análisis de las condiciones químicas que en principio nos indican la calidad con una gran precisión pero tienen el inconveniente de que nos la revela de una forma instantánea, es decir, es un índice válido para el momento de la toma. El índice que nosotros aplicamos es de los llamados índices biológicos y nos informan de la situación que hay en el instante de toma y de lo acontecido algún tiempo antes de la recogida de las muestras.

En nuestro país existe, últimamente, un aumento del interés hacia la aplicación y estudio de los índices biológicos que va siendo ya recomendable para el seguimiento en los ríos. El índice de Hellawell (1978) es un índice biológico y su valor se obtiene por la suma de la puntuación que corresponde a cada familia de macroinvertebrados acuáticos que habita en el tramo objeto de estudio (ver tabla 1). La ventaja que presenta este índice es que solo requiere la identificación a nivel de familia. Para identificar las clases de calidad se siguieron las normas y recomendaciones del III Seminario (organizado por la Comunidad Europea) sobre "Métodos Biológicos de Evaluación de la Calidad del Agua" y así se clasificaron en cinco clases tales como se reflejan en la tabla 2. El problema de establecer límites de calidad nos lleva a reconocer situaciones intermedias entre unos y otros y es por esta razón que cuando los valores estén cinco unidades por exceso o defecto se consideran la calidad intermedia entre dos clases.

La credibilidad y fiabilidad de estos resultados así como la rapidez de su obtención (al requerir solamente nociones de una taxonomía elemental) hacen de éste índice una excelente herramienta para el seguimiento por personal técnico para evaluar la calidad de las aguas.

INTRODUCCION

Un documento importante a la hora de llevar a cabo la elaboración de un proyecto de restauración fluvial lo constituye un estudio de la calidad de las aguas. Este estudio queda incluido dentro del apartado de Diagnóstico del Problema y es a partir de aquí donde se van a expresar las soluciones propuestas.

Dicho diagnóstico nos vendrá definido por un estudio del tramo considerado y será necesario analizar la calidad de las aguas. La justificación de su estudio radica en que la calidad debe ser la adecuada para poder iniciar el proyecto de restauración propiamente dicho. Además si se incluye en el proyecto otros estudios como la concentración de caudales, revegetación de orillas... se podría entonces mejorar la calidad de las aguas.

De la observación de los datos de la tabla adjunta sobre la calidad del agua en España apreciamos que un 5% de las aguas examinadas no son aptas para cualquier uso durante todo el año y además no presentan huella de vida. Esta contaminación la podemos atribuir a los vertidos urbanos y agrícolas y se dan en gran parte de la cuenca del Guadalquivir, Tinto y Odiel (Huelva), Llobregat, Ter (Pirineo Oriental), Guadalete y en tramos de los ríos Tajo, Guadiana, Ebro, Segura, Júcar, entre otros.

I.C.G.	Calificación	Porcentaje de la red (%)
85-100	Excelente	35
75-85	Buena	32
65-75	Regular	17
50-65	Deficiente	11
<50	Mala	5

Calidad de las aguas de los ríos peninsulares (MOPTMA, 1993)

I.C.G.: Índice de Calidad General.

Igualmente preocupante lo constituye la calidad de las aguas subterráneas las cuales presentan una elevada contami-

FAMILIAS	PUNTOS
Siphonuridae, Heptageniidae, Leptopbeiiidae, Potamanthidae, Ephemeraeidae Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae Chloroperiidae Aphelocbeiriidae Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptocnidae, Leptoceridae, Goeridae Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae Athericidae, Blephariceridae	10
Astacidae Lestidae, Calopterygidae, Gomphyidae, Cordulegasteridae, Aesbinidae Corduliidae, Libellulidae Psychomyidae, Philopotamidae, Glossosomatidae	8
Ephemereiliidae Nemouridae Thyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephidae	7
Neritidae, Viviparidae, Ancylidae Hydroptilidae Unionidae Coropbiidae, Gammaridae Platycnemiidae, Coenagriidae	6
Oligoneuriidae Dryopidae, Elmidae, Helophoridae, Hydrochiidae, Hydraenidae, Clambidae Hydropsychidae Tipulidae, Simuliidae Planariidae, Dendrocoelidae, Dugesiidae	5
Baetidae, Caenidae Halipidae, Curculionidae, Chrysomelidae Tabanidae, Stratiomyidae, Empiidae, Dolichopodidae, Dixidae Ceratopogonidae, Anthomyidae, Limoniidae, Psychodidae Sialidae Piscicolidae Hidracarina	4
Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Pleidae Notonectidae, Corixidae Helodidae, Hydrophilidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae Bithyniidae, Bythinellidae, Spbaeridae Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdellidae Asellidae, Ostracoda	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Thaumaleidae, Ephydriidae	2
Oligochaeta (todas las clases)	1

Clase	Valor	Significado	Color
I	>150 101-120	Agua muy limpias Agua no contaminadas o no alteradas de modo sensible	Azul
II	61-100	Son evidentes algunos efectos de contaminación	Verde
III	36-60	Agua contaminadas	Amarillo
IV	16-35	Agua muy contaminadas	Naranja
V	<15	Agua fuertemente contaminadas	Rojo

Tabla 2. Clases de calidad y colores a utilizar en representaciones cartográficas.

LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL RÍO ELICHE A SU PASO POR EL PUENTE DE LA SIERRA

El documento que aportamos a continuación forma parte del Proyecto Fin de Carrera de la titulación de Ingeniería en Geodesia y Cartografía y cuyo título es "Recuperación de las Márgenes del río Eliche a su paso por el Puente de la Sierra". Este es un ambicioso proyecto para la conservación y recuperación de la ribera fluvial así como para dar respuesta a la ordenación final esta zona residencial.

Para determinar la calidad de las aguas, por el índice de Hellawell, se realizó un muestreo el día 28 de Septiembre de 1996, tomando 13 muestras en un total de 6 puntos considerados suficientemente heterogéneos en el curso. En cada muestra se separaron e identificaron los macroinvertebrados. La descripción física de las estaciones de muestreo es la que se representa en la tabla 3.

La fauna de macroinvertebrados encontrada en las estaciones es la siguiente:

O. Ephemeroptera

Fam. Heptageniidae
Fam. Ephemeridae

O. Odonata

Fam. Lestidae

O. Plecoptera

Fam. Leuctridae
Fam. Capniidae

O. Colcoptera

Fam. Hygrobiidae
Fam. Gyrinidae
Fam. Dytiscidae

O. Diptera

Fam. Chironomidae
Fam. Simuliidae

Pto Muestra	Nº Muestra	Lugar	Tº (°C)	V. centro (m/s)	V. Orilla (m/s)	pH	Lecho
1	4	1 Orilla 2 Centro-Fondo 3 Deriva 4 Rápido	15,5	0,4	0,3	7	L y G
2	2	5 Orilla 6 Centro-Fondo	16,6	0,46	0,05	7	A, O y L
3	2	7 Coriente 8 Remanso	16,5	0,46	0	7	C, A, G y L
4	2	9 Remanso-Orilla 10 Remanso-Centro	16,5	0,1	0,1	7	L y C
5	1	11 Algas	16,5	0,56	0,56	7	L y G
6	2	12 Rápido 13 Algas	16,5	1,5	1,5	7	C

Tabla 3

Códigos: T: Temperatura
V: Velocidad
A: Arena
C: Cantos
G: Grava
L: Limo

Observaciones:

Punto de muestreo 1: Zona de sombra con poca vegetación en los márgenes.
Punto de muestreo 2: Zona de semisombra con vegetación en ambas orillas.
Punto de muestreo 3: Zona de sombra con aguas remansadas.
Punto de muestreo 4: Zona de semisombra bastante afectada por la riada.
Punto de muestreo 5: Zona rica en algas.
Punto de muestreo 6: Zona de rápidos con el río encajonado entre rocas.

Los valores son:

FAMILIA	PUNTUACIÓN
Fam. Heptageniidae	10
Fam. Ephemeraidae	10
Fam. Lestidae	8
Fam. Leuctridae	10
Fam. Capniidae	10
Fam. Hygrobiae	3
Fam. Gyrinidae	3
Fam. Dytiscidae	3
Fam. Chironomidae	2
Fam. Simuliidae	5
TOTAL	64

Según estos resultados, el río Eliche en el tramo donde se ha realizado el muestreo, se incluye en la clase 3^a; *Aguas con algunos efectos evidentes de contaminación*, que pueden ser provocados por las siguientes causas:

- Vertidos sistemáticos de aguas fecales desde los núcleos residenciales adyacentes.
- Vertidos de alpechin y de productos resultantes del tratamiento de mimbres procedentes de tramos anteriores a los puntos de muestreo (Los Villares).

No obstante la baja calidad de estas aguas no solo se debe a los efectos de la contaminación descrita, sino además a:

- Reciente avenida extraordinaria acontecida el 15/08/1996 en dos crecidas (mañana y noche) que provocó el desbordamiento del río y consiguientemente la destrucción, al menos parcial, de las comunidades acuáticas.
- Remoción de los sedimentos del lecho y remodelación del cauce por maquinaria pesada, con objeto de prevenir nuevas avenidas.

BIBLIOGRAFÍA:

- MOPTMA. 1993. Plan Hidrológico Nacional. Memoria. Madrid.
- HELAWELL, J.M. 1978. Biological surveillance of rivers. Water Research Center, Stevenage.
- GONZALEZ DE TÁNAGO M., D. GARCÍA DE JALÓN. Restauración de ríos y riberas. Escuela de Montes.

RUGOMA, S.A.

- Cartografía en formato digital
- Tratamiento de archivos CAD (dxf, dgn...) y PostScript, generando separaciones de color en fotolitos para su posterior publicación
- Mapas digitales interactivos
- Edición de atlas, guías, callejeros
- Cartografía temática, mapas mundi, planos turísticos
- Mapas en relieve
- Laboratorio Técnico Fotográfico

Conde de la Cigera, 4 / local 6
 Tels.: 553 60 27 - 553 60 33
 Fax: 534 47 08

28040 MADRID
 RDSI: 456 11 00

E-Mail: rugoma@rugoma.com

Internet: <http://www.rugoma.com>

UTILIZACIÓN DEL COLOR EN LA DETECCIÓN DE FRONTERAS

J. M. FUERTES, M. LUCENA, N. RUIZ*

Departamento de Informática. Escuela Politécnica Superior de Jaén. Universidad de Jaén.

* Departamento de Electrónica. Escuela Técnica Universitaria de Linares. Universidad de Jaén.

Para comunicación con los autores: jmf@apolo.ujaen.es

Abstract

En esta comunicación presentamos un nuevo método para la segmentación de imágenes en color. Mostramos una aproximación al espacio perceptual (H,S,I) (un espacio de Escala de Cromaticidad Uniforme (UCS) sobre el que se describen tanto sus propiedades como una métrica para trabajar en el mismo. Para la obtención de la información de las fronteras aplicamos un operador gradiente gaussiano a la imagen en color. Mostramos a través de diferentes experimentos cómo los atributos que determinan el color en una imagen son elementos relevantes en un proceso de detección de fronteras frente a la imagen monocroma obtenida a partir de tres bandas de color.

Key Words: Color image segmentation, color spaces, scale space filtering.

1. Introducción

El color es un atributo importante en procesos de ajuste y recuperación. Tradicionalmente, las imágenes en color no eran ampliamente utilizadas debido a la gran cantidad de espacio y tiempo de computación ha disminuido. Como resultado de ello, ha aparecido un interés creciente en la utilización de imágenes en color en el desarrollo de muchas aplicaciones.

Una capacidad fundamental de los sistemas de visión por computadora es la de formular interpretaciones en términos de componentes de la imagen, que es segmentada en varias regiones disjuntas, que poseen alguna característica uniforme en algún sentido como la intensidad, el color o la textura. Las técnicas de segmentación de imagen pueden clasificarse en torno a tres tipos distintos: a) Segmentación basada en histograma [8] [10], b) Segmentación basada en vecindades [1] [3] [4] [7] y c) Segmentación basada en modelos físicos de la imagen [5] [6].

La primera aproximación basa su actuación en la consideración de una agrupación de los objetos con características homogéneas dentro del espacio métrico utilizado. El proceso de agrupamiento conduce a la división de la imagen en regiones homogéneas. Posteriormente será necesario aplicar

una simplificación a la segmentación inicial mediante la mezcla de regiones adyacentes en base a proximidades espaciales [9]. Una aproximación a la segmentación basada en vecindades es la utilización de Campos Aleatorios de Markov. En [4] se propone un marco estadístico para determinar fronteras y segmentar escenas en regiones homogéneas. La tercera técnica de segmentación basa su actuación en la determinación de modelos físicos inherentes a los procesos de formación de imágenes en color y en el desarrollo de métricas para el color [6].

En esta comunicación presentamos un algoritmo de segmentación para imágenes en color definidas sobre un Espacio de Cromaticidad Uniforme (UCS) utilizando un detector multiescala basado en el gradiente de Gaussiana. En la sección 2 y 3 se muestra el espacio de color utilizado, así como la métrica y el orden definido sobre el mismo; en la sección 4 se muestra el algoritmo de detección de fronteras propuesto; en la sección 5 se muestran los experimentos realizados y en la sección 6 se recogen algunas conclusiones finales al trabajo.

2. Elección de un espacio perceptual de color

De la utilización del color como atributo en un proceso de segmentación de una escena surgen dos ideas: de una parte la utilización de espacios de Escala de Cromaticidad Uniforme (UCS) y de otra parte aspectos relacionados con la percepción humana.

Los espacios de escala de cromaticidad uniforme permiten que diferencias de color para la percepción humana puedan ser directamente expresadas como una distancia Euclídea en el espacio de color. Aproximaciones a estos espacios pueden ser el (L^*, a^*, b^*) , el (L, u, v) o el (H,S,I); por el contrario espacios como el (R,G,B) y el (X,Y,Z) no son de escala de cromaticidad uniforme.

El color es un atributo psicológico; los espacios perceptuales de color son usualmente descritos en base a su tono, saturación e intensidad (H,S,I). La intensidad es una medida de la reflectancia total en la región visible del espectro, es un componente acromático del color. El tono es un atributo perceptual del color notado como rojo, amarillo, verde, azul y así sucesivamente. La saturación es utilizada para describir cómo de puro es un color.

3. Aproximación al espacio (H,S,I)

El espacio de color (H,S,I) es un sistema tricolor que formaliza el sistema de color desarrollado por Munsell. Su diseño refleja la forma en que los humanos ven el color, por lo que ofrece numerosas ventajas en procesamiento de imagen.

En el espacio (H,S,I) la componente I denota la intensidad total de brillo de un pixel dado. Las otras dos componentes contienen la información de color del pixel, formando planos circulares de cromaticidad constante. La componente H, o componente de tono, representa al tono de color utilizado y se expresa como un ángulo en el que 0 representa el rojo, 120 representa al verde y 240 representa al azul. Entre los 240 y los 360 se sitúan los colores no espectrales que el ojo humano percibe (Línea púrpura del diagrama de cromaticidad del espacio). La componente de saturación representa el radio del punto de color desde el centro del círculo.

De tal forma que geoméricamente nos aparece un espacio con forma cilíndrica, en el que en el plano de cromaticidad de la base aparece el negro, y en la parte superior del mismo aparece el blanco.

En la aproximación realizada a este espacio en la presente comunicación se ha considerado una forma geométrica de bicono con un cilindro uniendo a ambos conos por su base. La aparición de esta forma geométrica es debida a que conforme nos movemos por el eje de intensidad hacia el blanco o negro puro, deja de tener sentido considerar información de saturación o intensidad.

3.1. Conversión entre (R,G,B) y (H,S,I)

La conversión desde el espacio (R,G,B) a un espacio (H,S,I) como el que se describe en el apartado anterior se puede llevar a cabo de la siguiente manera:

Puesto que la diagonal del cubo (R,G,B) que va de (0,0,0) a (1,1,1) es la línea de grises, el primer paso consistirá en rotar el cubo RGB para que dicha diagonal quede alineada con uno de los ejes. De esta forma separamos la información cromática (ejes x e y) de la que corresponde a la luminosidad (eje z):

$$x = \frac{1}{\sqrt{6}} [2R - G - B] \quad \phi = \frac{1}{\sqrt{2}} [G - B] \quad (1)$$

$$z = \frac{1}{\sqrt{3}} [R + G + B]$$

Posteriormente pasamos a coordenadas cilíndricas mediante las ecuaciones:

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \gamma = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (2)$$

Estas coordenadas (ϕ , ρ , z) corresponden con los valores (H,S,I). Sin embargo, seguimos teniendo un cubo. Para convertir la parte central en un cilindro y los extremos superior e inferior en conos, dividiremos S por el valor máximo que puede tomar ρ para los valores de ϕ y z dados, y lo multiplicaremos por el radio máximo correspondiente al valor de I.

La transformación queda como sigue:

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \phi + k \frac{2\pi}{3} & , \text{ tal que } \phi_1 &\in \left[-\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{3}\right] \\ \phi_2 &= \phi - \frac{\pi}{3} + k \frac{2\pi}{3} & , \text{ tal que } \phi_2 &\in \left[-\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{3}\right] \end{aligned} \quad (3)$$

$$m_1 = \frac{\sqrt{3}-I}{\sqrt{2} \cos \phi_1} \quad m_2 = \frac{I}{\sqrt{2} \cos \phi_2}$$

$$S = \begin{cases} \frac{\rho \left[1 - 2 \left| \frac{I}{\sqrt{3}} - \frac{1}{2} \right| \right] \sqrt{3}}{\sqrt{2} \min(m_1, m_2)} & , \text{ si } I \notin \left[\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{2}{\sqrt{3}} \right] \\ \frac{2\rho}{\min(m_1, m_2)} & , \text{ si } I \in \left[\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{2}{\sqrt{3}} \right] \end{cases}$$

El resultado queda compuesto por los conos y el cilindro mínimos que, teniendo como eje la diagonal principal del cubo (R,G,B) original, envuelven a dicho cubo, todo ello en el interior del espacio cilíndrico que emplearemos posteriormente para definir la métrica utilizada.

3.2. Definición de una métrica en el espacio HSI

Para analizar imágenes en color es muy importante cuantificar la diferencia (o distancia) entre dos colores. Puesto que nuestro espacio (H,S,I) está inscrito dentro de un cilindro, podemos definir la distancia entre dos puntos cualesquiera de la siguiente forma:

$$d = ((d_1)^2 + (d_c)^2)^{1/2} \quad (4)$$

donde

$$d_1 = |I_1 - I_2| \quad (5)$$

y

$$d_c = ((S_1)^2 + (S_2)^2 - 2S_1S_2 \cos \phi)^{1/2} \quad (6)$$

siendo

$$\phi = \begin{cases} |H_1 - H_2| & \text{si } |H_1 - H_2| < \pi \\ 2\pi - |H_1 - H_2| & \text{si } |H_1 - H_2| > \pi \end{cases} \quad (7)$$

El valor d_1 es la diferencia de intensidad entre los dos puntos, d_c es la distancia entre las proyecciones de los puntos en un plano de cromaticidad, y ϕ es el menor ángulo que separa H_1 y H_2 .

3.3. Especificación de un orden en el espacio HSI

Necesitamos definir un orden dentro del espacio (H,S,I) que nos permita, dados dos puntos, decidir cuál de los dos se considera mayor.

Puesto que no existe ninguna forma natural universalmente aceptada de ordenar los colores, definiremos nuestro orden de manera arbitraria. Una técnica simple y que da buenos resultados en la práctica consistiría en evaluar una de las componentes en los dos elementos a ordenar, y elegir como elemento mayor el que posea un valor más grande en dicho componente. En caso de igualdad pasaríamos a la siguiente componente, y así sucesivamente.

En nuestro caso, dados dos píxeles (H_1, S_1, I_1) y (H_2, S_2, I_2), comparamos en primer lugar los valores de I, luego los de S, y finalmente los de H. Para comparar esta última componente el

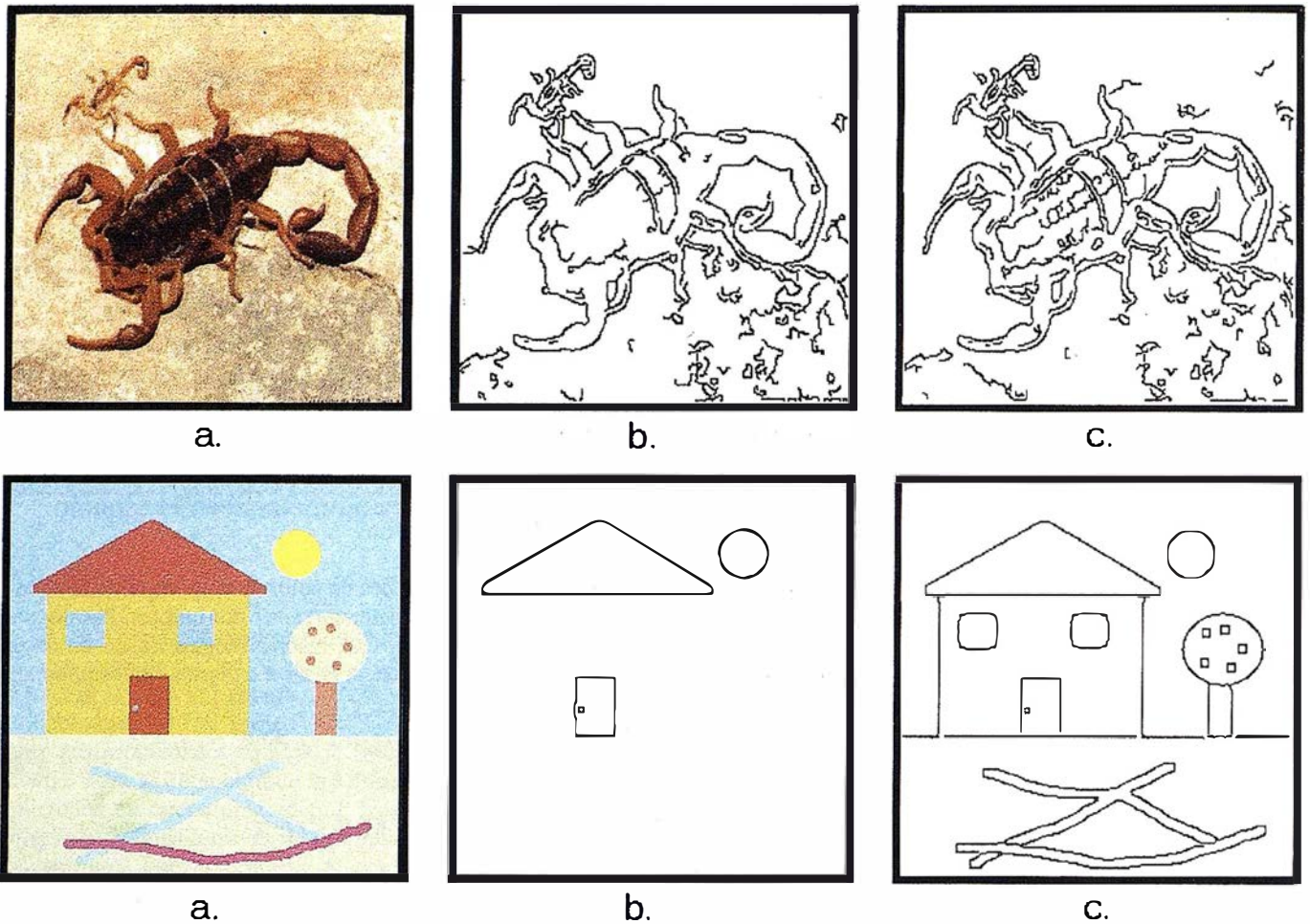


Figura 1: Segmentación de imágenes utilizadas. La serie (a) presenta las imágenes que originalmente son en color real, la serie (b) muestra el resultado del Algoritmo de Canny sobre la imagen monocroma (media de las bandas (R,G,B)) y en la serie (c) se muestra el resultado del algoritmo propuesto sobre el espacio (H,S,I).

elemento mayor, y en caso contrario nos quedamos con (H_1, S_1, I_1) .

4. Segmentación de imágenes

Como se pone de manifiesto en la introducción de la comunicación, son varias las aproximaciones encontradas en la bibliografía para atacar el problema de la segmentación de los objetos presentes en una escena. Considerando que el producto final de una segmentación es el aislamiento de regiones ocupadas por los objetos, nuestra comunicación se centra en la determinación de las aristas correspondientes a los objetos presentes en una imagen en color.

4.1. Aproximación del Filtro de Canny a imágenes en color

La información sobre el vector gradiente (magnitud y dirección) proporcionada por el operador empleado es fundamental en la interpretación de las aristas. Se ha optado por la convolución de la imagen con una función Gaussiana en lugar de aplicar un operador de segundo orden como es la laplaciano. Aplicaremos un operador de primer orden para obtener la orientación de la frontera.

Esto nos conduce al filtro de Canny [2] como una excelente opción, ya que nos permite una interpretación multiescala de la imagen, y por otro lado nos ofrece un excelente método de

umbralización de la imagen gradiente, como es la histéresis, a fin de obtener las fronteras de la imagen.

La convolución de una imagen en tonos de gris con una derivada parcial de Gaussiana se puede llevar a cabo aplicando sucesivamente dos máscaras unidimensionales perpendiculares, siendo la primera la derivada parcial de la Gaussiana y la segunda la propia Gaussiana. Para poder llevar a cabo dicha convolución de la imagen en color se hace uso de la siguiente propiedad:

$$\frac{\partial G(x, y)}{\partial x} = -\frac{\partial G(-x, y)}{\partial x} \tag{8}$$

Luego la acción de aplicar una máscara de derivada parcial en x de Gaussiana se puede expresar de la siguiente manera:

$$\sum_k m_k x_{i+k} - m_k x_{i-k} \tag{9}$$

Agrupando los términos y emparejando los correspondientes a pixeles equidistantes del punto donde la máscara se encuentra centrada llegamos a la siguiente expresión:

$$\sum_k m_k (x_{i+k} - x_{i-k}) = \sum_k m_k c(x_{i+k}, x_{i-k}) d(x_{i+k}, x_{i-k}) \tag{10}$$

siendo $d(x_i, x_j)$ la distancia entre los colores de los píxeles x_i y x_j , y

$$c(x_i, x_j) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_i > x_j \\ -1 & \text{si } x_i < x_j \end{cases} \quad (11)$$

Como se puede apreciar, basta con definir una métrica y un orden en el espacio de color para poder convolucionar la imagen con la derivada parcial en una dirección, y posteriormente convolucionar perpendicularmente el resultado con una máscara de Gaussiana.

Con este resultado se ha generalizado el filtro de Canny de detección de bordes al caso de imágenes en color. Se puede observar cómo además del uso de la intensidad como información para detectar bordes se está usando información proveniente del plano de color y saturación.

5. Experimentos realizados

Para llevar a cabo los experimentos se han seleccionado imágenes de 256x256 píxeles, con un byte para cada banda y pixel, tomadas de diversas fuentes. Algunas de ellas son fotografías de animales, como la que aparece en la figura 1, una instantánea de un escorpión realizada por Scott A. Stockwell. El resto son imágenes de síntesis realizadas expresamente para poner de manifiesto las limitaciones del filtro de Canny aplicado a imágenes monocromas.

5.1. Resultados obtenidos

Contenido de la figura 1:

- En (a) se muestran las imágenes originales.
- En (b) el resultado de aplicar el filtro de Canny a la media aritmética de las tres bandas de color con los siguientes parámetros: $s=1$, umbral superior de histéresis $h=0.9$, y umbral inferior $l=0.5$.
- En (c) el resultado obtenido al aplicar el nuevo filtro a cada imagen, con los mismos parámetros s , l y h .

Para la imagen del escorpión se puede apreciar claramente cómo el nuevo filtro es capaz de detectar los dibujos del abdomen, mientras que el filtro de Canny no puede. Esto es debido a la inevitable pérdida de información que sufre la imagen cuando es convertida a tonos de gris.

Los resultados para la imagen de la casa son más concluyentes, ya que ha sido construida de forma que la mayoría de los colores que en ella aparecen vayan al mismo tono de gris al efectuar la media de las tres bandas. En este punto cabría hacer notar que sea cual sea la combinación lineal que se le aplique a las tres bandas iniciales para obtener la imagen en tonos de gris, existirán combinaciones de colores que, aunque visualmente sean diferentes, queden convertidas al mismo tono de gris.

6. Conclusiones

La utilización de espacios perceptuales como los de Escala de Cromaticidad Uniforme para la segmentación de imágenes en color presenta dos ventajas: a) La especificación y control

del color es más apropiada para la intuición humana que la utilización de los colores (R,G,B) y b) el control de los componentes de intensidad y cromaticidad en estos espacios es más sencillo e independiente.

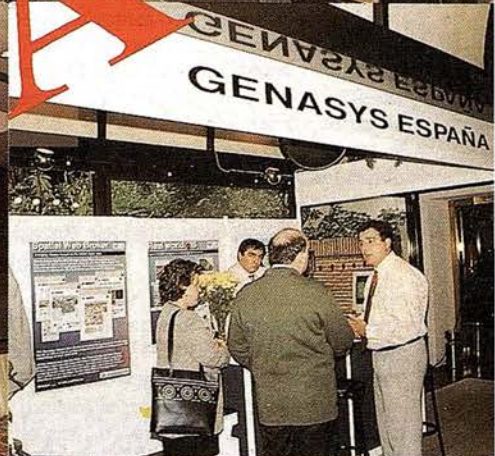
Se presenta un algoritmo basado en el operador multiescala de Canny aplicado a imágenes color representadas en un espacio (H,S,I). Como pueden observarse en la figura 1 las aristas detectadas por nuestro algoritmo son más precisas en el caso de la imagen del escorpión o detecta fronteras que pasan desapercibidas para Canny en el caso de la imagen sintetizada de la casa.

Dos problemas aparecen no resueltos por el algoritmo: la presencia de sombras y de regiones sobre-iluminadas sobre la superficie de los objetos. Debido a que la información del color se pierde en estas zonas, aparecen fronteras que las delimitan.

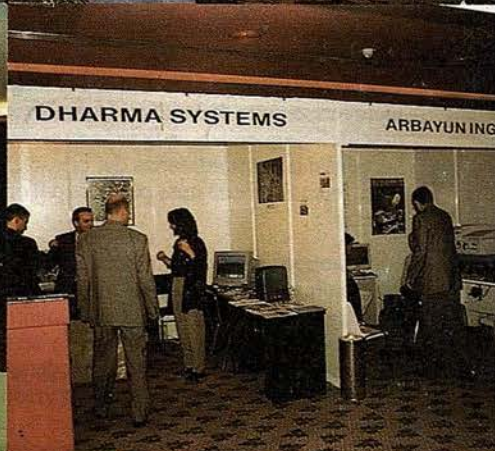
Como proyección futura del trabajo aquí presentado cabría avanzar sobre el proceso de histéresis, para intentar incluir la información de los atributos de color como elementos fortalecedores de las aristas consideradas en la segmentación de los objetos presentes en la imagen.

References

- [1] J. Besag, 1986, *On the statistical analysis of dirty pictures*, J. Roy. Statist. Soc. B, vol. 48, pp. 259-302.
- [2] J. Canny, 1986, *A computational approach to edge detection*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 8, pp. 679-698.
- [3] D. Geman and S. Geman, 1984, *Stochastic relaxation. Gibbs distribution and the Bayesian restoration of images*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 6, pp. 721-741.
- [4] D. Geman, S. Geman, C. Graffigne and P. Dong, 1990, *Boundary detection by constrained optimization*, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. 12, pp. 609-628.
- [5] G. Healey, 1992, *Segmenting images using normalized color*, IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., vol. 22, pp. 64-73.
- [6] G. B. Klinker, S. A. Shafer and T. Kanade, 1990, *A physical approach to color image understanding*, Int. J. Comput. Vision, vol. 4, pp. 7-38.
- [7] R. Muzzolini, Y. H. Yang and R. Pierson, 1993, *Multiresolution texture segmentation with application to diagnostic ultrasound images*, IEEE Trans. Med. Imaging, vol. 12, n° 1, pp. 108-123.
- [8] R. Ohlander, K. Price and D. R. Reddy, 1978, *Picture segmentation using a recursive region splitting method*, Comput. Graphics and Image Processing, vol. 8, pp. 313-333.
- [9] R. Schettini, 1993, *A segmentation algorithm for color images*, Pattern Recognition Letters, vol. 14, pp. 499-506.
- [10] A. P. Witkin, 1984, *Scale space filtering: A new approach to multi-scale description*, Image understanding. S. Ullman and W. Richards, Eds. NJ: Ablex Publishing, pp. 79-95.



Los pasados días 3, 4 y 5 de junio, tuvo lugar en Madrid en el Hotel Meliá Castilla, la IIIª Edición de EXPOGEO-MÁTICA, que como en años anteriores contó con una gran afluencia de visitantes y de firmas expositoras del sector.



PIROMACOS: Sistema para el Control de Incendios Forestales

J. Eugenio Martínez Falero.

Director del Departamento de Economía y Gestión de las Explotaciones e Industrias Forestales. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

Concepción González García.

Profesora Titular de Estadística e Investigación Operativa. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

J. Manuel Pérez González.

Profesor Titular de Matemática Aplicada. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

Susana Martín Fernández.

Profesora Asociada de Estadística e Investigación Operativa. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

J. Ramón Peribáñez Recio.

Ingeniero de Montes.

PIROMACOS es una herramienta informática que permite planificar las tareas selvícolas y la asignación de recursos de extinción, simular el comportamiento del incendio y definir el mejor tipo de combate, tanto en situaciones aparentes, como en combate en tiempo real. Sus características facilitan, por tanto, un enfoque sistémico en la resolución de los incendios forestales.

Como aplicación informática, PIROMACOS, funciona con información tabular e información espacial referenciada en bases de datos geográficos (modelos digitales del terreno, vegetación y usos del suelo, carreteras, depósitos de agua, etc.) y permite optimizar el combate del incendio forestal y mantener el control de los medios de extinción. Para alcanzar este objetivo, PIROMACOS integra en tiempo real, los datos del avance del fuego con el posicionamiento y actuación de los recursos de extinción. Adicionalmente, puede reflejar las consecuencias de cualquier alternativa de combate definida por el usuario.

La optimización del combate se realiza mediante la aplicación de métodos bayesianos de optimización global, que definen la mejor solución promedio a partir de la expansión más probable del incendio. Esta solución se mejora al aplicar algoritmos de cálculo rápido que permiten una inmediata actualización de la solución prevista ante los cambios en el perfil del incendio y en el rendimiento de los recursos de extinción. Toda alternativa de combate se acompaña de un plan de evacuación que asegura la integridad física de los recursos de extinción mediante la aplicación de estrategias *mínimax*.

La aplicación incorpora la mejora del sistema de comunicaciones existente mediante la definición de un protocolo de comunicaciones y la inclusión del hardware de integración requerido. Las mejoras aportadas por PIROMACOS se concretan en permitir el conocimiento, en tiempo real, de la situación de cada uno de los recursos de extinción (brigadas, maquinaria, etc.) y en la automatización del envío y recepción de mensajes hacia y desde los recursos de extinción.

La situación de cada recurso se muestra, en forma de símbolos, sobre el mapa y fotografías estereoscópicas de la zona en las pantallas del centro de control, simultáneamente con los valores de los parámetros descriptores de la situación meteorológica y los mapas de expansión del incendio.

2. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

PIROMACOS plantea el combate de los incendios forestales como el problema de encontrar la mejor forma de actuar sobre los recursos disponibles, para que las consecuencias económicas, ambientales y sociales de los incendios sean mínimas. En este apartado, se describen los algoritmos utilizados para minimizar las consecuencias de los incendios, así como el *soporte tecnológico* sobre el que se han implementado los mencionados algoritmos.

1 INTRODUCCIÓN

No parece necesario justificar la importancia que tienen las consecuencias de los incendios forestales en la Europa Mediterránea. Datos oficiales cuantifican las pérdidas directas en más de 100000 ptas./Ha. y, simplificaciones, como la utilización del embalse-equivalente, incrementan la cantidad anterior en más de un 250% si se incluye una parte de las pérdidas ambientales. Por poner un ejemplo, la superficie quemada en España en el trienio 1991-93 (no se incluyen las pérdidas extraordinarias del bienio 1994-95) superó las 418.566 Has., lo cual supone unas pérdidas del orden de 141.309 millones de pesetas¹.

Tampoco es necesario poner de manifiesto el incremento realizado en inversiones relativas a recursos de extinción que, desgraciadamente, han crecido acompasadamente a las pérdidas ocasionadas por los incendios forestales. Una de las razones fundamentales para no haber podido modificar la tendencia al alza de los incendios forestales, consiste en haber abandonado el enfoque sistémico en la lucha contra el fuego. Esta carencia ha supuesto, en algunos casos, despreciar la importancia de las actuaciones selvícolas y, en muchos otros, no considerar las interrelaciones existentes entre los distintos factores que afectan al comportamiento del fuego. Es evidente que el comportamiento de los incendios forestales obedece a las interrelaciones que se producen entre los factores del medio físico que soportan el incendio y los factores que caracterizan los recursos de extinción: una cierta práctica selvícola, que con una estrategia de combate supone un cierto comportamiento del fuego, puede definir un comportamiento completamente diferente al aplicar otra estrategia de combate.

1 Datos del ANUARIO DE ESTADÍSTICA AGRARIA, MAPA, 1993.

La primera dificultad del planteamiento anterior es su naturaleza multiobjetivo: el mejor combate debe minimizar, conjuntamente, las repercusiones del incendio sobre distintos factores económicos, ambientales y sociales. La existencia de múltiples objetivos (factores), ralentiza el proceso de optimización y dificulta la obtención de soluciones en tiempo real. Para acelerar la optimización, se ha acudido a **modelos de integración de la información**. Estos modelos permiten asignar a cada punto del territorio un único valor integrado, que representa el "mérito global" del punto analizado para no ser afectado por el incendio. De esta forma se consideran múltiples objetivos, pero la optimización progresa sobre un valor único: la suma de los "valores integrados" en los puntos de la superficie afectada por el incendio (evidentemente, cada alternativa de combate define una única superficie quemada). Los algoritmos requeridos para formular e implementar los mencionados modelos, caracterizan el primer tipo de algoritmos a aplicar.

Como se ha justificado anteriormente, la función a optimizar para minimizar el combate representa el valor global de la superficie afectada por el incendio. Por tanto, es necesario implementar **algoritmos que permitan simular el comportamiento del incendio** para predecir su evolución espacial y temporal y, de esta forma, determinar la superficie quemada. Estos algoritmos constituyen el segundo grupo de algoritmos a describir. Su aplicación, se basa en el análisis sistémico de los dos tipos de factores que definen el comportamiento del incendio: aquellos que describen el soporte físico sobre el que se propaga (topografía, clima y usos de suelo) y los que caracterizan a los recursos utilizados en su extinción (estrategias de combate, localización, abundancia, cualificación y posición de los recursos al iniciar el combate). En general, suponen la aplicación de modelos de difusión, que permiten predecir la evolución del incendio a partir del conocimiento, tanto de las leyes físicas que caracterizan su comportamiento, como de los rendimientos elementales y tipo de actuación de los recursos de extinción.

Finalmente, sobre los modelos antes definidos, se aplican los **algoritmos de optimización del combate**. Sin embargo, la aplicación directa de algunos de los procedimientos de optimización puede acarrear riesgos tecnológicos. Fundamentalmente, dichos riesgos se derivan de que la predicción del comportamiento del incendio se obtiene mediante una simulación de las condiciones naturales, que pueden cambiar durante el proceso de combate. Por otra parte, los rendimientos medios de los recursos de extinción, no necesariamente coinciden con los rendimientos reales de los recursos utilizados. Desde un punto de vista algorítmico, estos problemas se consideran en la optimización del combate al adoptar procedimientos adaptativos. No obstante, es necesario definir y programar algoritmos de evacuación, para el caso de que los recursos de combate, o cualquier otra persona, se vean rodeados por el incendio.

2.1. Modelos de integración de las consecuencias económicas, ecológicas y sociales del incendio en cada punto del territorio

La consideración de un único objetivo a optimizar (por ejemplo las pérdidas económicas ocasionadas por el incendio) supone, en muchos casos, un alejamiento de la solución óptima. Con objeto de compaginar la necesidad de una optimización multiobjetivo con la rapidez en el cálculo de esta solución se ha acudido a técnicas de toma de decisiones multicriterio, análogas a las utilizadas en los estudios del medio físico. La aplicación de estas técnicas, concretamente de los métodos de escalarización, facilita la construcción de un mapa de costes integrados (económicos, ecológicos y sociales), que reflejan, en cada punto del territorio, el coste que se produciría en el caso de que se quemase ese punto.

La construcción del valor integrado comienza con una estructuración jerárquica de los objetivos a considerar, como la que aparece en la Figura 1. Cada paso de la estructuración anterior, supone una unidad de decisión y, cada unidad de decisión, transforma, para cada punto del territorio, un vector de múltiples componentes en un único número. Por ejemplo, el cálculo del mapa del impacto ambiental requiere la transformación de distintas vulnerabilidades y fragilidades del territorio (riesgo de erosión, de contaminación de acuíferos, fragilidad de la vegetación, etc.) en un único número, que ha de reflejar el impacto ecológico que se produciría en el caso de que se quemara el punto analizado. La integración se realiza aplicando diferentes modelos de escalarización (Martínez Falero et al, 1995), cuya selección depende de la relación entre los objetivos a integrar y del sistema de preferencias existentes.

Cuando el resultado del proceso de escalarización es medible (por ejemplo, el cálculo de erosión a partir de precipitación, suelo, cubierta vegetal, pendiente y prácticas de cultivo) entonces los modelos de escalarización aplicables son los **modelos analíticos convencionales** (regresión, modelo logístico, kriging, filtros espectrales, etc). Estos modelos asignan un único valor a cada punto, a partir de múltiples valores asignados al punto, o a un sistema de puntos vecinos. Si el resultado de la integración no es medible (impacto ecológico o valor global integrado de conservación) solo es posible progresar en la integración a partir de la existencia de un decisor, o un experto, con un sistema de preferencias, que el valor integrado debe respetar. En este caso, si el sistema de preferencias es completo (se puede establecer con certeza la preferencia entre todo par de puntos del territorio), entonces es posible definir un conjunto contable de clases de indiferencia y, por tanto, construir una **función de valor** que respete el sistema de preferencias definido. Un sistema de preferencias no completo, pero que permita definir un riesgo en la preferencia de conservar un punto del territorio sobre cualquier otro, admite la aplicación de **técnicas blandas** de integración. Finalmente, un sistema de preferencias que no sea completo, ni admita la determinación del riesgo en el sistema de preferencias, requiere acudir a **métodos directos** de integración. En general, la elección del método específico de escalarización responde al siguiente esquema.

¿Son medibles los resultados de la integración de la información?	Si/No
Si -->	Aplicar técnicas analíticas convencionales.
No -->	Ir al siguiente paso.
¿Son los objetivos a integrar Mutua y Preferencialmente Independientes?	Si/No
Si -->	Construir una función de valor aditiva.

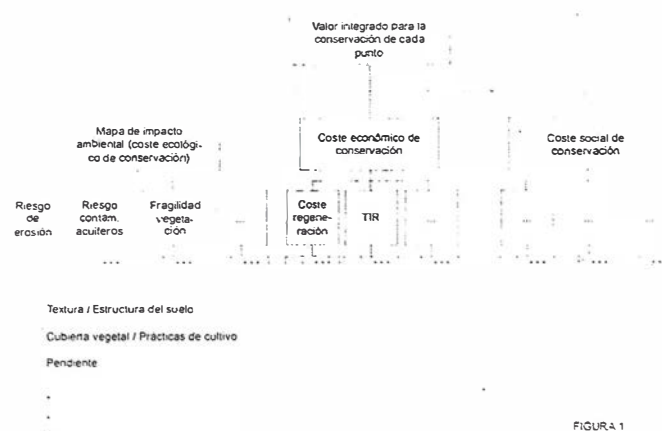


FIGURA 1

No --> Ir al siguiente paso.

¿Son los objetivos a integrar Debilmente Independientes en las diferencias? Si/No

Si --> Construir una función de valor multiplicativa.

No --> Ir al siguiente paso.

¿Es el número de objetivos a integrar mayor o igual a cuatro y sus rangos de valores, en la zona de estudio, son susceptibles de transformación a una distribución uniforme? Si/No

Si --> Asignar, como valor integrado, la superficie de puntos superclasificados por cada uno de los puntos analizados, al aplicar el método ELECTRE para comparar cada punto, con el resto de puntos de la zona de estudio.

No --> Ir al siguiente paso.

Aplicar métodos directos de integración de la información:

- Si el número de objetivos es igual a dos: aplicar el método de las tasas sucedáneas de intercambio.
- Si es superior a dos: aplicar descomposiciones matriciales.

2.2. Modelos para simular el comportamiento del fuego

Bajo este título se engloban los algoritmos utilizados para determinar los desplazamientos espaciales y temporales (del incendio y de los recursos de extinción), a partir de leyes que definen sus desplazamientos elementales. Conceptualmente, ambos problemas son idénticos, ya que la expansión del incendio se obtiene por la propagación del mismo desde cada una de las posibles superficies elementales, a las superficies elementales vecinas alcanzadas en un menor tiempo. Cualquier modificación de la ley de propagación, como la que ocurre por el hecho de haber transcurrido un cierto tiempo desde el inicio del incendio, se puede incorporar a las leyes que definen los desplazamientos elementales. Incluso, si se considera la existencia de fuego de copas, con una ley de propagación aleatoria, la expansión del incendio se realiza hacia las superficies elementales vecinas con mayor probabilidad de propagación. En este caso, sería necesario incorporar como superficies vecinas, a aquellas que, aunque no fueran conexas a las analizadas, tuvieran una cierta probabilidad de propagación.

Desde un punto de vista operativo, estos problemas se resuelven a partir de la construcción de un "grafo asociado" al mapa de velocidades relativas del incendio, o de los recursos de extinción, en cada pixel del territorio (superficies elementales). Los nudos de este grafo son los centros de cada pixel y sus vértices son los ejes que unen cada par de nudos vecinos. La longitud de estos vértices no es la mera distancia geográfica entre cada par de nudos vecinos, se calcula como suma de los productos de la longitud recorrida en cada pixel por la velocidad relativa en ese pixel.

Sobre el grafo asociado, se aplican algoritmos para cálculo del "árbol mínimamente expandido" a partir del foco del incendio, o de la posición inicial de los recursos de extinción (Martínez Falero, 1984; Newkirk, 1979). Estos algoritmos permiten determinar el

mínimo tiempo de llegada desde el vértice asociado con el foco del incendio, o con la posición inicial de los recursos de extinción, a cualquier otro vértice del grafo de partida. El tiempo de CPU requerido para el cálculo del árbol mínimamente expandido es proporcional a una potencia del número de vértices analizados. Con objeto de acelerar el tiempo de respuesta, PIROMACOS incorpora algoritmos basados en las técnicas de elementos finitos, que permiten procesar independientemente subconjuntos de vértices conexos y reprocesar automáticamente el árbol obtenido en los subconjuntos cuyas fronteras muestren discrepancias respecto al tiempo de llegada.

Dada la relación entre vértices y píxeles del territorio, el árbol obtenido se puede representar por un mapa temático, que muestre el tiempo de llegada del fenómeno estudiado a todo pixel del territorio. El cálculo de la ruta óptima que une el pixel origen del recurso analizado, con cualquier otro punto del territorio (ruta crítica), se obtiene como la línea de máxima pendiente, sobre el mapa de tiempos de llegada, entre el punto destino del recurso y su origen.

2.2.1. Modelos de comportamiento del incendio

Como modelo adoptado para el cálculo de la expansión del fuego se ha adoptado el programa CARDIN² (Caballero et al, 1994), con modificaciones estructurales que aceleran la presentación de resultados. Concretamente, se utilizan técnicas basadas en elementos finitos, en lugar de los modelos de difusión que utiliza CARDIN en su versión original.

i) Justificación de la utilización de CARDIN

La justificación de la elección de este algoritmo se debe a que CARDIN implica la aplicación unitaria de BEHAVE a cada uno de los píxeles del territorio (PIROMACOS permite la aplicación a píxeles de hasta 15 x 15 m², lo que justifica su utilización en usos de suelo europeos). Por otra parte, el programa BEHAVE es el más utilizado para predecir la expansión del incendio y sus modelos de combustible se han adaptado a todo tipo de condiciones ambientales locales (Hernando y Elvira, 1989; Valette et al, 1979; Wilgen 1984, etc). Finalmente, los problemas analíticos que conlleva la aplicación de CARDIN han sido formalmente resueltos, y aunque los primeros resultados estadísticos de la aplicación de BEHAVE (en unidades homogéneas de pequeño tamaño) indiquen que no pueden ser directamente aplicados, la discrepancia entre el modelo y la realidad mantiene una determinada proporcionalidad (Dupuy, 1991 y 1992). En cualquier caso, la instrumentalización de los algoritmos de expansión utilizados, permite la introducción de nuevos desarrollos conceptuales referentes a la expansión del incendio (Catchpole, 1985, Catchpole et al, 1989, Richards, 1995, etc.).

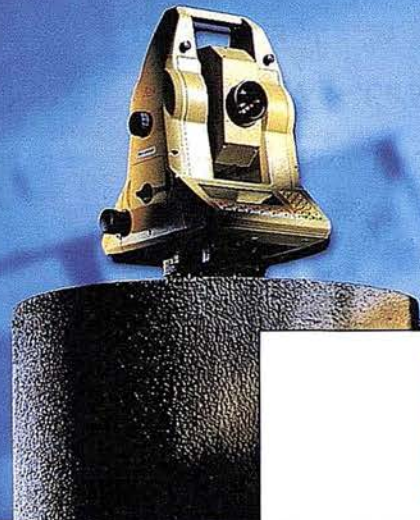
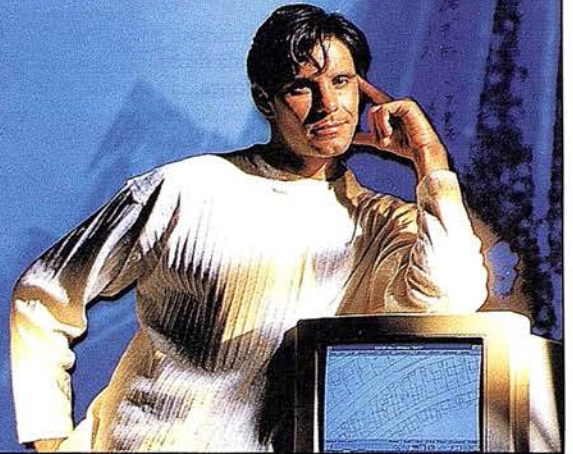
La validación de CARDIN por su aplicación a un incendio real (Alcaide y Martínez Millán, 1994) presenta resultados satisfactorios en predicciones a corto plazo. Sin embargo, PIROMACOS puede trabajar con menores exactitudes a las mostradas en esta verificación, solamente requiere la utilización de resultados proporcionales a la realidad, y siempre en cortos períodos de tiempo. Esto es debido a que tras incorporar una nueva posición del incendio y de los recursos de extinción, observadas en tiempo real, la optimización del combate se adapta a la nueva información..

ii) Modelización de la expansión

Las simplificaciones estructurales realizadas en CARDIN se justifican, a continuación, desde un punto de vista algorítmico. La necesidad de obtener soluciones en tiempo real impone una simplificación en los modelos de expansión del incendio consistente en la

2 Desarrollado por ICONA y la ETSI de Montes de la UPM, entre 1989 y 1992.

TPS-System 1000 – medición completa



¿Desea un sistema de medición por teodolito que cumpla sus altas exigencias en cuanto a precisión, fiabilidad y manejabilidad?

– **Por supuesto** –

¿Quiere un sistema que pueda ampliarse en el futuro? – **Claro** –

¿Debe ser motorizado el teodolito?

– **Eso estaría bien** –

¿Y desea en el futuro emplear sus datos GPS directamente en su teodolito? – **Seguro!**

TPS-System 1000 - la solución de medición completa para las tareas de hoy y de mañana. Consúltenos.



BARCELONA

Freixa, 45
Teléf. (93) 414 08 18
Fax (93) 414 12 38

MADRID

Basauri, 17 Edif. Valrealty
Teléf. (91) 372 88 75
Fax (91) 372 89 06

SEVILLA

Virgen de Montserrat, 12
bjs. dcha. C
Teléf. (95) 428 43 53
Fax (95) 428 01 06

BILBAO

Teléf. /Fax (94) 427 65 85

Leica

formulación de modelos primarios. Así, se acopla una ecuación general del calor, con un sistema de ecuaciones, uno para cada pixel del territorio. En estas condiciones, la ecuación más simplificada del calor, que recoge los fenómenos de transmisión, convección y radiación (ecuación no lineal), es del tipo:

$$s(u, \bar{x}, t) \frac{\partial u(\bar{x}, t)}{\partial t} + v(\bar{x}, t) \nabla u(\bar{x}, t) - \nabla k(u, \bar{x}, t) \nabla u(\bar{x}, t) + q(u, \bar{x}, t) u^a(\bar{x}, t) = f(u, \bar{x}, t)$$

Expresión que, conocidas unas condiciones iniciales y de contorno, se puede resolver numéricamente por técnicas de elementos o volúmenes finitos (Oñate y Zienkiewicz, 1991 y Conde y Pérez, 1995). Mediante una discretización espacial y la aplicación de las fórmulas de Green, da lugar a la ecuación tipo, asociada a cada elemento o volumen de control j , siendo i el índice del nodo o punto de cálculo de la solución aproximada:

$$M_{ji} \cdot \bar{u}_i + C_{ji} \cdot \bar{u}_i + K_{ji} \cdot \bar{u}_i + P_{ji} \cdot \bar{u}_i + F_j = 0$$

con:

$$\begin{aligned} M_{ji} &= \int_{\Omega_j} W_j \cdot A_{ji} \cdot N_i \cdot d\Omega \\ C_{ji} &= - \int_{\Omega_j} [\nabla W_j]^t \cdot v_{ji} \cdot N_i \cdot d\Omega + \oint_{\Gamma_j} W_j \cdot v_{ji} \cdot N_i \cdot n_{ji} \cdot d\Gamma \\ K_{ji} &= \int_{\Omega_j} [\nabla W_j]^t \cdot k_{ji} \cdot \nabla N_i \cdot d\Omega - \oint_{\Gamma_j} W_j \cdot \frac{\partial N_i}{\partial n} \cdot k_{ji} \cdot d\Gamma \\ P_{ji} &= \int_{\Omega_j} W_j \cdot Q_{ji} \cdot u^a \cdot d\Omega \\ F_j &= \int_{\Omega_j} W_j \cdot f_j \cdot d\Omega \end{aligned}$$

y un θ -esquema de discretización temporal, combinado con técnicas de integración tipo punto medio, Simpson, trapecio, etc., permite reducir su expresión a la única ecuación matricial:

$$K \cdot \bar{U} = \bar{F}$$

Además, debería acoplarse con N sistemas, uno para cada elemento o volumen de la discretización, representativos del proceso de combustión de la materia almacenada, donde se recogerían también los procesos de evaporación. La entrada en funcionamiento efectivo, para cada uno de los subsistemas, estaría ligada al umbral de temperatura que depende de las condiciones locales. El resultado esperado de este tipo de explotación es el conocimiento del "status" de cada nodo a lo largo del tiempo (temperatura, humedad, cantidad de combustible quemado y no quemado, etc)

iii) Descripción del modelo utilizado

BEHAVE clasifica el territorio en trece usos de suelo caracterizados, a su vez, por parámetros tales como:

- Cantidad de combustible por unidad de superficie en: materia viva y materia que intercambia su contenido de humedad en 1 hora; en 10 horas y en 100 horas.
- Ratio superficie/volumen, o superficie específica, como medida de reactividad del combustible.
- Profundidad del lecho de combustible.
- Densidad de las partículas de combustible.
- Capacidad calorífica del combustible.
- Humedad de extinción.

A partir de esta caracterización, se definen parámetros de cálculo tales como:

- ρ_j : la intensidad de combustión, cantidad de energía liberada en el frente de fuego por unidad de superficie y de tiempo ($Q/L^2 T$).
- x_{jk} : coeficiente adimensional, que representa la relación entre la energía que se transmite a la parcela colindante en la dirección k en relación a la energía liberada.
- k_j : la energía de ignición, cantidad de energía requerida para la puesta en ignición de la materia combustible por unidad de volumen (Q/L^3).

Conceptualmente, el coeficiente $\rho_j \cdot \xi_j / \kappa_j$, (L/T), es una medida de la transmisividad del fuego (mayor o menor facilidad de avance). No se trata de una verdadera velocidad, sino de una magnitud proporcional a esta, cuya constante de proporcionalidad, c , debe determinarse mediante el calibrado del modelo. El modelo se completa con unos correctores direccionales para tener en cuenta la topografía, $\sigma_{s_{jk}}$, y el viento efectivo, $\sigma_{w_{jk}}$, de forma que $\rho_j \cdot \xi_j \cdot (1 + \sigma_{s_{jk}} + \sigma_{w_{jk}}) / \kappa_j$, (L/T), es una medida de la transmisividad direccional del fuego.

Por tanto, la ecuación base del modelo de expansión del fuego, en la dirección k , a partir del nodo j , se puede expresar como:

$$\left(\frac{dx}{dt} \right)_{jk} = \frac{\rho_j \cdot \xi_j}{\kappa_j} (1 + \sigma_{s_{jk}} + \sigma_{w_{jk}})$$

y como algoritmo básico se puede adoptar:

$$(\Delta x)_{jk} = \frac{\rho_j \cdot \xi_j}{\kappa_j} (1 + \sigma_{s_{jk}} + \sigma_{w_{jk}}) \cdot \Delta t$$

Cuando el algoritmo básico se aplica a más de un foco, o a un frente de puntos, el frente final vendrá dado por la envolvente de los frentes aportados por la aplicación del algoritmo a cada uno de los puntos previos. PIROMACOS utiliza multiproceso, trabajando en paralelo sobre franjas de anchura variable (en función del número de direcciones vecinas adoptadas - k -) y con realimentación para corregir eventuales desajustes en las fronteras.

2.2.2. Cálculo de la superficie quemada para cualquier asignación inicial de recursos de extinción

Los algoritmos de simulación permiten predecir la superficie afectada por un incendio a partir de: la localización espacial en que cada retén inicia el combate, el conocimiento de los rendimientos medios de los distintos recursos de extinción y el mapa de expansión del fuego. Basta determinar, en primer lugar, la ruta crítica entre la base de operaciones de todo recurso y el punto que se le ha asignado como inicio de combate y, a continuación, obtener las trayectorias de extinción que unen cada par de asignaciones iniciales vecinas. Este último objetivo requiere de otras dos etapas: ordenar las localizaciones iniciales asignadas a los recursos de extinción y calcular, posteriormente, las trayectorias de extinción entre ellas.

Las trayectorias que siguen los recursos de extinción, al combatir el incendio, dependen del tipo de combate que se realice en el punto asignado a cada recurso como comienzo del combate. En general, se pueden distinguir dos tipos de combate: ataque directo (los recursos de extinción se sitúan en el perímetro del incendio y lo combaten directamente; normalmente, este tipo de combate no se puede efectuar en el frente de máximo avance del fuego) y ataque indirecto (los recursos de extinción construyen un cortafuegos, en lugar especificado, que el incendio no puede atravesar). La selección del tipo de combate se realiza automáticamente, en función de las velocidades

relativas de expansión del incendio y los recursos de extinción y de la intensidad de la radiación emitida en ese punto.

Cuando un punto de inicio de combate admite ataque directo, solo existe una trayectoria posible de extinción: los retenes combaten siguiendo el perímetro del avance del fuego (ver Figura 3). Incluso la utilización de recursos con depósitos de agua, que exige su recarga periódica, es unívoca una vez definido el punto de inicio de combate. En este caso, una vez vaciados los depósitos de agua, los recursos de extinción se desplazan por caminos críticos al punto de agua más próximo. Una vez recargado el depósito retornan al combate, también sobre rutas críticas: bien al punto donde habían abandonado el combate, o bien al punto más próximo a este que la propagación del fuego les permita alcanzar. Los cambios de asignación, una vez realizada la recarga de agua, se contemplan en sucesivas adaptaciones de los algoritmos de optimización.

Cuando se realiza el ataque indirecto, la localización del cortafuegos no es única, depende de la localización de los recursos situados en su proximidad con los que debe enlazarse. Su construcción se realiza a partir de un mapa que muestra el tiempo de construcción del cortafuegos, desde el punto de inicio de ataque a cualquier otro punto del territorio y siempre que este tiempo sea menor que el de llegada del fuego (ver Figura 4). Este mapa se construye aplicando los algoritmos descritos en esta sección. El punto de contacto con retenes que parten de puntos vecinos se realiza superponiendo el mapa de tiempos con la trayectoria de los otros retenes (caso de ataque directo en los vecinos) o con el mapa de tiempos vecinos (caso de ataque indirecto de los vecinos). La trayectoria que define la localización del cortafuego será la curva de máxima pendiente (sobre el mapa de tiempos de construcción de cortafuegos), entre el punto de intersección y el punto de comienzo del ataque indirecto.

2.2.3. Algoritmos de evacuación

Conceptualmente, los algoritmos de evacuación forman parte de los algoritmos de optimización. Sin embargo, los modelos utilizados para formular los planes de evacuación se basan en modelos de difusión, como los utilizados para el cálculo de rutas críticas. Por este motivo, se describen en este apartado.

Como se mencionó anteriormente, la rapidez de cálculo del algoritmo de optimización debe permitir una puntual adaptación del combate, tanto a las condiciones reales de expansión del incendio, como a los rendimientos de los recursos de combate. Sin embargo, no se puede aceptar que la solución prevista coincida con la real en instantes temporalmente alejados de la actualización. Con objeto de disminuir los riesgos tecnológicos que conlleva este enfoque es necesario incluir un plan de evacuaciones. Dicho plan debe asegurar la integridad física de los recursos de combate, o de cualquier otro grupo de personas potencialmente afectado.

La filosofía para el diseño de este plan es necesariamente distinta a la aplicada para minimizar el coste de lo quemado. Desde el punto de vista de la seguridad no son aplicables métodos bayesianos, que proporcionan la mejor solución promedio, sino métodos mínimax que ponen a resguardo de la peor de las soluciones posibles. En este sentido, se ha definido un plan de evacuación, basado en los algoritmos rápidos del camino crítico descritos en esta sección, que establecen la trayectoria de evacuación de los recursos de combate, caso de que se vieran rodeados por la expansión del incendio.

2.3. ALGORITMOS PARA OPTIMIZAR EL COMBATE

La optimización del combate supone definir la mejor localización y actuación de los recursos de extinción durante todo el combate. La optimización se basa en previsiones sobre el comportamiento

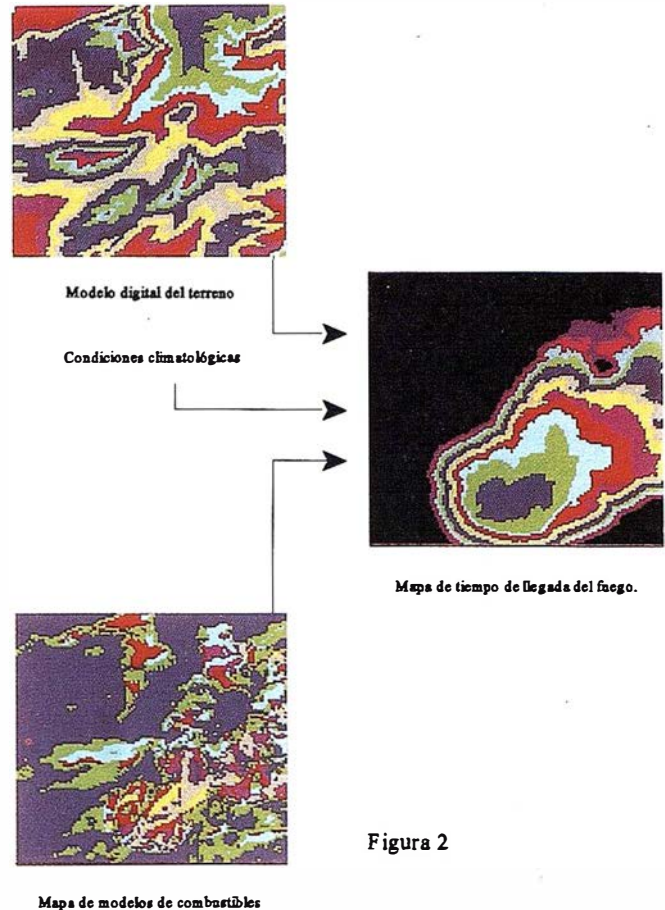


Figura 2

futuro del incendio y sobre los rendimientos de los recursos de extinción, que no tienen por qué coincidir completamente con los comportamientos reales. Por este motivo, es necesario acudir a modelos adaptativos que reactualicen la previsión inicial de combate en función de datos observados en la realidad. Una formulación general de los modelos adaptativos podría ser la siguiente:

$$\theta_n = \theta_{n-1} + \gamma_n H(\theta_{n-1}, X_n) + \gamma_n^2 \epsilon_n(\theta_{n-1}, X_n)$$

donde la operación (+) identifica a cualquier operación invertible y:

$(\theta_n)_{n \geq 0}$ es una secuencia de vectores cuyos valores se reactualizan recursivamente y, en este caso, representan las posiciones de los distintos recursos de combate en el período n .

$(X_n)_{n \geq 1}$ es una secuencia de vectores aleatorios que representan las observaciones en tiempo real del sistema en forma de vector de estados (posición observada del fuego y de los recursos de combate en el instante inicial del período n).

$(\gamma_n)_{n \geq 1}$ es una secuencia de "pequeñas" ganancias escalares.

$H(\theta, X)$ es la función que define cómo se reactualizan los parámetros θ a partir de las nuevas observaciones X , y

$\epsilon_n(\theta, X)$ define las "pequeñas" perturbaciones del algoritmo.

Un somero análisis de esta formulación pone de manifiesto las dificultades inherentes para su aplicación al modelo considerado: por una parte, la dimensión de los vectores θ y X es muy grande (durante el período de actualización n , θ ha de reflejar la posición espacial de las M unidades de combate en todos los instantes del período n , y X , además de la posición observada de las M unidades, debe reflejar la

posición del incendio); por otra parte, no es posible encontrar una expresión analítica que se ajuste suficientemente bien al comportamiento de la función $H(\theta, X)$.

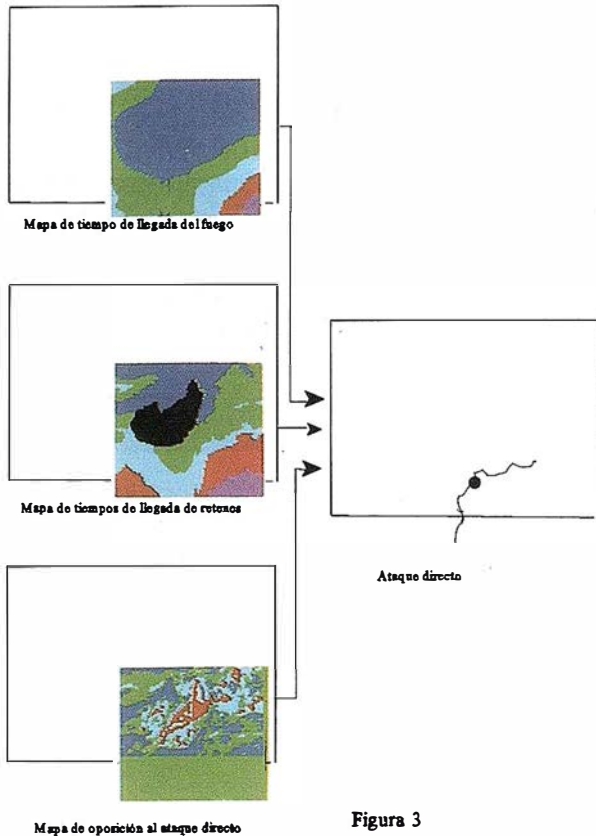


Figura 3

Es posible reducir la dimensión de θ cuando la duración del período de actualización sea suficientemente pequeña y, previsible, no se esperen modificaciones substanciales entre las predicciones y los datos reales. En este caso θ se puede reducir a la posición de los recursos al iniciar el combate en el período n , pues el conocimiento de los rendimientos medios de cada unidad de combate en su tarea asignada, proporciona información suficiente para predecir la secuencia de combate. En cualquier caso, si existieran diferencias significativas, se reactualizaría la posición de los recursos de extinción en el siguiente período de la adaptación. Sin embargo, la dificultad de no encontrar una expresión analítica para la función $H(\theta, X)$ y la gran dimensión de la variable X , aconsejan la búsqueda de procedimientos directos de optimización de una función, que represente la superficie afectada, o el valor de la misma, a partir de variables que identifiquen la secuencia de operaciones en el combate. Esta función la representaremos por $f(x)$, donde la variable de decisión (x) identifica las coordenadas topográficas de cada uno de los M recursos disponibles en el momento en que cada unidad de actuación inicia el combate del incendio. Al finalizar cada período, se contrastan los datos obtenidos con los reales y, caso de existir diferencias significativas, se procede a una nueva optimización.

2.3.1. Elección de los algoritmos de combate

Como alternativas de optimización, se han analizado distintos procedimientos (métodos bayesianos, *tabu search*, algoritmos genéticos, redes neuronales, sistemas expertos, multiplicadores generalizados, etc.) y se ha acudido a soluciones adaptativas bayesianas, acordes con la información disponible (datos promedios), que además aseguran alcanzar un óptimo de características conocidas. Para aumentar la velocidad de cálculo (se requiere conseguir una reali-

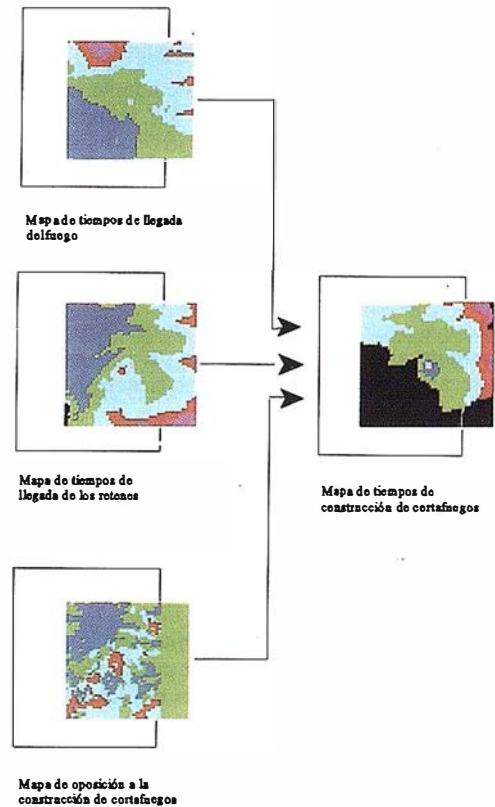


Figura 4

mentación del modelo en períodos de pocos minutos) se aceptan simplificaciones consistentes, como: la sustitución de la condición de consistencia de Kolmogorov, por las de continuidad de las funciones muestrales, homogeneidad de la función de partida e independencia en la derivadas parciales (simplificación de Mockus, 1989), y la implementación del Modelo Condicional Iterativo en lugar del *simulated annealing* original. (ver apartado 2.3.2)

Esta elección, también se justifica al analizar los procedimientos existentes. Una revisión bibliográfica pone de manifiesto la existencia de dos tipos de modelos: los basados en la optimización directa de funciones continuas, que se ajustan a la expansión del incendio y al trabajo de los recursos de extinción (Kurbatskii y Tsvetko, 1976; Martell, 1971; Gerasimov y Dorrer, 1988; etc.) y los basados en la aplicación de sistemas expertos (Wybo, 1992). Sin embargo, la naturaleza caótica del comportamiento del fuego y de los recursos de extinción impide la utilización de sistemas basados en la optimización directa de funciones continuas. Por otra parte, la aplicación de sistemas expertos proporciona resultados que no consideran la comparación de diferentes alternativas de combate, por tanto, no pueden asegurar la no existencia de alternativas de combate mejores a la propuesta. Por estos motivos, en la actualidad se aconseja la utilización de modelos de simulación (Gilles, 1991). Los procedimientos aplicados en PIROMACOS combinan la flexibilidad de la simulación con la rapidez de cálculo de la solución óptima.

2.3.2. Descripción de los algoritmos de optimización

Como se ha justificado anteriormente, se utilizan métodos bayesianos para optimizar $f(x, w)$, una función continua en x (coordenadas topográficas de los M recursos disponibles al iniciar el combate; $x \in A \subset \mathbb{R}^{2 \times M}$, \mathbb{R} conjunto de números reales) y medible en w ($w \in \Omega$, Ω conjunto de todas las funciones continuas), que representa el valor de la superficie quemada cuando se inicia el combate en x . Los procedimientos bayesianos, utilizan la información proporcionada por un conjunto de observaciones $(x_i, y_i) [i=1, \dots, n \wedge y_i = f(x_i)]$, para

¿Sabe usted que existe un GPS de Trimble
con precisión topográfica de 5 mm.
y al precio de una estación convencional?

¿Sabe que tiene un solo botón?

¿Sabe que es un aparato estanco, que integra
antena, receptor y batería, sin cables externos?



¿Quiere hacerse un favor?

Hágase con un Trimble 4600 LS



Isidoro Sánchez, S.A.

DISTRIBUIDOR GENERAL DE

 **Trimble**
P A R A E S P A Ñ A

definir una regla de decisión $(\delta(z) : \delta(z) = x_{n+1}, z = [(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)])$, que permita obtener una nueva realización muestral (x_{n+1}) más próxima al valor óptimo. La regla de decisión se construye de forma que se minimice el riesgo de la decisión, $R_0(\delta)$:

$$R_0(\delta) = \int_{w \in \Omega} f[x_{n+1}(\delta), w] P(dw) - \int_{w \in \Omega} \min_{x \in A} f[x, w] P(dw)$$

El segundo término de la expresión anterior es constante; por tanto, la minimización del riesgo supone minimizar el primer término, que representaremos por $k(x)$.

El modelo adaptativo de Mockus permite sustituir la condición de consistencia de Kolmogorov por las condiciones de continuidad de las funciones muestrales, homogeneidad de la distribución P y la independencia de las derivadas parciales. Bajo estas hipótesis, P sigue una distribución normal con media constante (μ) y matriz de covarianza (C) , que solo depende de la separación entre valores muestrales. En estas condiciones: $k(x) = \sigma^2 / (\mu - C)$ y la función a optimizar se puede sustituir por un conjunto de funciones con soporte en intervalos conexos de los valores muestrales: $f(x) = f_i(x) (\forall x \in A_i)$, siempre que:

$$\bigcup_{i=1}^n A_i = A \quad \wedge \quad A_i \cap A_j = \emptyset \quad (\forall i \neq j \wedge i = 1, \dots, n)$$

Si $f(x)$ es una función estocástica gaussiana, entonces μ_x^i será el valor observado $(\mu_x^i = y_i \in A_i)$ y la varianza será función (g) de la distancia entre cualquier x y la realización muestral observada en su intervalo. Por tanto $k_i(x) = \sigma_x^i / (\mu_x^i - C)$, donde $\sigma_x^i = \sigma_0^2 g(\|x - x_i\|)$ y $\mu_x^i = y_i$.

A partir de los resultados anteriores, se puede deducir:

$$x_{n+1} \in \arg \min_{x \in A} \min_{1 \leq i \leq n} \sigma_x^i / (\mu_x^i - C)$$

solamente restringido a las condiciones de continuidad de las funciones $R_i(x)$: $A_i = \{x : k_i(x) \leq k_j(x), \forall j\}$

La simplificación de Mockus, reduce la búsqueda de la siguiente solución (x_{n+1}) a la frontera de los intervalos conexos A_i . Por tanto, para alcanzar la mayor eficiencia es necesario reducir los datos multidimensionales (x =coordenadas de los M recursos de extinción a comienzo del combate) a una variable unidimensional, que pase a ser la nueva variable de decisión $(T(x) \in \mathbb{R}^1)$.

La Figura 5, muestra el mínimo de una función, obtenido por el procedimiento de Mockus, después de 9 iteraciones (Fig.5-a) y 18 iteraciones (Fig. 5-b). La expresión de la función es una combinación estocástica de diferentes funciones, que no se ha utilizado en el cálculo del valor mínimo.

Con objeto de utilizar una variable unidimensional, se ha adoptado una nueva variable de decisión, que representa la superficie quemada que se produciría ante un combate simplificado y rápido de calcular, basado en las siguientes suposiciones:

- Se reducen los posibles puntos de inicio de combate a un número finito de $N=200$ radios que parten del foco del incendio.
- En cada uno de los radios seleccionados, se simulan las actuaciones de cada uno de los recursos de combate sobre diferentes puntos del radio. Se supone que el combate se efectúa sobre el perímetro de una elipse equivalente a la superficie quemada cuando el fuego llega al punto analizado.
- El combate de un recurso (c) , que comienza en el radio R_a , a una distancia d del foco, se prolonga un número n de radios (en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido contrario) mientras que:

$$t_c(d, R_a) + \sum_{R=R_a+1}^{R_a+n} \frac{D_d(R, R-1)}{V_C(R, R-1)} \leq t_f(R_a+n)$$

donde: $t_c(d, R_a)$ es el tiempo de llegada del recurso considerado al punto considerado del radio analizado.

$D_d(R, R-1)$ es la distancia, sobre el perímetro de la elipse equivalente a una distancia d del foco, entre el radio R y el anterior.

$V_C(R, R-1)$ es la velocidad de combate, medida sobre el perímetro de la elipse equivalente a una distancia d del foco, del recurso c entre el radio R y el anterior, y

$t_f(R)$ es el tiempo que tarda en llegar el fuego al punto de la elipse definido por el radio R .

- Se supone que el combate realizado sobre el perímetro de la elipse impide que el incendio se propague en alcances de radios superiores al analizado.

La Figura 6 representa la SQS, correspondiente a una asignación de recursos previamente especificada, que se caracteriza por los valores numéricos de la esquina superior derecha de la figura: la primera columna de números identifica los recursos asignados al combate (se asignan 12 recursos de extinción, caracterizados, cada uno de ellos por un número); la segunda columna representa el radio en que cada uno de los recursos anteriores inicia el combate (para simplificar la presentación se han elegido 100 radios, en lugar de 200, con valores crecientes en sentido contrario a las agujas del reloj y comenzando la numeración en el radio que enfoca al Este); la tercera columna muestra la distancia al foco en que cada recurso inicia el combate, para el radio definido en la columna anterior; la cuarta columna define el número de radios, sobre el perímetro de la elipse equivalente, en los que se prolonga el combate y, la quinta columna, identifica (1 ó 2) si el combate se realiza en sentido de las agujas del reloj, o en sentido contrario. La línea de trazo continuo muestra el perímetro del incendio, al cabo de 700 minutos, si no existiera intervención exterior y, los radios muestran la superficie quemada en caso de realizar el combate simplificado. El número inferior indica el porcentaje de superficie, que ha dejado de quemarse, por el hecho de efectuar el anterior combate simplificado.

El combate simplificado, permite la rápida obtención de la SQS correspondiente a una asignación de recursos (x) . Sin embargo, con la simplificación anterior no se dispone de una expresión analítica para la transformación $T(x)$ y, por tanto, no es posible obtener directamente la asignación inicial de recursos de extinción (x) que producen un valor de Superficie Quemada Simplificada (SQS) previamente especificado. Afortunadamente, la disminución del posible número de puntos de inicio de combate a los radios de las elipses equivalentes, permite enfocar esta cuestión como un problema de optimización combinatoria. Este problema consiste en encontrar una asignación de los M recursos disponibles a los radios de las elipses, de forma que la SQS obtenida con esa asignación sea lo más próxima posible a la especificada previamente.

Como método de optimización combinatoria, se ha elegido el Modelo Condicional Iterativo (Besag, 1986), una variante del *simulated annealing* (Geman y Geman, 1984, Cerny, 1982, Kirpatrick et al, 1982, etc) consistente en actualizar sincronizadamente los cambios de estado. Para la aplicación se ha adoptado la siguiente formulación de la función de energía:

$$U[X_j = s, \lambda(\xi_j) = x_{n-1}] = T_k - T[X_j = s, \lambda(\xi_j) = x_{n-1}]$$

donde: X_i es la variable aleatoria que representa la localización de recursos en el radio i . Esta variable tomará los siguientes valores:

- 0: ningún recurso en el radio i

- 1: recurso número 1, en el radio i , combatiendo en el sentido de las agujas del reloj.
- 2: recurso número 1, en el radio i , combatiendo en sentido contrario a las agujas del reloj.
- M+1: recursos 1 y 2, en el radio i , ambos combatiendo en el sentido de las agujas del reloj.
- M+2: id. pero el 1 combatiendo en sentido agujas del reloj y 2 en sentido contrario.
- M+3: id. pero el 1 combatiendo en sentido contrario a agujas reloj y 2 en sentido reloj.
- M+4: id. pero ambos combatiendo en sentido contrario a agujas del reloj.
- L: Todos los recursos en el punto i y combatiendo en sentido contrario a las agujas del reloj.

$\lambda(\xi_i)$ es la asignación de recursos en los restantes radios.

\bar{T}_k es la SQS previamente especificada, y

$\mathcal{T}[X_i=s, \lambda(\xi_i)=x_{n-1}]$ es la SQS correspondiente a una asignación inicial de recursos que sea s en el radio i y x_{n-1} en los restantes radios.

La Figura 7 representa la asignación de los mismos recursos utilizados en la Figura 6, para producir una SQS, lo más próxima posible a una superficie del 55% de lo que se incendiaría sin intervención externa.

2.3.3. Esquema del proceso de optimización

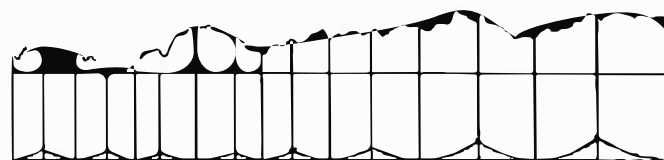
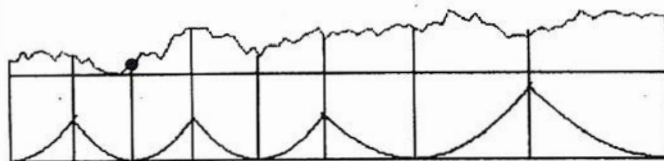
La Figura 8 muestra la secuencia lógica de la aplicación de los algoritmos de combate descritos en las secciones anteriores.

2.4. DESCRIPCIÓN DEL SOPORTE TECNOLÓGICO

2.4.1. Sistema de Información Geográfica

La funcionalidad que debe ofrecer el SIG para su aplicación en este proyecto, es algo especial, ya que además de la eficiencia en tiempo de cálculo, debe estar abierto para añadir funcionalidades no existentes en el producto original. Esta apertura implica la posibilidad real de acceder a las estructuras de datos, librerías y primitivas del sistema, lo que en la práctica significa disponer de las fuentes completas del mismo, ya que no se trata de una personalización o desarrollo por encima del SIG, sino de una integración importante de funciones dentro del propio SIG, como por ejemplo la actualización de posiciones, la generación de mapas temáticos en tiempo real y la visión estereoscópica.

Todo lo anterior hace de IberGIS (desarrollado por ICI, empresa que ha implementado los algoritmos de PIROMACOS), el mejor sistema para el desarrollo del proyecto. Se justifica esta elección en primer lugar por la necesidad de un sistema capaz de acceder y representar rápidamente cualquier información requerida. IberGIS dada su acertada distribución de las bases de datos numéricas (vectorial y raster) cumple esta premisa. En segundo lugar, está garantizado el acceso a todo el código fuente y estructuras de datos, junto con las personas que han desarrollado el mismo, lo que permite realizar todos los cambios y mejoras que sean necesarios sin restricciones. En tercer lugar, por la necesaria fiabilidad requerida para el desarrollo de un sistema de tanta importancia social y económica como el presentado. Una característica única de IberGIS es la utilización de fotografías aéreas en forma de pares estereoscópicos con visión en relieve simultánea con la cartografía digital. El uso de estas fotografías



hace disponer de información del terreno muy detallada e intuitiva, lo que es de gran importancia en el centro de control de una emergencia, y con un nivel de actualización superior a la cartografía temática normalmente disponible, a la cual sirve de complemento. En resumen, las características de IberGIS son:

- Orientado a objetos. Los elementos geográficos no están en capas, sino formando objetos.
- Mapa continuo. El territorio se modela como un todo continuo, sin separaciones por hojas u otros artificios.
- Tres dimensiones. Los objetos geográficos se guardan y manejan en tres dimensiones.
- Topología. Las relaciones topológicas entre objetos se gestionan en el propio sistema.
- Arquitectura cliente-servidor. Las aplicaciones constan de varios clientes que trabajan contra varios servidores. Las bases de datos son inherentemente distribuidas.
- Tipos de datos. Maneja de forma combinada datos vectoriales con y sin topología, datos raster, modelos digitales del terreno, ortofotos y pares estereoscópicos con visión en relieve.

2.4.2. Plataforma

El control del incendio se realiza sobre estaciones de trabajo Sun Sparc, cuya selección se ha debido a los siguientes criterios:

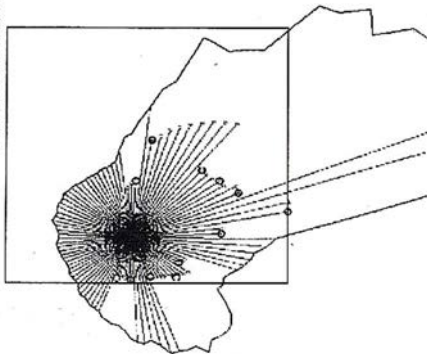
- Existe toda una gama de potencias de proceso (27-400 MIPS) con compatibilidad binaria total, lo que permite elegir la adecuada a cada instalación concreta. La estación elegida tiene unas prestaciones adecuadas y se encuentra en la mitad de la gama.
- Las Sun Sparc suponen el mayor parque instalado de estaciones de trabajo a nivel mundial, lo que es de importancia con respecto a la explotación del producto. Al ser Sun un fabricante exclusivamente de hardware que no tiene aplicaciones propias, suele ser un buen colaborador para la integración y transparencia con otras aplicaciones.
- Existen en el mercado otros fabricantes independientes que ofrecen estaciones 100% compatibles.
- Están disponibles para poderse incorporar a las estaciones seleccionadas subsistemas gráficos con capacidad de visión estereoscópica en relieve, tanto fabricados por Sun como por otros suministradores independientes. Esta funcionalidad se

ha estimado como una prestación muy importante para la integración en el sistema de fotografías aéreas en tres dimensiones.

- La misma versión del sistema operativo Unix (Solaris) está disponible para estas estaciones y también para PC, con lo que el mismo desarrollo se puede aplicar a ambas plataformas.

El *front-end* de comunicaciones está instalado sobre una estación de la misma familia, de menores prestaciones. Sin embargo, esta estación puede ser del mismo modelo que la principal para proporcionar redundancia y, en estaciones pequeñas, pueden estar combinadas todas las funciones en una única estación, debido al diseño modular multiproceso planeado.

3	7	58.5	1	1
12	3	58.8	1	1
7	18	46.5	1	2
16	75	19.5	5	2
13	88	26.5	3	2
14	24	27.5	2	1
8	92	23.5	2	1
5	1	38.5	1	1
43	22	47.5	8	2
6	78	19.5	5	1
19	13	44.8	2	2
75	82	19.5	16	1
33.71	x			



2.4.3. Comunicaciones

El modelo de combate requiere de una realimentación en tiempo real de datos sobre el incendio y la posición de los retenes con objeto de poder recalcular y corregir el combate. Básicamente el sistema de comunicaciones realiza dos funciones (ver Figura 9):

- **Interfase de enlace entre el sistema y los móviles:** Se encarga de suministrar al sistema de control la información que este le solicite. Asimismo, retransmite a los equipos móviles las órdenes o mensajes que sean necesarios.
- **Gestión y control de equipos móviles:** Gestiona el enlace entre los equipos móviles y el sistema de comunicaciones. Para lo cual tiene asociadas las siguientes subfunciones:
 - Controlar y depurar la información que llega del campo.
 - Control en los equipos móviles, tanto de la transmisión como de la recepción.
 - Organizar y gestionar todo el sistema de comunicaciones.

Para realizar las funciones anteriores, el sistema de comunicaciones dispone de dos áreas de trabajo:

- **Subsistema estación central:** Formado por un *front-end* de comunicaciones (*hard y soft*) el cual, mediante un modem conectado al sistema de radio del usuario contacta con los móviles.
- **Subsistema estación móvil:** Formado por una C.P.U. en la cual se integra el software del sistema, unos sensores de campo (G.P.S., sistemas de detección de dirección y velocidad del viento, etc.). Este sistema móvil dispone de arquitectura modular y en cada caso (vehículo, helicóptero o mochila), se montan los elementos necesarios.

3. INFORMACIÓN UTILIZADA

3.1. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Las diferentes opciones de PIROMACOS requieren disponer de información geográfica general, así como de otra más específica, que

se describirá en la siguientes secciones. La información geográfica requerida, se refiere a:

Modelo Digital del Terreno (MDT).

Mapa de vegetación y usos de suelo:

- * Mapa de unidades homogéneas de combustible
- * Mapas que muestren, para distintos tipos de recursos, la oposición al combate del incendio.
- * Mapas de dificultad de circulación extra-viaria para distintos tipos de recursos.

Mapas de elementos puntuales y lineales:

- * Mapas de caminos, carreteras y otros elementos que reflejen la accesibilidad de los recursos de extinción.
- * Mapas que muestren fronteras impermeables o retardantes a la expansión del incendio.
- * Mapa de puntos de agua y su caracterización..
- * Mapa de la posición inicial de los recursos de extinción.
- * Mapas de valores puntuales prioritarios para la conservación.

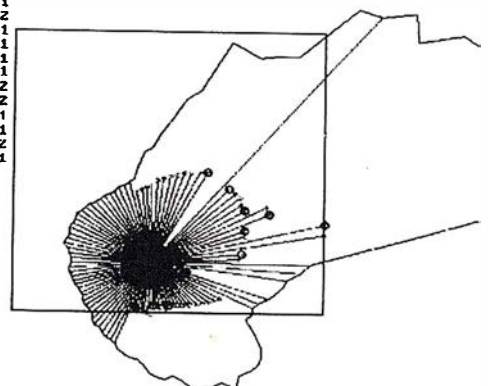
Otros mapas para la determinación del valor quemado:

- * Mapas litológicos y de suelos.
- * Mapas de hidrología superficial y subterránea.
- * Mapas de erosión-erosionabilidad, etc.

La mayor parte de información anterior se obtiene directamente de la cartografía digital existente (mapa de carreteras, hidrografía, términos municipales), siendo precisa únicamente su transformación. Otros datos precisan una elaboración al no existir. Generalmente pueden obtenerse a partir de otros datos. Este es el caso del MDT que se obtiene a partir de las curvas de nivel. También se puede obtener mediante un correlador automático de los modelos estereoscópicos.

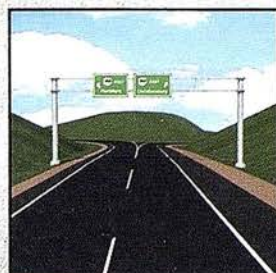
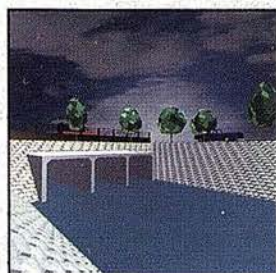
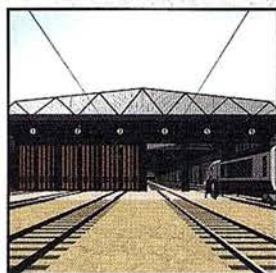
Con respecto a la precisión de los datos, se contraponen dos puntos. Unos datos muy precisos, permiten un resultado más próximo a la realidad, pero éstos necesitan un mayor tiempo de evaluación y de recursos de la máquina en general. La relación entre estos valores no es lineal, unos datos el "doble" de precisos pueden implicar el "doble" de tiempo y recursos, y sin embargo la mejora del resultado ser inapreciable. En general, unos datos que nos permitan conocer las características medias del terreno cada 10 metros puede ser suficiente.

3	7	58.5	1	1
12	4	65.5	1	2
7	9	43.0	1	1
16	76	12.0	5	1
13	96	14.0	1	1
14	15	7.0	1	1
8	2	35.5	1	2
5	6	37.0	1	2
43	17	45.0	11	1
6	78	19.5	5	1
19	13	44.8	2	2
75	81	19.0	11	1
44.85	x			
2.8				



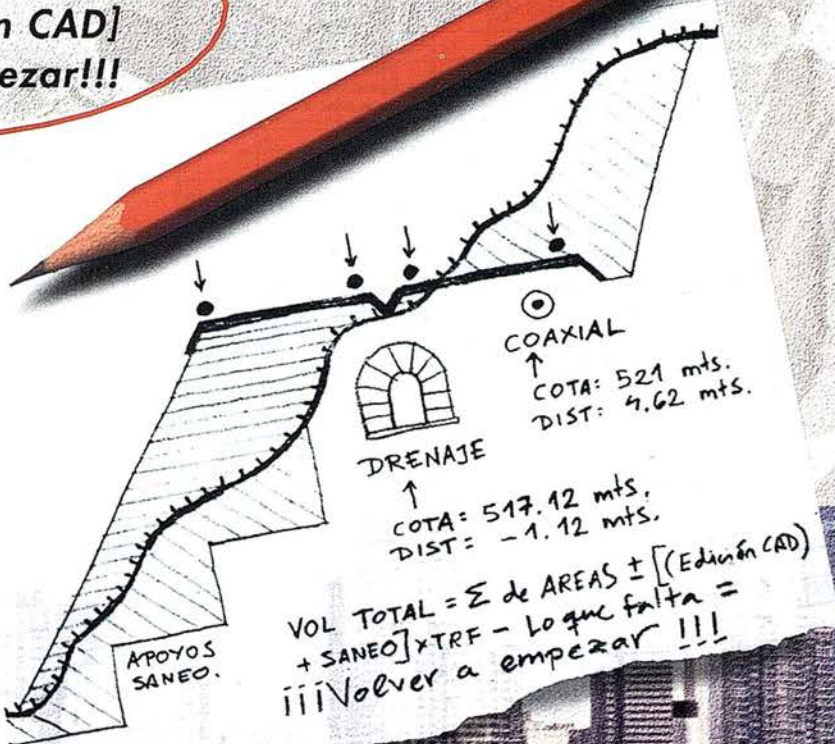
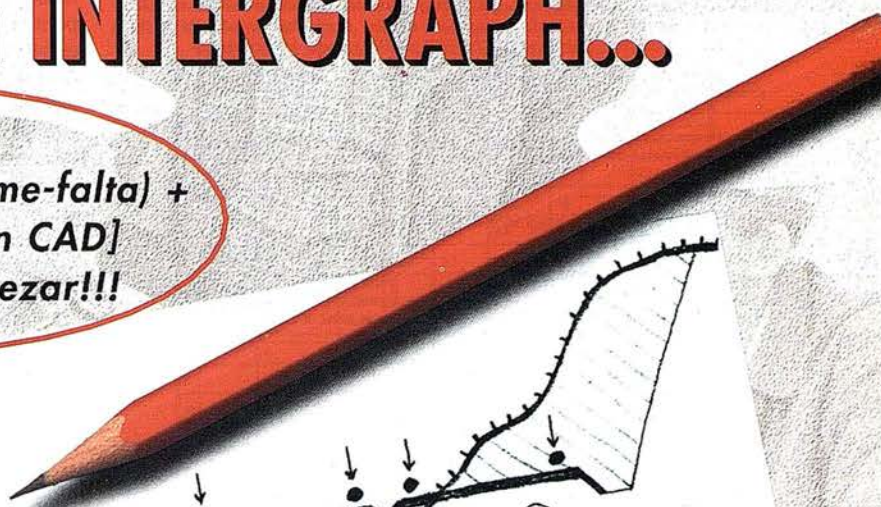
OBRAS PÚBLICAS - TOPOGRAFÍA - DISEÑO - CONSTRUCCIÓN

SiteWorks • InRoads • InRail



Con INTERGRAPH...

Volumen =
 $f [\Sigma(\text{perfil } \pm \text{ lo-que-me-falta}) + \Delta(\text{saneos}) \pm \text{edición CAD}]$
 = ¡¡¡Volver-a-empezar!!!



...usted ya estaría en el siguiente proyecto!

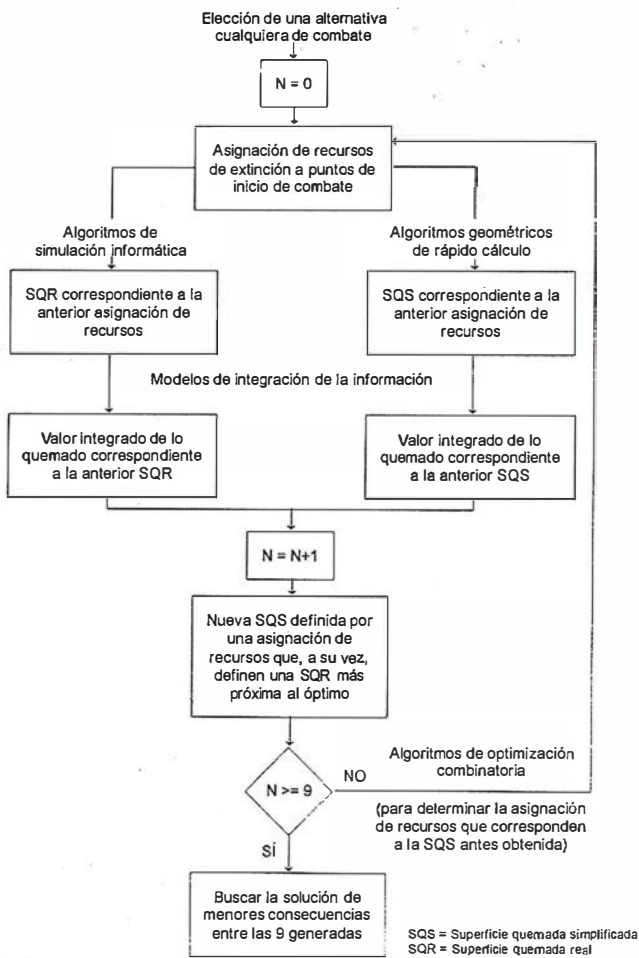
(91) 372 80 17
 (93) 200 52 99
 (94) 463 40 66

¡Llámenos hoy mismo!

INTERGRAPH

REF. OCI1079

Intergraph, InRail y el logotipo Intergraph son marcas registradas e InRoads y SiteWorks son marcas de Intergraph Corporation.
 Otras marcas y denominaciones de productos pertenecen a sus respectivos propietarios. Copyright 1997 Intergraph España.



a los tipos de combustible definidos por BEHAVE (Rothermel y Burgan, 1984). Sin embargo, PIROMACOS admite la posibilidad de identificar unidades homogéneas de combustible por parámetros básicos que caracterizan la expansión del incendio: radios de empaquetamiento, ratios superficie/volumen, etc.. Este procedimiento de identificar directamente las unidades homogéneas de combustible permite un mejor ajuste a las características propias de cada zona, que la utilización de procedimientos habituales basados en combinaciones lineales de los trece tipos de combustible de BEHAVE. Adicionalmente, este sistema de identificación de combustibles facilita simular los resultados de diferentes prácticas selvícolas en la propagación del incendio. Además de la información geográfica referida a los modelos de combustible necesarios para aplicar el modelo de expansión, se necesita información relacionada con variables climatológicas (humedad relativa, temperatura, humedades de los combustibles, etc.) que determinan el comportamiento del incendio.

Con independencia de la posibilidad de aplicar directamente el modelo de expansión sobre las características físicas de los modelos de combustible, la utilización de los tipos definidos por BEHAVE acelera la presentación de resultados. Con objeto de incrementar aún más la obtención de los mismos, PIROMACOS admite la posibilidad de utilizar información tabular previamente calculada, en lugar de resolver en cada caso las expresiones analíticas complejas de los modelos de expansión. La utilización de la información tabular presenta como ventaja adicional la facilidad de adaptar los parámetros almacenados a las observaciones en tiempo real: el sistema consigue identificar más rápidamente las causas de la desviación existente entre los datos utilizados y los reales y se acelera la adaptación al posibilitar la aplicación de métodos estadísticos sobre observaciones repetidas en las celdas de las tablas empleadas.

Como ejemplo de información tabular se presenta la relación existente para el modelo de combustible 1 de BEHAVE, con una velocidad de viento dominante de 15 km/h. (Tabla 1).

TABLA 1-a: Velocidad de propagación del incendio en el sentido del viento dominante; para el combustible tipo 1 y con pendiente 0%.

Velocidad de propagación del fuego (m./min.)		Humedad básica del combustible fino muerto <i>l</i>					
		1 %	3 %	6 %	10 %	15 %	25 %
Humedad básica	300 %	56	44	36	30	0	0
	200 %	70	55	45	37	0	0
combustible vivo	100 %	95	74	60	49	0	0
	50 %	114	88	71	58	0	0
	30 %	124	96	77	63	0	0

TABLA 1-b: Calor por unidad de área producido en un incendio de las características descritas en la Tabla 1-a.

Calor por unidad de área (Kcal./m ²)		Humedad básica del combustible fino muerto					
		1 %	3 %	6 %	10 %	15 %	25 %
Humedad básica	300 %	7859	6504	3794	2913.25	2710	0
	250 %	8130	7046	5555.5	2913.25	2710	0
combustible vivo	200 %	8401	7317	6504	3794	2710	0
	150 %	8536.5	7588	6910.5	5691	2710	0
	50 %	9756	8672	7723.5	6775	5691	0

La Figura 10 presenta el esquema que define la secuencia lógica para la obtención de las expresiones analíticas utilizadas en el modelo de expansión del fuego.

PIROMACOS tiene almacenados los datos anteriores correspondientes a toda la Comarca objeto de estudio (la extensión operativa de una base de datos es del orden de 1,5 provincias españolas). A partir de la información correspondiente a un tipo concreto de incendio, PIROMACOS selecciona automáticamente una zona de actuación. Esta zona engloba la zona del incendio y una franja alrededor de la misma, que varía en función de los datos. La expansión del fuego puede no superar los 10 kilómetros en torno al punto de inicio, pero los medios de extinción pueden venir de distancias superiores, así la franja será menor para el MDT que para la red de carreteras.

3.2. OBTENCIÓN DE IMÁGENES DIGITALES

La utilización de imágenes digitales formando modelos estereoscópicos en PIROMACOS, le da una potencialidad de evaluación, análisis y toma de decisiones a priori y en tiempo real imposible de lograr sin esta información. Mediante estos modelos estereoscópicos, se puede mantener actualizada la información de forma rápida y barata. Se pueden corregir anomalías en la información vectorial, tomar decisiones de prevención y realizar entrenamiento de personal de mando. Asimismo, con imágenes posteriores a un incendio, se puede evaluar la zona quemada y comparar con las anteriores al incendio.

3.3. INFORMACIÓN REQUERIDA PARA SIMULAR EL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

La aplicación estándar de PIROMACOS se realiza mediante la aplicación de los modelos de expansión, definidos en la sección 2.2.1

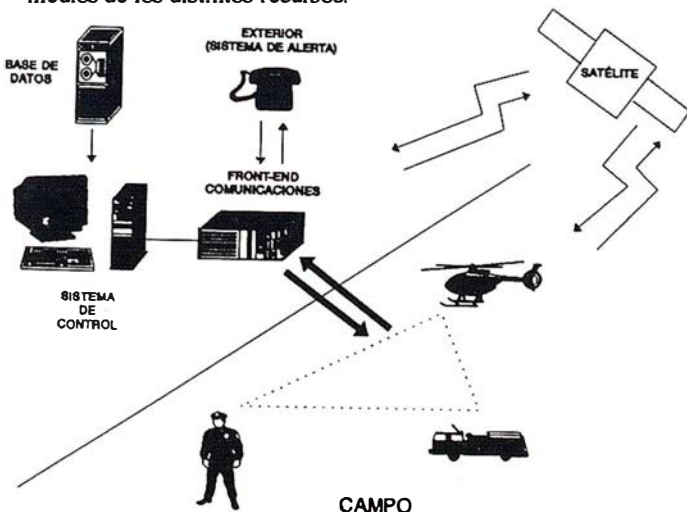
3.4. INFORMACIÓN REQUERIDA PARA SIMULAR EL COMBATE CORRESPONDIENTE A UNA ASIGNACIÓN INICIAL DE RECURSOS

La caracterización del comportamiento de los recursos de extinción se realiza a partir de tablas que muestran los rendimientos del combate y de velocidad de desplazamiento de cada recurso en distintas situaciones. Estas tablas relacionan características de terreno (pendiente, pedregosidad, tipo de combustible, etc.) y del incendio (velocidad máxima de propagación, altura de la llama e intensidad de radiación), con el tipo de recurso (motobomba, bulldozer, aviones anfíbios, aviones de carga en tierra, helicópteros de extinción, helicópteros de transporte, número de integrantes de las cuadrillas, etc.). Además de estas características, se consideran factores limitantes para el uso de maquinaria, tales como pendiente máxima de subida, bajada y lateral con carga y sin carga. Finalmente, es necesario conocer los tiempos medios que transcurren desde que se localiza el incendio hasta que los medios parten para combatirlo (tiempos de respuesta) y la localización inicial de los recursos de extinción.

Adicionalmente, PIROMACOS es capaz de procesar otro tipo de información referida a características más específicas de cada recurso de extinción, tales como potencia, capacidades de los depósitos de agua, velocidades de crucero, capacidades de carga, autonomía, capacidad de las estaciones de mezcla para retardantes, etc. Para cada retén se puede utilizar información referida a los medios con los que cuentan: batefuegos, palas, azadas, extintores de mochila, etc.

A partir de esta información tabular, se aplican los algoritmos descritos en la sección 2.2.2 para determinar el valor de la superficie quemada correspondiente a una asignación inicial de recursos de extinción. Para su aplicación es necesario haber calculado los mapas de tiempos de llegada de los recursos seleccionados a todos los puntos del territorio teniendo en cuenta la expansión simultánea del incendio. Cuando se utilizan recursos con depósitos de agua, también se requiere información referente a la localización de los distintos puntos de agua. Con ella se construyen mapas de tiempos de llegada desde la posición de cada uno de los recursos de extinción, a todos y cada uno de los citados puntos de agua. De esta forma se elige automáticamente el lugar más adecuado para el abastecimiento, en cada uno de los instantes, y se calculan los tiempos y trayectorias de desplazamiento y recarga. La caracterización tabular de los rendimientos de los recursos de extinción admite los mismos procedimientos de adaptación a las observaciones reales que los propuestos para adaptar la expansión del incendio.

Cuando no se dispone de la información antes mencionada, PIROMACOS utiliza los resultados de estudios ya realizados mediante la incorporación de una base de datos con los rendimientos medios de los distintos recursos.



La Tabla 2 presenta, a modo de ejemplo, la información tabular de rendimientos para un ataque indirecto con bulldozer general de 90 C.V. de potencia, en función de la pendiente y del tipo de combustible, y con una anchura de cortafuego definida.

TABLA 2 :Rendimiento (metros./min.) de un bulldozer de 90 C.V. en la realización de cortafuegos, con la anchura definida en la tabla y para los modelos de combustible (BEHAVE) también definidos.

Anchura cortafuegos	Modelo combustible	0-25 %	26-40 %	41-55 %	(-25) - 0 %	(-26) - (-40) %	(-41) - (-55) %
1	1	25	15	6.7	35	35	23.4
1	2	25	15	6.7	35	35	23.4
1	3	20	11.7	3.3	26.8	25	15
2	4	5	2.5	0.7	6.8	6	1.5
1	5	20	11.7	3.3	26.8	25	15
2	6	7.5	4	1.5	10	9	3.5
3	7	5	2.7	0.9	6.7	6	2
2	8	10	6	1.5	13	12.5	7.5
7	9	2	1	0.3	3	2.6	1
10	10	0.33	0.17	0.03	0.5	0.3	0.06
5	11	1.4	0.66	0.13	2	1.34	0.2
7	12	1	0.5	1	1.5	1	0.15
10	13	0.33	0.17	0.03	0.5	0.3	0.06

3.5. INFORMACIÓN PARA LA VALORACIÓN INTEGRAL DEL TERRITORIO

PIROMACOS define la asignación de recursos óptima para hacer mínima la superficie quemada, o cualquier valor integrado definido por el usuario. Para lograr este objetivo es necesario haber asignado previamente a cada zona un determinado valor económico, ecológico y social, o un valor global de todos o parte de estos aspectos.

Este valor global (ver sección 2.1) ha de reflejar el sistema de preferencias de un experto en el sentido de priorizar la conservación de un punto sobre otro. En cualquier caso es necesario disponer de información: de vegetación, litología, hidrología y otros parámetros físicos, sociales y económicos que caractericen la zona de estudio. La concreción del tipo de información requerida depende de los aspectos específicos que el experto, o el decisor político, consideren significativos para esta valoración.

Se pueden introducir puntos de valor prioritario para impedir que se vean alcanzados por el incendio incluso durante el funcionamiento de PIROMACOS. De forma similar a como se consideran las restantes observaciones en tiempo real, estos puntos se considerarán para el cálculo del combate óptimo en sucesivas adaptaciones. Si los puntos introducidos correspondieran a localizaciones de seres humanos, automáticamente se procederá al cálculo de su plan de evacuación.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1. MODOS DE OPERACIÓN

La aplicación de PIROMACOS se puede realizar en tres modos de operación, que se describen en los tres sub-apartados siguientes.

4.1.1. Planificación y Estudio de Riesgos

Este modo de actuación facilita el estudio de las mejores localizaciones de los recursos de extinción y la identificación de puntos con mayor riesgo de que se produzcan incendios de importantes consecuencias. Sobre estos puntos debe intensificarse las labores de detección.

La planificación de la localización de los recursos de extinción se realiza mediante el estudio de las consecuencias de distintas

localizaciones de recursos sobre incendios simulados en distintos puntos del territorio. La simulación de los incendios se realiza en los puntos de mayor riesgo, según la información proporcionada por la serie histórica de incendios; la resultante del estudio de puntos con mayor riesgo de inicio de incendios con importantes consecuencias y la información subjetiva aportada por los expertos en control de los incendios forestales.

Las localizaciones a analizar responden a una búsqueda sistemática sobre los núcleos de población existentes en la zona de estudio. Esta búsqueda se puede sustituir por la aplicación de sistemas específicos de planificación, como las herramientas IFMS³ que reducen considerablemente el número de localizaciones a analizar. Para alcanzar este objetivo, PIROMACOS proporciona salidas en formato estándar de las funciones objetivo a analizar (valor quemado real y de valor de lo quemado correspondiente a un combate sobre la Superficie Quemada Simplificada).

La identificación de los puntos de mayor riesgo de inicio de incendios con importantes consecuencias se realiza mediante una simulación de incendios en distintos puntos del territorio. Para esta simulación se introducen las condiciones climatológicas más adversas. El valor global de riesgo de incendios con importantes consecuencias se obtiene como producto de un índice que represente el valor quemado en cada punto, por otro que represente el riesgo de que se produzcan incendios. Este último índice se obtiene como media de los índices de peligrosidad publicados por la administración forestal.

4.1.2. Simulación y Entrenamiento

Este segundo modo de operación, se refiere a la aplicación de PIROMACOS al estudio de las consecuencias de distintas prácticas selvícolas (desde claras y realización de cortafuegos al cambio de especie); así como al entrenamiento; tanto de los responsables de la extinción, como de las cuadrillas y maquinaria disponible. En ambos casos se utilizan los modelos de expansión del incendio basados en la caracterización específica de unidades homogéneas de combustible. Ambas tareas, se pueden realizar mediante la aplicación de PIROMACOS a distintas situaciones propuestas por los responsables de la prevención y extinción; o en el contexto de un estudio sistemático de prácticas selvícolas y profesionalización de los recursos de extinción.

Un ejemplo de proyecto sistémico para la gestión de incendios forestales es el proyecto SIF (Servicio Integral Forestal). SIF auna las potencialidades de diferentes empresas⁴ con objeto de mitigar los efectos del incendio mediante previsión y actuación sobre el monte antes de la temporada de incendios y, en el caso de producirse el incendio, se contempla la optimización de la extinción. SIF se define como un conjunto de medios humanos, técnicos y organizativos que, basándose en datos recibidos del entorno (estudios de riesgos, vegetación, orografía, grado de combustibilidad del material vegetal, recursos, climatología, etc) y tratados por medio de un sistema de gestión de la información por ordenador (PIROMACOS), permite adecuar los medios humanos y materiales a la prevención de los riesgos en entornos naturales y la optimización de todos los recursos disponibles, en el caso de emergencia. El comportamiento del Servicio Integral Forestal se define en las siguientes etapas:

- i) Alimentada la aplicación con la información disponible que tiene que ser rigurosa y fiable, se produce el arranque del sistema. Esta información se consigue por medio de fotografías

aéreas, mapas topográficos, mapas de uso de suelo (ya sea importando la información digital o digitalizando la que esté en papel), recursos disponibles, datos ya existentes, etc.

- ii) Producido el arranque del sistema, éste permite realizar evaluaciones que derivan en simulaciones y estudios complementarios. Todas las recomendaciones son tratadas y valoradas en forma de anteproyecto y son entregadas al técnico responsable de la Administración Pública.
- iii) El técnico responsable puede tomar la decisión de convertirlas en proyecto y mandar que se ejecuten los trabajos, según prioridades para disminuir riesgos de incendios, o dejarlas en espera para modificaciones posteriores hasta que existan disponibilidades económicas. En ambos casos, tanto si se ejecutan los trabajos como si se dejan en espera, el sistema permite realizar simulaciones con los trabajos ejecutados o por ejecutar y obteniendo respuesta ante las nuevas situaciones. Cualquier modificación que se produzca respecto a los datos de partida, debe ser introducida en el sistema, el cual nos dará respuesta ante la nueva situación.

El Servicio Integral Forestal (SIF) está concebido para una zona o extensión geográfica asimilable a la provincia y, tratada a medio plazo o largo plazo, conseguiría, entre otras, las siguientes ventajas:

- Menor riesgo en pérdida de vidas humanas.
- Disminución de superficie quemada.
- Un mejor conocimiento de la zona de actuación, se dispondría de un mapa de jerarquización de riesgos.
- Una mayor profesionalización de las plantillas, integrando distintos trabajos y servicios forestales, se consigue una CONTINUIDAD de las plantillas lo que permite someter a las mismas a un PLAN DE FORMACIÓN.
- Mejor ambiente personal y profesional de las plantillas (motivación).
- Obtención de mejores rendimientos forestales.
- Obtención progresiva de un servicio más tecnificado.
- Optimización de la gestión (se consigue una VISIÓN GLOBAL del objetivo a conseguir).

4.1.3. Combate en Tiempo Real

A este modo de operación corresponde la mayor parte de los desarrollos propuestos. Simplemente se remarca en este apartado, la posibilidad de determinar a priori las consecuencias de cualquier alternativa de combate propuesta por el usuario; la posibilidad de determinar el mejor combate y la facilidad de realimentar el modelo con datos observados en tiempo real para recalcular la mejor alternativa de combate. Todas estas opciones se realizan manteniendo el control de las comunicaciones entre los recursos de extinción y el centro de control del incendio.

4.2. INTERFASE DE USUARIO

Las operaciones que puede realizar el usuario sobre la consola del ordenador donde corre PIROMACOS son:

- Definir los criterios de actuación para el cálculo de la valoración integral de cada punto a preservar del incendio.

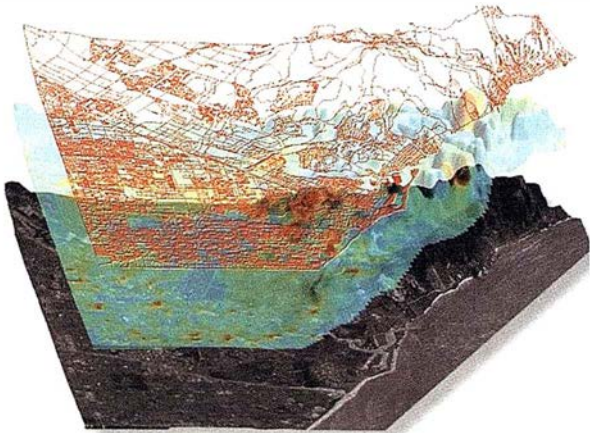
3 Integrated Forest Management System: Force-Robak. University of New Brunswick. Canadá.

4 EULEN: Empresa líder en Servicios Intensivos de Mano de Obra, con gran experiencia en Lucha contra Incendios Forestales. Aporta el potencial humano para dar los servicios necesarios en el monte, que el SIF necesita.
ICI: Empresa líder en España en Servicios de Información Geográfica, aporta las aplicaciones informáticas sobre las que asienta el SIF.

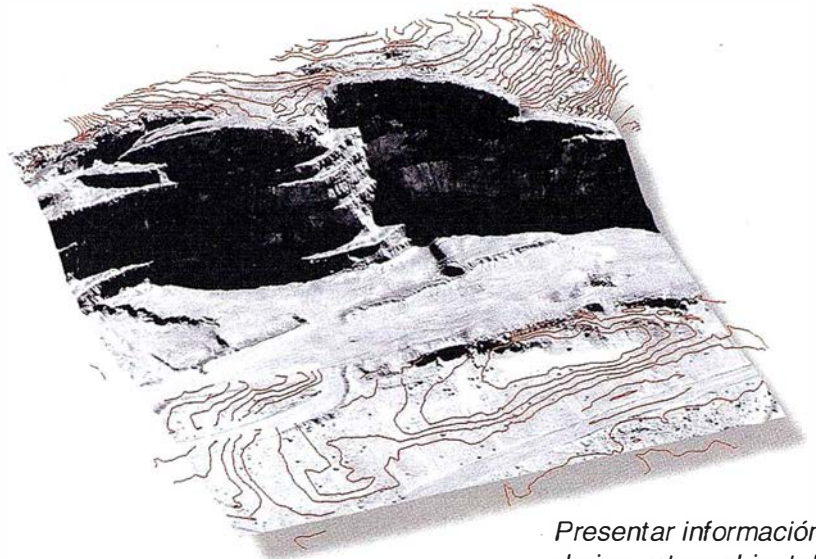
ER Mapper 5.5

¿Qué puede hacer por Vd.?

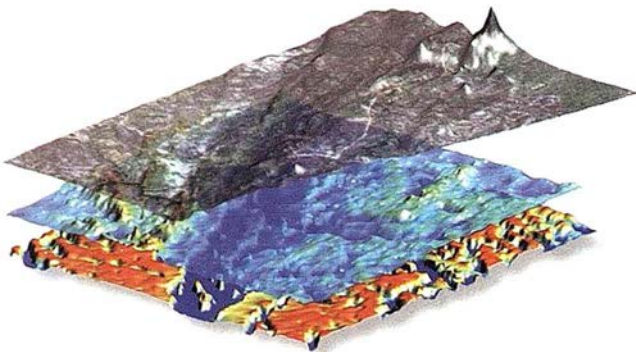
Sorprendentes graficos 3D en Windows 95, Windows NT, SGI y Sun



Visualizar planes de redes celulares



Presentar información de impacto ambiental



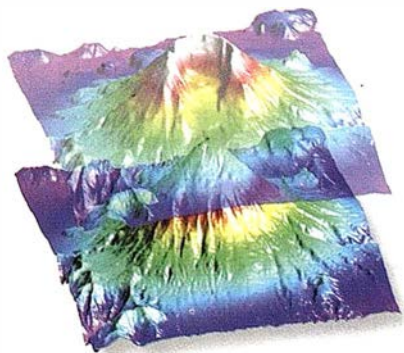
Gestión Medioambiental

ER Mapper ahorra tiempo y dinero

- ✓ 3D interactivo en PCs estandar
- ✓ Imprimir mapas 3D con calidad fotográfica
- ✓ Crear mapas profesionales con facilidad
- ✓ Actualizar datos GIS usando imágenes
- ✓ Compartir datos con otros productos



Sobrevolado en tiempo real



Evaluación de desastres naturales

¡ Calificado *Número 1* !

"... ER Mapper es el sistema de proceso de imágenes con mejor rendimiento y mejor acabado que hemos probado, una auténtica ganga."

-- GIS WORLD, Septiembre 1996



Incluir vistas 3D en los mapas

ER Mapper 5.5

Helping people manage the earth

www.ctv.es/ermapper

Todas las marcas, nombres de compañías y productos son marcas registradas de sus respectivos propietarios.

Europa, Africa y M.Oriente - Central

Earth Resource Mapping

Blenheim House

Crabtree Office Village

Eversley Way, Egham

Surrey, TW20 8RY, UK

Teléfono: +44 1784 430-691

Facsimil: +44 1784 430-692

España, Italia, Portugal y N. de Africa

Earth Resource Mapping Spain S.L

Bailen 1

El Escorial, Madrid

28280, Spain

Teléfono: +34 1 896 0379

Facsimil: +34 1 896 0379

- Seleccionar, a través del mapa "ESQUEMA" (mapa de la Comarca de actuación, que mediante la realización de un zoom, permite la localización de la zona de estudio) la localización visual de la información geográfica pertinente.
- Introducir foco, o focos, del incendio, que puede ser un punto, un contorno o un conjunto de puntos y contornos. Esta tarea, se puede realizar de distintas formas: digitalizando gráficamente el contorno del foco; tecleando sus coordenadas; mediante la geo-referenciación de imágenes digitales que muestren el perímetro del incendio, o a través de la incorporación directa de cualquier otro soporte transmitido por el sistema de comunicaciones.
- Introducir, en caso de simulación, la fecha y hora de la misma. Cuando trabaja en tiempo real, el sistema las lee directamente.
- Introducir parámetros meteorológicos (velocidad y dirección del viento, humedad relativa, humedad de los combustibles vivos, etc.) y el punto, o puntos, donde se realiza su medición.
- Seleccionar, en caso de simulación, los parámetros avanzados del incendio: ancho de zona de estudio, número de hileras por paso, altura límite de la llama para combate directo, etc.. Cuando trabaja en tiempo real, el sistema toma sus valores por defecto.
- Introducir, en modo de simulación, la localización inicial y composición de los recursos de extinción, así como seleccionar los utilizados en el combate. En tiempo real, el sistema "conoce" la localización inicial de los recursos.
- Calcular las rutas de aproximación a la zona de estudio para los diferentes recursos de extinción.
- Asignar, optativamente, recursos de extinción a puntos concretos para conocer las consecuencias de asignaciones concretas.
- Calcular el combate óptimo y visualizar los resultados.

Los parámetros que afectan al comportamiento del fuego, las posiciones del incendio y de los recursos de extinción y los criterios para la valoración de lo quemado, se pueden modificar en cualquier instante del procesamiento de PIROMACOS. A elección del usuario, la aplicación puede incorporar los nuevos valores en la siguiente adaptación del combate, o en los procesamientos en curso. La información que la aplicación permite obtener y presentar, consiste en:

- * Toda la información almacenada, con posibilidad de modificación utilizando las herramientas propias de IberGIS.
- * Mensajes recibidos y transmitidos por el sistema de comunicaciones durante la operación de PIROMACOS.
- * Mapas de valor integrado mostrando el mérito de cada punto a no ser afectado por el incendio.
- * Mapa de cobertura radio-eléctrica.

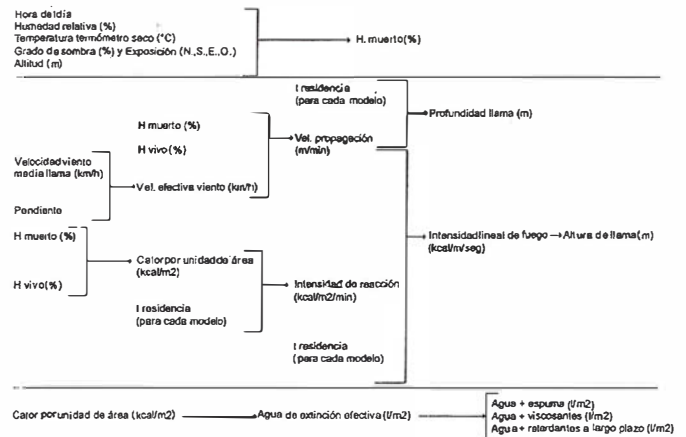


FIGURA 1C

- * Mapas relacionados con la expansión del incendio (mapas de tiempo de llegada del fuego, de altura de llama, de agua requerida para la extinción, de intensidad de la radiación, de velocidad del incendio en cada punto, de calor por unidad de área, etc).
- * Mapas de tiempos de llegada de los recursos de extinción, desde sus bases de operaciones a todos los puntos de la zona de estudio.
- * Mapas de tiempo de llegada desde los puntos de agua a toda la zona de estudio, utilizando distintos medios de carga.
- * Trayectorias de desplazamiento de los distintos recursos de combate.
- * Actuación prevista y posicionamiento de los recursos de combate.
- * Consecuencias de cualquier actuación definida por el usuario.
- * Combate óptimo.
- * Posicionamiento, en tiempo real, de los distintos recursos de combate y del incendio.

La información geográfica se puede presentar en dos o tres dimensiones, utilizando, en este caso, salidas estereoscópicas con soporte en las imágenes digitales disponibles. Cabe la posibilidad de presentar la superposición de dos o más mapas temáticos simultáneamente.

Las Figuras 11, 12, 13 y 14 muestran, respectivamente, la identificación de la zona de estudio; distintas pantallas representando la información requerida por PIROMACOS; pantallas con la información presentada y, finalmente, una representación del combate del incendio.

4.3. CASOS DE APLICACIÓN

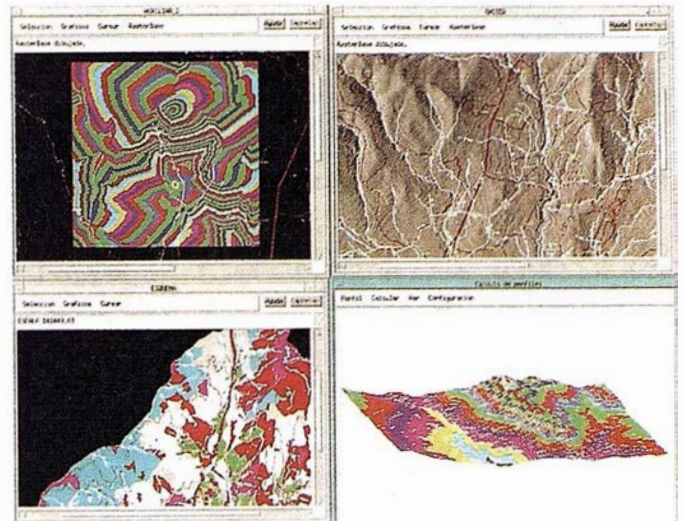
La acogida que está teniendo PIROMACOS en las presentaciones a los técnicos y responsables de los incendios de las Comunidades a las que comercialmente se ha podido acceder hasta la fecha ha sido positiva. Diferentes técnicos han coincidido en la importancia de una aplicación de estas características, ya que han podido observar, in situ, la rapidez y fiabilidad de sus cálculos así como el enorme valor añadido que PIROMACOS



aporta a los departamentos comunitarios encargados de la lucha contra los incendios.

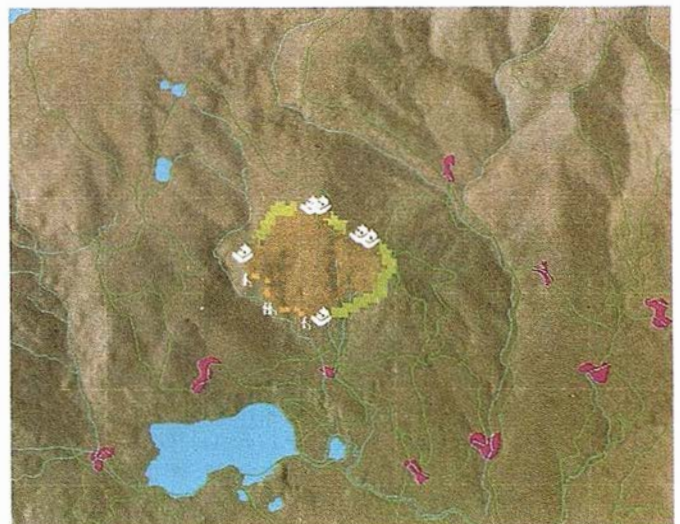
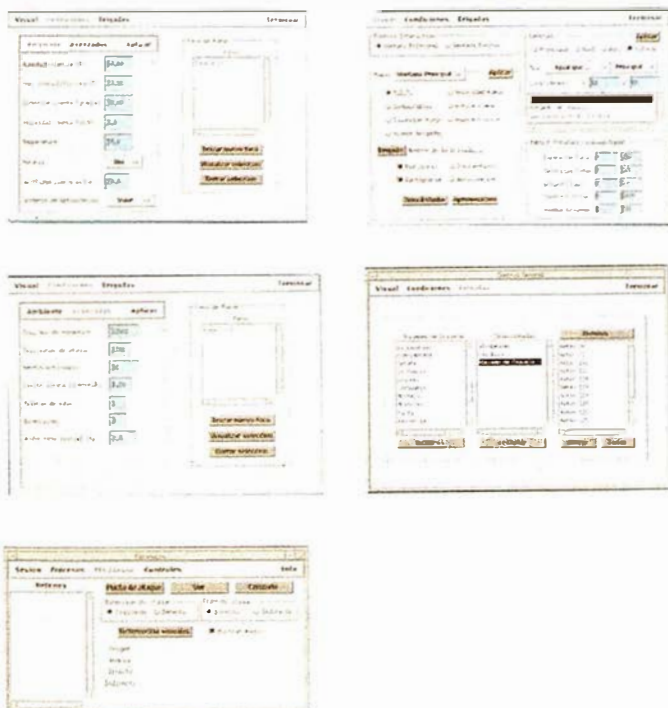
Las Comunidades en las que PIROMACOS se encuentra en fase de implantación son:

- * En la Comunidad de Madrid, mediante los responsables de las competencias sobre los incendios (Dirección General de Protección Ciudadana - Consejería de Presidencia) se está en fase de aglutinar la cartografía necesaria para crear el soporte cartográfico de PIROMACOS. Una vez concluida esta fase se dispondrá de una estación de trabajo en las dependencias de Las Rozas.
- * En la Junta de Castilla y León, la Consejería de Medio Ambiente, tiene muy avanzado el estudio de implantación.
- * Por último, la Diputación de Alicante ha dado también luz verde a la instalación de PIROMACOS en sus dependencias realizando internamente la labor de captación de la cartografía necesaria.



5. PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

El desarrollo de PIROMACOS se ha debido al trabajo conjunto de un grupo de profesores del Departamento de Economía y Gestión de las Explotaciones e Industrias Forestales de la ETSI Montes (UPM) y la empresa INVESTIGACIONES CIBERNÉTICAS (ICI). Los primeros han proporcionado el conocimiento sobre el comportamiento del fuego y los algoritmos de combate; los segundos han implementado dichos algoritmos en un SIG y proporcionado soluciones eficientes en tiempo real. Otras instituciones que han aportado conocimientos necesarios para el desarrollo han sido: LANDATA, que aporta el tratamiento de las comunicaciones; SEAC, empresa que aporta las estaciones meteorológicas que se comunican en tiempo real con la estación de trabajo y la Diputación de Alicante quien, desde un principio ha sido socio institucional del proyecto. La implementación del proyecto ha sido posible por la ayuda concedida por el MINER y los fondos aportados por el programa ESPRITE dentro del IV Programa Marco de la Unión Europea (Proyecto Nº: PASO PC 238).



6. REFERENCIAS

- ALCAIDE, M.T. y MARTÍNEZ-MILLÁN, J. (1994). Utilización de "CARDIN" para la simulación de un incendio real. *Ecología*, 8: 3-11.
- BESAG, J. (1986). On the statistical analysis of dirty pictures. *J.R.Stat.Soc. B* 48: 259-73.
- CABALLERO, D., MARTINEZ-MILLAN, J., MARTOS, J. y VIGNOTE, S. (1994). CARDIN 3.0 A model for forest fire spread an fighting simulation. *2nd International Conference on Forest Fire Reseach*. 21-24 Noviembre Coimbra, Portugal.
- CATCHPOLE, WR. (1985). *Fire models for Heatland*. Mathematic Department Report No. 21/85, Faculty of Military Studies, University of New South Wales, 1985.
- CATCHPOLE, EA; HATTON TJ y CATCHPOLE W.R. (1989). Fire Spread Through Nonhomogeneous Fuel Modelled As Markov Process. *Ecological Modelling* 48: 101-112.
- CERNY, V. (1982). *A thermodynamical approach to the travelling salesman problem: and efficient simulation algorithm*. Preprint, Ins. Phys. and Biophys. Comenius Univ. Bratislava.
- CONDE, C. y PEREZ GONZALEZ, J.M. (1995). Una comparación entre el método de elementos finitos y el método de volúmenes finitos. *Actas del XIV C.E.D.Y.A. / IV C.M.A.*
- DUPUY, JL. (1991). *Modélisation Predictive De La Propagation Des Incendies De Forêts*. Rapport Technique. De la Université Claude Bernard Lyon 1 - Inra, Station De Sylviculture Méditerranéenne, Avignon.
- DUPUY J.L. (1992). *Les Recherches De L'unité De Prevention Des Incendies De Forêts Autour Du Système De Prediction Americain Behave*. Inra Report, Avignon, Pit 9202.
- GEMAN, S. y GEMAN, D. (1984). Stochastic relaxation, Gibbs distributions and the Bayesian restoration of images. *IEEE Trans. PAMI-6*, 721-741.
- GERASIMOV, V. A.; DORRER, G. A. (1988). Optimization of Flight Lines for Aerial Forest-Fire Patrolling As A Management Task. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Lesnoi Zhurnal*. 5: 21-24
- GILLESS, JK. (1991). Implementation of a wildland fire protection planning system by a State Resource Management Agency: Simulation Proves More Useful Than Optimization. Proceedings of the 1991 *Symposium on Systems Analysis in Forest Resources*, March 3-6, 1991, Charleston, South Carolina, General Technical Report SE-74, Pages 312-319.
- HERNANDO, C., y ELVIRA, L. (1989). *Inflamabilidad y energia de las especies de sotobosque*, I.N.I.A, Madrid.
- KIRPATRICK, S.; GELLATT, C.D. Jr. y VECCHI, M.P. (1982). *Optimization by simulated annealing*. IBM Thomas J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York.
- KURBATSKII, NB. y TSVETKOV A. (1976). Integrated Optimization in Forest Fire Control Management. *Lesn-Khoz* 9:66-70. MARTELL, DL. (1971). *Optimization of Airtanker Operations in Forest Fire Suppression*. M.S. Thesis, University of Toronto, Ontario.
- MARTINEZ FALERO, E. (1984). Trazado automático de una ruta por caminos de mínimo impacto económico, ecológico y social. *Montes*, 1: 11-26.
- MARTINEZ FALERO, E.; CAZORLA, A. y SOLANA, J. (1995). Scaling Methods. Pgs:193-235. In: *Quantitative Techniques in Landscape Planning* (Martínez Falero and González Alonso eds.) CRC-Lewis. New York.
- MOCKUS, J. (1989) *Bayesian Approach to Global Optimization*. Kluwer. Dordrech.
- NEWKIRK, R.T. (1979). *Environmental Planning for Utility Corridor*. Ann Arbor Science, Michigan.
- OÑATE, E. y ZIENKIEWICZ, C. (1991) Finite Volumes vs. Finite Elements. Is there really a choice?. En: *Non linear Computational Mechanics State of Art*. (Wriggers, P. y Wagner, W. eds.) Springer-Verlag. Berlin.
- RICHARDS, GD. (1995). A general mathematical framework for modelling two-dimensional wildland fire spread. *Wildland Fire*, 5: 63-73.
- ROTHERMEL, R.C. y BURGAN, R.E. (1984). *BEHAVE: Fire behaviour prediction and fuel modeling system*. General Technical Report. INT-167. USDA. Forest Service. Ogden.
- VALLETE, J-Ch.; CLEMENT, A. y DELABRAZE, P. (1979). *Inflamabilité d'espèces méditerranéennes*. Inra., Avignon.
- WILGEN, B.W.VAN. (1984) Adaptation of the United States Fire Danger Rating System to Fymbos Conditions. Part I. A fuel model for Fire Rating in the Fymbos Biome. *South African Forestry Journal*. 129: 61-65
- WYBO, JL. (1992). Expertgraph: Knowledge Based Analysis and Real Time Monitoring of Spatial Data Application to Forest Fire Prevention in French Riviera. *International Emergency Management and Engineering Conference: Managing Risk with Computer Simulation*, April 6-9, Orlando, Florida, 1992, Pages 17-24.

ANEBA Geoinformática, S.L. ha creado una versión para Windows CE, denominada Pocket CARTOMAP

La versión CE (Consumer Electronics) de Windows está destinada a ordenadores de mano (Handheld PC, o HPC). No se trata sólo de una versión de Windows, sino también de una plataforma de hardware mínimo debidamente especificado. Tiene la apariencia de Windows 95 en una pantalla de 480 x 240 puntos y 4 niveles de gris. Sus prestaciones son más parecidas a las de Windows NT (diversos procesadores, sin cesiones al pasado de 16 bits), y su funcionalidad se suministrará de serie, ya que incorpora programas como Word, Excel, Explorer,...

En la primera fase, permite:

- Captura de datos de campo: Desde diversas estaciones totales (con drivers instalables para cada modelo), GPS, ... e incluso entrada manual de datos.
- Editor de datos de campo: Con posibilidad de modificar los datos observados (aunque se conserva un histórico de modificaciones), múltiples códigos por cada punto, visuales como entidades propias, capas de información, memorándums asociados a cualquier objeto (estación, punto, visual, proyecto, ...).
- Cálculos topográficos: Compensación de poligonales por múltiples criterios. Traslaciones, Giros, Cambios de sistema de coordenadas, Conversiones UTM - Geográficas y viceversa, ...
- Dibujo: Sistema de CAD incorporado para definición de líneas, arcos, textos, etc...
- MDT: Cálculo del MDT en tiempo real, con posibilidad de edición.
- Curvado: Generación de curvas de nivel suavizadas.

En una segunda fase se incluirá la generación de perfiles, y el cálculo de cubitaciones. En una tercera fase se proporcionarán herramientas de asistencia técnica en obra y control de calidad.

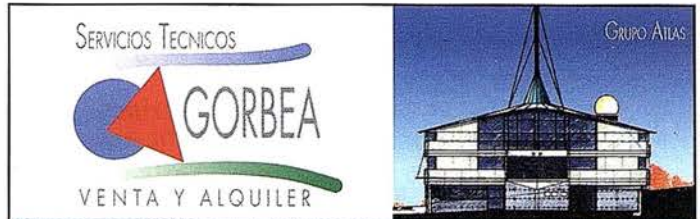
El lanzamiento de esta primera fase está prevista para Septiembre de 1997, y se suministrará sin coste alguno a los usuarios de CARTOMAP. Para más información consulte la Web: www.aneba.com.

LA DIVISION ITS DE COINPASA OBTIENE LA CERTIFICACION ISO 9002

La División ITS de COINPASA obtuvo el pasado mes de marzo el registro de empresa según la norma ISO 9002 con el número ER-169/297, concedido por AENOR para todas sus actividades de Topografía, Fotogrametría y Cartografía.

ITS comenzó el proceso de certificación a finales de 1995, con el establecimiento y definición de los primeros procedimientos de trabajo en el área de Topografía y ha culminado este año con la obtención de la marca ISO 9002 en todos los productos antes citados. Para Angel Salcedo, Director de la División ITS, la consecución del certificado es "la confirmación oficial de algo que el mercado ya nos estaba indicando con su confianza: el alto nivel de calidad de los productos y servicios que ITS ofrece a sus clientes. Dada la amplia experiencia del personal de ITS en el campo de la Topografía y Cartografía, nuestro principal esfuerzo ha ido orientado a plasmar ese conocimiento y saber hacer en unos procedimientos de trabajo ágiles pero exigentes".

ITS es desde hace más de 30 años una de las empresas líderes a nivel estatal en el campo de la Topografía, Cartografía y Catastro. En los últimos años ha ampliado su actividad con la utilización de sistemas informáticos relacionados con la Cartografía y ha incorporado a su oferta de productos informáticos para la Gestión de Inventarios de Bienes y Derechos y el desarrollo de aplicaciones sobre entornos SIG (Sistemas de Información Geográfica). ITS pertenece al Grupo COINPASA desde 1989.



EN EL NORTE, EL SERVICIO EN TOPOGRAFÍA SE LLAMA GORBEA



VENTA Y ALQUILER DE MATERIAL TOPOGRÁFICO.

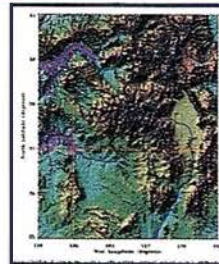
SERVICIO TÉCNICO Y MANTENIMIENTO



SOFTWARE TOPOGRÁFICO

- SDR VARIN
- ISOGRAF
- MODU-ARQ

LOCALIZACIÓN AUTOMÁTICA DE VEHÍCULOS



SOFTWARE ≡ VISION

IDL LENGUAJE DE DATOS INTERACTIVO

ENVI ENTORNO PARA VISUALIZACIÓN DE IMÁGENES



GIS

- ARC/INFO
- ARCVIEW



El Grupo Atlas, a través de los años de experiencia ha seleccionado los mejores productos cartográficos del mundo, llegando a acuerdos de comercialización y/o distribución con las siguientes empresas:

Research System Inc (RSI - Colorado U.S.A.)
Isidoro Sánchez S.A. (ISSA)
ESRI - España
ADR Ingeniería

PARQUE TECNOLÓGICO DE ALAVA
C/ Tecnológico II, 40, bajo - 01510 Miñano Mayor (Alava)
Tel.: (945) 29 80 85 - Fax: (945) 29 80 84



TOPOGRAFIA Y COOPERACION, CAMINOS PARALELOS

Todos somos conscientes, en mayor o menor medida, de las desigualdades que existen entre los países desarrollados y aquellos conocidos como "del tercer mundo". Cuando el conocimiento de importantes carencias azuza nuestra conciencia, surge una inquietud que hace que nos planteemos preguntas del tipo: ¿Qué puedo hacer para mejorar tal situación?. Hoy por hoy, la respuesta a tal interrogante suele estar en asociaciones civiles de cooperación, también conocidas como ONG's (organizaciones no gubernamentales), que en su diversidad cubren un amplio abanico de necesidades.

A primera vista puede parecer que Topografía y Cooperación son dos palabras inconexas. Pero pese a que la labor de los topógrafos no esté caracterizada por una estrecha relación humana, como sucede en otros

ámbitos profesionales, no por ello se cierran las puertas de la colaboración.

Mediante la Topografía es posible conseguir el apoyo técnico necesario para el desarrollo de infraestructuras que permitan solventar graves problemas (falta de abastecimiento de agua, incomunicación física,...) en zonas del planeta menos desarrolladas y en sus estratos más desfavorecidos (campesinado y suburbios).

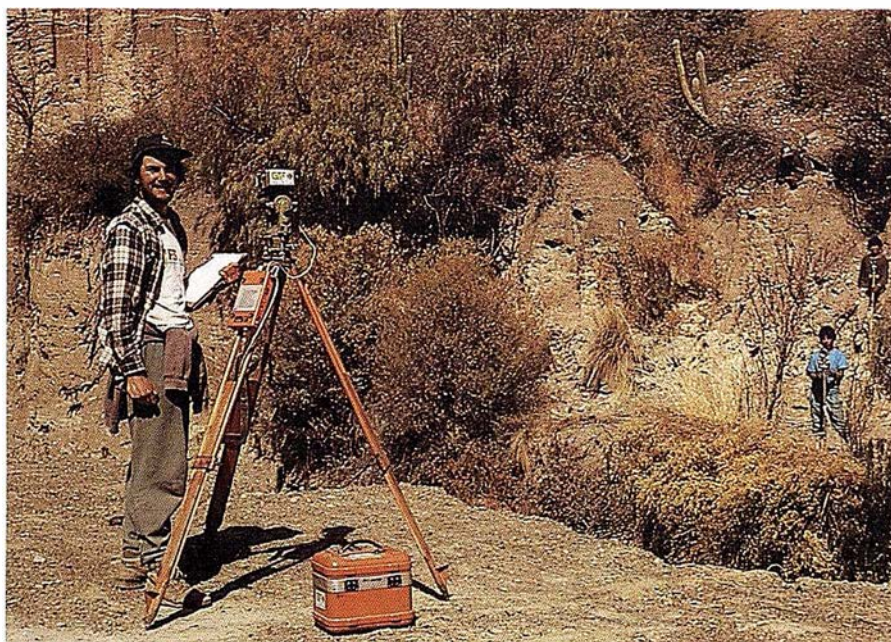
A tal efecto existe una ONG formada por topógrafos y estudiantes de la rama, que desde 1.989 trabaja en Francia y desde 1.993 en España, para aportar sus conocimientos y esfuerzos en la tarea de alcanzar un desarrollo justo, igualitario y respetuoso con el ser humano y el medio que le rodea. Su nombre es Geómetras Sin Fronteras, y en la actualidad forman una



Federación de Asociaciones que por el momento funciona en: Barcelona, Ávila, Jaén, Valencia, Mérida y Vitoria. La sede de la federación es rotativa, y durante el presente año, dicho cargo es ostentado por la asociación con sede en Vitoria.

Dentro de las actividades de la federación destacan los proyectos realizados en el Chaco Paraguayo. En esta zona se han desarrollado tres actuaciones que se complementan entre si, dentro de un programa de carácter global encaminado a mejorar las condiciones de vida de una región concreta del Chaco. Estos proyectos consistieron en:

- * **Determinación de la cota altimétrica de un embalsamiento de agua para evitar inundaciones.** Se niveló la zona ocupada por un asentamiento poblacional, para determinar la cota más baja del mismo y posteriormente



te se llevó esa cota hasta un tapón existente en el curso fluvial, que permitía el embalsamiento de agua. El rebajar el tapón hasta ese nivel suponía salvaguardar las zonas habitadas de posibles inundaciones sin vaciar las reservas de agua, tan necesarias en época seca.

* **Medición y loteamiento de un territorio destinado a pobladores de escasos recursos.** Los habitantes del Chaco basan la mayor parte de su economía en los rendimientos que obtienen del ganado vacuno, sin embargo al no ser propietarios, ni arrendatarios de las tierras que ocupan, su situación es muy inestable. La iglesia del Pilcomayo compró una fracción de territorio de 15.000 hectáreas, 35 kilómetros de largo por 4.3 km. de ancho con el fin de vedersela a bajo precio a los colonos del lugar. Para repartir ese terreno de una forma equitativa, se nos solicitó su medición y posterior división en 250 parcelas. Se realizó un mapa de la zona afectada para conocer sus límites reales y posteriormente se diseñó la colonia, es decir las vías de comunicación, tamaño y disposición de lotes, posible ubicación de los pueblos, etc. El trabajo se llevó a cabo gracias a un topógrafo de la asociación equipado con un teodolito con distanciómetro. En menos de tres meses se llevaron a cabo las medidas pertinentes y se amojonó toda la zona con un total de 446 mojones. También se realizaron en la zona algunos nuevos accesos libres de vegetación que permitieran la comunicación del futuro asentamiento.

* **Dotación de infraestructuras básicas para el núcleo de población Virgen del Rosario.** Como continuación al proyecto

anterior, se preparó en la misma zona, un posible núcleo de población, unos tajamares o balsas para recoger agua y una vía que facilitase el acceso a toda la zona. Se determinó en primer lugar el lugar idóneo para ubicar las balsas. Se contrató maquinaria especial para realizar los tajamares, aprovechando la tierra sobrante para construir un tanque australiano, un depósito de agua más alto que el nivel del embalsamiento, que reparte el agua por gravedad, y que se llena mediante un molino de viento. Se habilitó una pista forestal complementaria como vía de comunicación de más de 13 kilómetros de largo por toda la zona. Aprovechando el viaje se impartió un curso topográfico en una escuela de formación profesional y se realizaron dos peritajes en sendas parcelas.

Así mismo, se está empezando a trabajar en Bolivia, donde se han desarrollado pequeños proyectos junto a una ONG boliviana en la zona de Potosí, y se ha llegado a un acuerdo para prestar apoyo en un instituto de Cochabamba donde se está comenzando una nueva especialidad técnica de topografía, con una visión claramente alternativa de la enseñanza formal, tan alejada de los sectores desfavorecidos. En los próximos dos años se dedicarán dos topógrafos a dirigir e impartir las clases.

Si bien el objetivo de Geómetras Sin Fronteras está en el apoyo a regiones menos favorecidas, sus actividades no se centran exclusivamente en el exterior, también se realizan labores de sensibilización tales como charlas, proyección de videos sobre los proyectos efectuados...

Ahora que ya nos conocéis un poco os animamos a que os unáis a nosotros en este proyecto de solidaridad, si quieres puedes incorporarte a alguna de las asociaciones que ya existen cuyas direcciones aparecen abajo, o si te sientes con ánimo puedes intentar poner en marcha una asociación en tu comunidad autónoma en caso de que no la haya, o bien una delegación en tu provincia.

No dudes en ponerte en contacto con la asociación más próxima, donde te ofreceremos el apoyo e información necesarios.

Emplear tu tiempo no es la única manera de colaborar, si quieres puedes hacerte socio colaborador, realizar aportaciones económicas al número de cuenta que aparece al pie, o bien colaborar donando material topográfico, cartográfico o equipos informáticos que se encuentren en desuso dentro de tu empresa (o te pertenezcan). Esos materiales aquí carecen de valor, pero en otros lugares del mundo pueden ser perfectamente útiles.

G.S.F. PAIS VASCO. Colegio Oficial de Ing. Téc. en Topografía. C/Angulema, 1- 1º 01004 Vitoria, Tlno-Fax 945-251870

G.S.F. CATALUÑA. Escuela U.P. de Barcelona. Delegación de Estudiantes. Av. Doctor Marañón 44-50. 08028 Barcelona Tlfn: 93-4017832-4016305 Fax: 4016306

G.S.F. ANDALUCÍA. Escuela Politécnica Superior. Jaén. Tlfn: 953-212456

G.S.F. VALENCIA. Delegación de Estudiantes de Topografía. Camino de la Vega s/n. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

Nº cuenta LA CAIXA: 2100 1419 07 0200052862

COMPARACIÓN ENTRE EL SISTEMA DE MEDICIÓN G.P.S. Y LOS MÉTODOS TOPOGRÁFICOS CONVENCIONALES EN UNA TRIANGULACIÓN DE PRECISIÓN

Benjamín Sánchez Fernández
Abel Cambor Ordiz
Delfín Puente Rodríguez
Eugenio Sáez García

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

obligaron a adoptar una configuración de los triángulos más irregular, lo que se tradujo en una deformación de los mismos.

La red tiene un vértice central, designado con el número 7 ó V7, desde el que se deberían poder visar todos los demás. No obstante, desde él se pueden observar los vértices V2, V3, V4, V5 y V6, pero no el V1. Este problema fue resuelto haciendo uso de un vértice auxiliar, desde el que se pueden ver el V1 (Naranco) y el V7 (vértice central) sin dificultad alguna, con lo que se pudo determinar la distancia y el desnivel existente entre ambos.

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de verificar la fiabilidad y exactitud de las mediciones del sistema G.P.S., se consideró oportuno establecer una red topográfica de precisión, dando coordenadas a todos sus vértices a partir de uno conocido, al objeto de hacer posteriormente la comparación entre los resultados alcanzados por métodos de topografía convencional y los que cabría esperar durante las mediciones realizadas con G.P.S.

Desde el punto de vista de la situación geográfica, la zona abarcada por la red objeto de estudio se halla repartida entre las hojas del Mapa Topográfico Nacional de España, a escala 1:25.000, 28-II, "Grado" (Llanera); 28-IV, "Grado" (Oviedo Oeste); 29-I, "Posada"; y 29-III, "Oviedo" (Este), ocupando una superficie aproximada de 10,5 Km².

La red está compuesta por un total de siete puntos situados a lo largo de un perímetro de unos 12 Km. de longitud. Seis de estos puntos están localizados en la periferia, coincidiendo con los vértices del polígono, existiendo uno central, desde el cual se realiza la radiación a todos los demás, según lo representado en la figura 1. De los puntos exteriores, el que ocupa la posición más meridional se corresponde con el vértice geodésico del Sistema RE-50 denominado "Paisano", que se halla ubicado en la cima del monte Naranco, en las proximidades de Oviedo.

La medición de la red se efectuó por combinación de los métodos planimétricos de triangulación y trilateración, es decir, midiendo la longitud de los lados de la red y los ángulos interiores de los triángulos formados. Asimismo, también se efectuó la correspondiente medición de los desniveles existentes entre los diferentes vértices.

2. DISEÑO DE LA RED

La red tiene forma geométrica hexagonal, procurando que en su diseño los triángulos fueran lo más equiláteros posible; sin embargo, la orografía, y sobre todo, la vegetación de la zona,

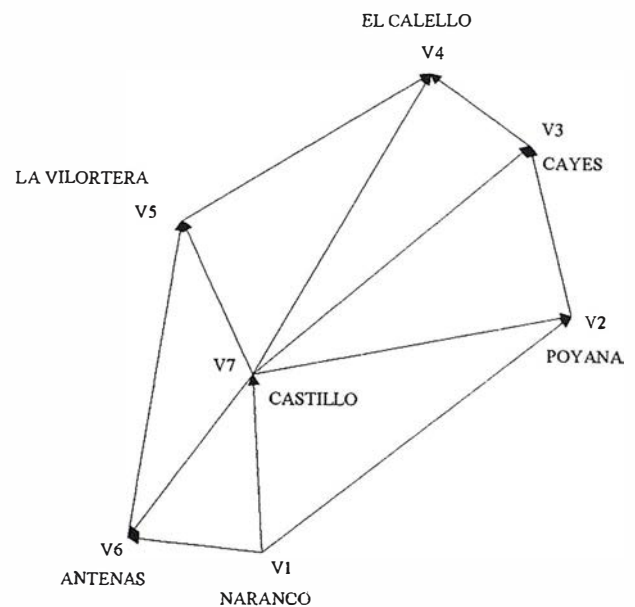


Figura 1.- Red de triangulación.

Una vez elegida y decidida la ubicación definitiva de los puntos en que se hizo estación, el siguiente paso consistió en su materialización sobre el terreno, para lo cual se emplearon clavos de acero, de unos 10 cm de longitud, hincados en el suelo. Por otra parte, para facilitar la búsqueda del punto y con el fin de asegurar una buena precisión en el centrado del aparato para la realización de las mediciones, la cabeza de los clavos fue pintada de color rojo, practicándole dos ranuras perpendiculares entre sí, a su vez convenientemente pintadas de color blanco, cuya intersección define inequívocamente el punto de estación. Asimismo, a una distancia variable, cuidadosamente anotada en la libreta de campo, se clavó una estaca de madera de unos 30 cm de

longitud, al objeto de indicar de forma aproximada la situación de cada uno de los puntos de estación.

En este sentido cabe mencionar que el vértice número 1 (V1) es una señal permanente perteneciente a la Red Geodésica Nacional que se corresponde con el vértice geodésico denominado "Paisano", el cual se halla ubicado en el punto más elevado de la Sierra del Naranco. Desde el punto de vista constructivo, se trata de un hito normalizado por el Instituto Geográfico Nacional.

3. MEDICIÓN TOPOGRÁFICA DE LA RED POR TRIANGULACIÓN Y TRILATERACIÓN

La campaña de medidas fue realizada mediante la combinación de los métodos planimétricos de trilateración y triangulación, es decir, midiendo los lados y los ángulos interiores de los triángulos de la red con la ayuda de una "estación total electrónica" LEICA, modelo Wild TC 2002, que presenta una desviación típica de 1 mm. +1 ppm en la medición de distancias y de $1,5''$ en la medición de ángulos.

En el caso que nos ocupa, las mediciones se han efectuado con doble reiteración: en primer lugar, se llevó a cabo la primera medida de la distancia y los ángulos cenital y acimutal, repitiendo la operación realizando la maniobra de Bessel. A continuación, se vuelve a medir con el anteojo en posición normal, pero con el origen de ángulos fijado en el valor 100,00000g del limbo acimutal, operando a continuación como en el primer caso, es decir, volviendo a efectuar la maniobra de Bessel, o sea, con vuelta de campana del anteojo y giro de 200g del limbo acimutal del aparato. De este modo se obtienen cuatro medidas de las distancias y de los ángulos cenitales y acimutales.

4. MEDICIÓN GPS DE LA RED DE TRIANGULACIÓN

Una vez medida la red con ayuda de la "estación total electrónica", el siguiente paso fue efectuar una nueva medición haciendo uso de la técnica GPS, para lo cual el método operatorio utilizado fue el que se indica seguidamente.

Se estacionó un receptor en el vértice V7 (Castillo), manteniéndolo fijo durante todo el tiempo de medición y perfectamente orientado al NM, lo cual fue posible con la ayuda de una brújula. Esta orientación fue preciso realizarla con el fin de que el eje radioeléctrico de la antena se mantuviera siempre en la misma posición, para atenuar el error que se produce en el caso de que este eje y el del aparato no coincidieran en la misma posición.

El segundo aparato fue sucesivamente ubicado en cada uno de los vértices periféricos de la red, con el fin de medir las seis baselíneas que se forman con los mismos. El tiempo de medición fue de aproximadamente 15 minutos, con lo cual se duplicó el tiempo necesario para garantizar una buena precisión del proceso de medida, como consecuencia de que las baselíneas a medir tenían una distancia inferior a 5 Km.

Por otra parte, en todo momento se pudo disponer de una buena geometría de la constelación de satélites, con valores

de GDOP casi siempre inferiores a 5 - normalmente se obtuvieron valores entre 3 y 4 -, si bien es cierto que en casos muy puntuales y durante muy cortos intervalos de tiempo, el GDOP llegó a ser superior a 5.

El aparato se programó para recibir señales cada 15 segundos, con lo cual durante el tiempo de medición empleado se recibían como mínimo 60 grupos de datos de la constelación de satélites disponibles en ese momento. En este sentido, se despreciaban los datos aportados por los satélites cuya altura sobre el horizonte fuera inferior a 15° .

Otro aspecto importante que merece ser destacado fue que, con la única excepción del vértice V1 que dispone de un enmascaramiento a 300° respecto al NM por la existencia de un monumento religioso en sus proximidades, todas las demás mediciones pudieron ser realizadas sin ninguna dificultad al no existir barreras naturales o artificiales que pudieran apantallar el espacio aéreo existente en el entorno de cada uno de los vértices de la red diseñada.

Además, durante el proceso de medición se tomaron valores de las variables meteorológicas presión y temperatura, los cuales fueron introducidos en la unidad de control del aparato. Una vez finalizada la radiación GPS efectuada desde el vértice V7, se procedió a medir las baselíneas exteriores de la red, lo que se consiguió dejando fijo un aparato en un vértice y llevando el móvil a los dos vértices inmediatamente anterior y posterior a él.

5. CÁLCULO DE LAS COORDENADAS UTM DE LA RED A PARTIR DE LOS DATOS DE CAMPO

Las medidas efectuadas en campo hay que someterlas a un tratamiento matemático adecuado para referirlas a una única superficie de referencia. Las superficies más usuales a las que se han de referir los datos tomados serán: en primer lugar el elipsoide de revolución; y, en segundo lugar, el plano. Por ello, el tratamiento matemático de la información será aquél que permita referenciarla sobre un plano.

Para lograrlo, el trabajo topográfico debe pasar por las siguientes fases:

- Reducción de las medidas a la superficie del elipsoide.
- Paso del elipsoide al plano de proyección.

La reducción de las medidas a la superficie del elipsoide requiere aplicar una serie de correcciones a las distancias, desniveles y ángulos medidos en el campo.

Para el caso de las distancias, las correcciones a aplicar son: la meteorológica, que depende de la presión y la temperatura ambiental; la de esfericidad y refracción, que a su vez depende del coeficiente de refracción atmosférica; y la del paso al elipsoide, que depende de la altura elipsoidal a la que se haya efectuado la medida. En el caso que nos ocupa, las variables ambientales presión y temperatura se determinaron en el momento de las mediciones; el valor del coeficiente de refracción atmosférico, se tomó igual a 0,08, y las alturas elipsoidales se consideraron iguales a las ortométricas, al no poder disponer de aquéllas.

Por su parte, la corrección para los desniveles es fundamentalmente la debida a la refracción y esfericidad, para lo que también se tomó como valor del coeficiente de refracción el anteriormente indicado de 0,08.

En lo que se refiere a las correcciones a aplicar a los ángulos para el paso al elipsoide, dado su escaso valor no fueron tenidas en cuenta.

En otro orden de cosas, para pasar de las medidas sobre el elipsoide al plano de proyección, en el caso de las distancias se requiere conocer el valor medio del coeficiente k de escala de la proyección UTM, que se determina mediante la aplicación de fórmulas o uso de tablas. Sin embargo, para los ángulos es preciso conocer el valor de la reducción a la cuerda, cuyos valores se pueden obtener bien mediante fórmulas o a través de tablas.

Como resultado final, una vez ajustados convenientemente por el método de Mínimos Cuadrados los ángulos, distancias y desniveles, se obtienen las siguientes coordenadas UTM, X, Y y cota, para cada uno de los siete vértices de la red, expresadas en metros, tal como se expresa en la tabla 1.

Vértice	X (m)	Y (m)	Cota (m)
V1	268.154,541	4.807.737,787	636,800
V2	270.907,200	4.809.891,297	200,794
V3	270.518,780	4.811.421,168	213,885
V4	269.619,061	4.812.064,643	176,358
V5	267.399,845	4.810.716,811	272,347
V6	266.946,833	4.807.859,289	619,867
V7	268.055,332	4.809.338,173	420,905

Tabla 1.- Coordenadas UTM finales de los vértices.

También se procedió a calcular los residuos en distancia de cada uno de los lados de la red. El resultado de los mismos es el expresado en la tabla número 2.

Lado	Residuo (mm)
V1-V2	-1,9
V2-V3	-0,4
V3-V4	-0,4
V4-V5	-0,9
V5-V6	-1,8
V6-V1	-1,8
V7-V1	1,6
V7-V2	1,8
V7-V3	0,6
V7-V4	1,6
V7-V5	2,9
V7-V6	4,2

Tabla 2.- Residuos de distancias en milímetros.

6. CÁLCULO DE LAS COORDENADAS GPS DE LA RED DE TRIANGULACIÓN

6.1. CÁLCULO DE BASELÍNEAS

Para la determinación de las coordenadas GPS de los vértices de la red es necesario arrastrar las coordenadas desde al menos un vértice que disponga de coordenadas en dicho sistema. En el caso que nos ocupa, este vértice es el V1 "Paisano", al que se le han asignado coordenadas GPS del sistema EUREF-89 (Red de Orden cero de Europa Occidental), cuyos valores son los siguientes:

$$\lambda = 5^\circ 51' 49,11956'' \text{ W}$$

$$\varphi = 43^\circ 23' 5,34537'' \text{ N}$$

Cota elipsoidal: 690,065 m. (Referida al elipsoide WGS-84)

Las cotas están referidas a la parte superior del pilar cilíndrico del vértice geodésico.

Las coordenadas cartesianas espaciales correspondientes son las siguientes:

$$X = 4.618.899,358 \text{ m}$$

$$Y = - 474.354,899 \text{ m}$$

$$Z = 4.359.144,405 \text{ m}$$

El arrastre de las coordenadas GPS desde el vértice V1 se ha realizado calculando las diferencias de coordenadas ΔX , ΔY , ΔZ entre los puntos sobre los que situaron los aparatos de medición, con los siguientes parámetros y condiciones de cálculo:

- Ángulo de elevación: 15°
- Modelo troposférico: Hopfield
- Modelo ionosférico: estándar
- Efemérides: de navegación
- Datos usados: códigos y diferencia de fase
- Frecuencias: L1 y L2
- Límite para el cálculo de ambigüedades: 10 Km.

La precisión de las medidas puede quedar definida mediante la comparación de las coordenadas geodésicas obtenidas para el punto V4, que, como se puede observar, han sido calculadas por tres caminos diferentes, cuyas diferencias máximas en latitud, longitud y cota son: 3, 9 y 26 mm, respectivamente. Estos valores encajan perfectamente con la precisión esperada para los equipos de medida, que de acuerdo con las especificaciones técnicas de los mismos, en planimetría es de 5 mm + 1 ppm y en cota, de 5 mm + 2 ppm.

BASELINEA V7-V4

PUNTO DE REFERENCIA: V7

$\varphi = 43^{\circ} 23' 56,66254'' \text{ N}$

$\lambda = 5^{\circ} 51' 55,28157'' \text{ W}$

$h_E = 474,313 \text{ m.}$

COORDENADAS FINALES PUNTO V4:

$\varphi = 43^{\circ} 25' 27,05355'' \text{ N}$

$\lambda = 5^{\circ} 50' 50,67376'' \text{ W}$

$h_E = 229,420 \text{ m.}$

$\Delta\varphi = 1' 30,39101''$

$\Delta\lambda = 1' 4,60781''$

$\Delta h = -244,893 \text{ m.}$

$\sigma_{\varphi} = 0,0008 \text{ m.}$

$\sigma_{\lambda} = 0,0005 \text{ m.}$

$\sigma_h = 0,0014 \text{ m.}$

$\text{Distancia: } D = 3.155,273 \text{ m.}$

$\sigma_D = 0,0008 \text{ m.}$

BASELINEA V5-V4

PUNTO DE REFERENCIA: V5

$\varphi = 43^{\circ} 24' 40,95011'' \text{ N}$

$\lambda = 5^{\circ} 52' 27,18207'' \text{ W}$

$h_E = 325,605 \text{ m.}$

COORDENADAS FINALES PUNTO V4:

$\varphi = 43^{\circ} 25' 27,05363'' \text{ N}$

$\lambda = 5^{\circ} 50' 50,67392'' \text{ W}$

$h_E = 229,446 \text{ m.}$

$\Delta\varphi = 46,10352''$

$\Delta\lambda = 1' 36,50814''$

$\Delta h = -96,159 \text{ m.}$

$\sigma_{\varphi} = 0,0004 \text{ m.}$

$\sigma_{\lambda} = 0,0003 \text{ m.}$

$\sigma_h = 0,0008 \text{ m.}$

$\text{Distancia: } D = 2.597,648 \text{ m.}$

$\sigma_D = 0,0003 \text{ m.}$

BASELINEA V3-V4

PUNTO DE REFERENCIA: V3

$\varphi = 43^{\circ} 25' 7,21470'' \text{ N}$

$\lambda = 5^{\circ} 50' 9,73517'' \text{ W}$

$h_E = 267,006 \text{ m.}$

COORDENADAS FINALES PUNTO V4:

$\varphi = 43^{\circ} 25' 27,05366'' \text{ N}$

$\lambda = 5^{\circ} 50' 50,67349'' \text{ W}$

$h_E = 229,441 \text{ m.}$

$\Delta\varphi = 19,83896''$

$\Delta\lambda = 40,93832''$

$\Delta h = -37,565 \text{ m.}$

$\sigma_{\varphi} = 0,0004 \text{ m.}$

$\sigma_{\lambda} = 0,0003 \text{ m.}$

$\sigma_h = 0,0006 \text{ m.}$

$\text{Distancia: } D = 1.106,538 \text{ m.}$

$\sigma_D = 0,0004 \text{ m.}$

6.2. AJUSTE DE LA RED

A continuación, la siguiente fase del proceso consistió en el ajuste de las coordenadas de los vértices de la red, para lo cual, partiendo de las coordenadas obtenidas en el apartado anterior y teniendo en cuenta todas y cada una de las baselíneas concurrentes en cada vértice, con la condición de que la suma de los cuadrados de los residuos de las observaciones sea mínima, se puede resolver el problema por aplicación directa del método de Mínimos Cuadrados, para lo cual se ha considerado como fijo el vértice V1 ("Paisano") y se han tenido presentes los siguientes parámetros:

Tipo de ajuste: Con un punto fijo

Número de observaciones: 36 (12 baselíneas con 3 componentes cada una)

Número de incógnitas: 18 (6 vértices libres, con 3 incógnitas por vértice)

Grados de libertad: 18

En la tabla 3 se ilustra el ajuste realizado y se muestran los valores de los residuos de las baselíneas, entendiendo como tales las diferencias existentes entre el valor medido en el campo y el obtenido una vez realizado el ajuste.

Baselínea	$\delta\Delta\varphi$ (mm)	$\delta\Delta\lambda$ (mm)	$\delta\Delta h$ (mm)
V1-V2	4,3	-5,6	10,5
V1-V6	-5,2	4,4	-0,9
V1-V7	1,2	-0,6	-6,0
V7-V5	-1,6	5,4	2,1
V7-V4	3,5	0,3	20,8
V7-V3	-6,7	-1,0	-5,7
V7-V2	-3,9	3,7	-8,8
V7-V6	2,2	-3,9	2,9
V2-V3	3,4	-2,8	2,8
V6-V5	-1,1	-3,8	-18,2
V5-V4	0,5	2,8	-3,2
V3-V4	0,1	-2,2	-1,6

Tabla 3.-Valores de los residuos de las baselíneas en coordenadas geodésicas.

Por otra parte, en la tabla 4 se presentan los valores de las coordenadas geodésicas ajustadas para todos los vértices de

la red, indicando asimismo en milímetros los valores de las desviaciones típicas de la longitud, latitud y altura elipsoidal.

Vértice	λ	φ	h_E
V1	5° 51' 49,11956" W Fijo	43° 23' 5,34537" N Fijo	690,065 Fijo
V2	5° 49' 50,17440" W ± 3,3 mm	43° 24' 18,11134" N ± 3,8 mm	254,022 ± 7,6 mm
V3	5° 50' 9,73535" W ± 3,7 mm	43° 25' 7,21474" N ± 4,8 mm	267,001 ± 9,0 mm
V4	5° 50' 50,67377" W ± 3,7 mm	43° 25' 27,05370" N ± 4,8 mm	229,435 ± 9,8 mm
V5	5° 52' 27,18204" W ± 3,4 mm	43° 24' 40,95017" N ± 4,1 mm	325,597 ± 9,3 mm
V6	5° 52' 42,91513" W ± 2,7 mm	43° 23' 7,93165" N ± 3,6 mm	673,238 ± 6,9 mm
V7	5° 51' 55,28160" W ± 2,4 mm	43° 23' 56,66257" N ± 3,0 mm	474,308 ± 7,6 mm

Tabla 4.- Valores de las coordenadas geodésicas ajustadas.

Cabe mencionar, a la vista de los resultados obtenidos, que los valores de las desviaciones típicas mencionadas son similares para todos los puntos, siendo inferiores a medio centímetro para la latitud y la longitud, y menores de un centímetro para la cota, lo que se ajusta perfectamente al grado de precisión esperada.

7. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN PARA PASAR DEL SISTEMA GPS AL SISTEMA LOCAL EN COORDENADAS UTM

Para pasar del sistema GPS al sistema local utilizado en la zona es necesario disponer al menos de tres puntos con coordenadas conocidas en los dos sistemas. En el caso que nos ocupa, la red diseñada se compone de 7 vértices, cuyas coordenadas GPS han sido calculadas en el apartado anterior, mientras que las coordenadas locales han sido determinadas mediante triangulación-trilateración, tal y como se recoge en los epígrafes precedentes.

Por consiguiente, dado que se dispone de datos superabundantes, mediante el método de Mínimos Cuadrados es posible encontrar unos parámetros de transformación de tal modo que las diferencias existentes entre las coordenadas locales y las transformadas de las GPS sean mínimas.

Como se ha dicho anteriormente, los parámetros de transformación se determinaron aplicando el método de Mínimos

Cuadrados a los siete vértices de la red, cuyos resultados son los que se indican seguidamente.

Parámetros de transformación

Número de puntos comunes: 7

Parámetros de transformación y E.m.c. (Error medio cuadrático)

Parámetros	Valor	E.m.c.	Dim.
1 Desplazamiento C_x	102,881	0,0107	m
2 Desplazamiento C_y	105,734	0,0107	m
3 Desplazamiento C_z	128,340	0,0107	m
4 Rotación eje X	-1,157076	1,5103	["]
5 Rotación eje Y	-4,567624	1,7599	["]
6 Rotación eje Z	0,195723	1,4561	["]
7 Factor de escala	-2,616415	5,0386	[ppm]

Desviación típica a priori: 1,0000

Desviación típica a posteriori: 0,0283

Por otra parte, en la tabla siguiente se indican los valores de los residuos en coordenadas geodésicas con el fin de comprobar las deformaciones que se producen en la transformación. Dichos residuos se corresponden con las diferencias existentes entre las coordenadas calculadas por triangulación-trilateración y las obtenidas mediante mediciones GPS, y posteriormente transformadas con los parámetros obtenidos

Vértice	Latitud (m)	Longitud (m)	Altura (m)
V1	-0,0012	0,0091	-0,0336
V2	-0,0070	0,0028	-0,0240
V3	0,0076	-0,0007	0,0439
V4	0,0018	-0,0023	0,0106
V5	-0,0044	-0,0054	-0,0473
V6	-0,0048	-0,0004	0,0675
V7	0,0080	-0,0031	-0,0171

Tabla 5.- Residuos de coordenadas geodésicas en metros.

8. CONCLUSIONES

Como resultado de la observación y análisis de los datos anteriormente indicados, se puede decir que, en general, los residuos obtenidos son pequeños, no sobrepasando sus valores de 1 centímetro en cuanto a latitud y longitud se refiere. Sin embargo, en las alturas se alcanzan valores de casi 7 centímetros, lo cual es consecuencia de dos factores: en primer lugar, por efecto de la ondulación del geoide en la zona y en segundo lugar, debido a los errores cometidos durante la medición topográfica convencional de los desniveles.

En lo que se refiere a los parámetros obtenidos en la transformación, se puede observar lo siguiente:

- Los giros respecto a los ejes X y Z son de escaso valor sin embargo, respecto al eje Y, alcanza un valor cercano a los

-5 segundos, lo cual es consecuencia de la ondulación del geode, cuya componente principal es coincidente con la dirección N-S.

- Por lo que respecta al factor de escala, se puede decir que también ofrece un valor bastante pequeño, que parece estar dentro del orden de magnitud esperado para un trabajo realizado dentro de un área territorial de poca extensión superficial.

9. BIBLIOGRAFÍA

- (1) BEUTLER, G; HEIN, G.W.; MELBOURNE, W.G; SEEBER, G: GPS Trends in Precise Terrestrial, Airborne, and Spaceborne Applications. Symposium N° 115 Boulder. Colorado. USA. 1995.
- (2) CATURLA SANCHEZ DE NEIRA, J.L.: Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Instituto Geográfico Nacional. Madrid, 1987.
- (3) FERRER TORIO, R.; PIÑA PATON, B.; NUÑEZ - GARCIA DEL POZO, A.; VALBUENA DURAN, J. L.; MARTINEZ LOPEZ, I.: Distanciometría Electrónica de Alta Precisión. Universidad de Cantabria. Santander, 1994.
- (4) FERRER TORIO, R.; NUÑEZ - GARCIA DEL POZO, A.; PIÑA PATON, B.; VALBUENA DURAN, J. L.; MARTINEZ LOPEZ, I.: Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Universidad de Cantabria. Curso de verano, Laredo, 1991.
- (5) HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J.: GPS Theory and Practice. Springer-Verlag Wien. New York, 1992.
- (6) GOAD, C.C.; REMONDI, B.W.: Initial relative positioning results using Global Positioning System. Bulletin Geodesique, 58, 1984.
- (7) KLEUSBERG, A; TEUNISSEN, P.J.G.: GPS for Geodesy. Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 60. 1996.
- (8) LEICK, A.: GPS Satellite Surveying. John Wiley and Sons. New York, 1990.
- (9) MARTIN ASIN, F: Geodesia y Cartografía matemática. Ed. Paraninfo. Madrid. 1989.
- (10) MIKHAIL, M; ACKERMAN, F.: Observations and least squares. Dun-Donneley Publisher. New York, 1976.
- (11) NUÑEZ-GARCIA DEL POZO, A.; VALBUENA DURAN, J.L.; VELASCO GOMEZ, J.: G.P.S. La Nueva Era de la Topografía. Ed. Ciencias Sociales, S.A.. Madrid, 1992.

" LA TIENDA VERDE "

C/ MAUDES N° 38 - TLF. 534 32 57
C/ MAUDES N° 23 - TLF. 535 38 10
Fax. 533 64 54 - 28003 MADRID

"LIBRERIA ESPECIALIZADA EN CARTOGRAFIA, VIAJES Y NATURALEZA"

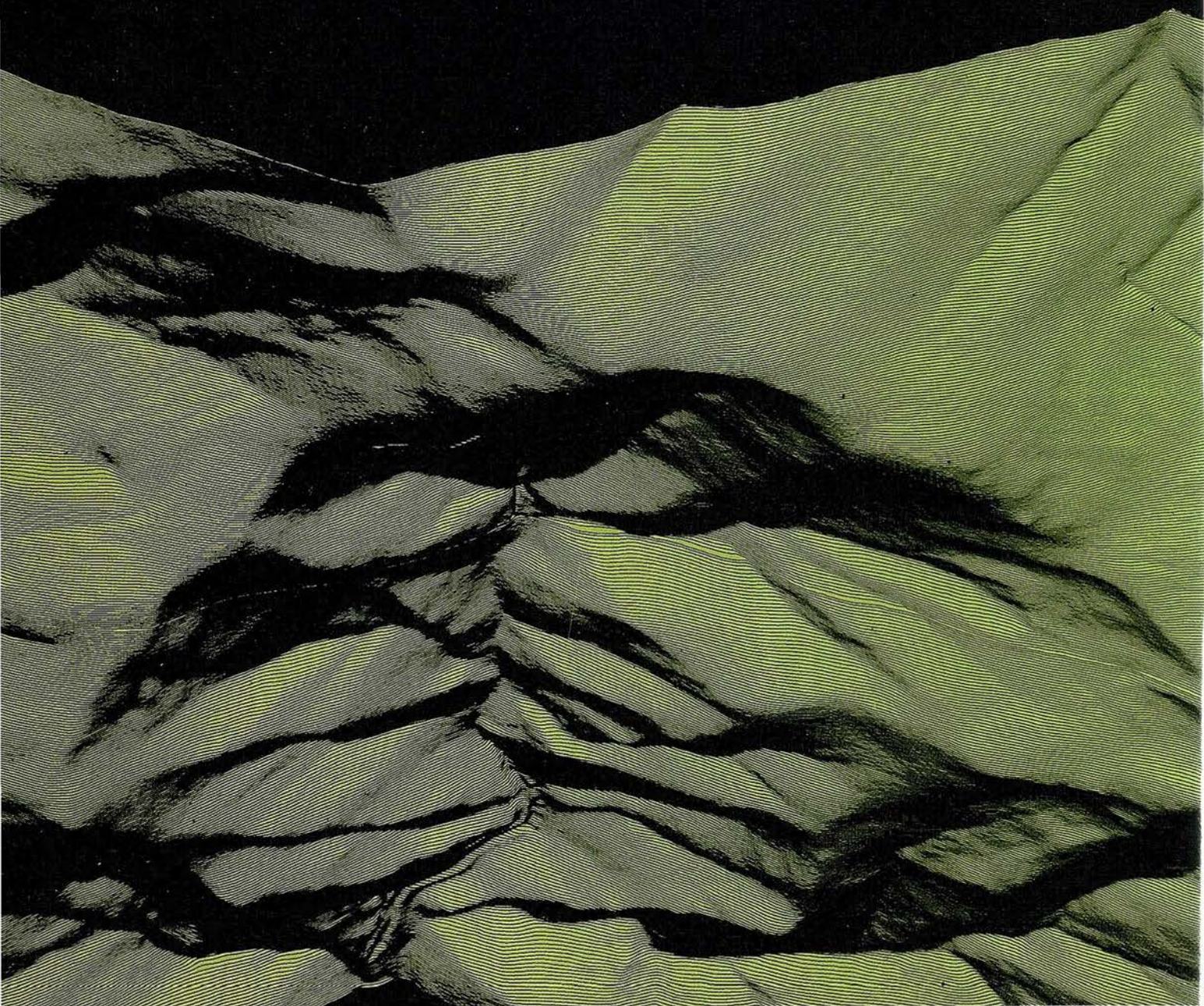
- MAPAS TOPOGRAFICOS: S.G.E. I.G.N.
- MAPAS GEOLOGICOS.
- MAPAS DE CULTIVOS Y APROV.
- MAPAS AGROLOGICOS.
- MAPAS DE ROCAS INDUSTRIALES
- MAPAS GEOTECNICOS.
- MAPAS METALOGENETICOS.
- MAPAS TEMATICOS
- PLANOS DE CIUDADES.
- MAPAS DE CARRETERAS.
- MAPAS MUNDIS.
- MAPAS RURALES.
- MAPAS MONTADOS EN BASTIDORES.
- FOTOGRAFIAS AEREAS.
- CARTAS NAUTICAS.
- GUIAS EXCURSIONISTAS.
- GUIAS TURISTICAS.
- MAPAS MONTAÑEROS.

"VENTA DIRECTA Y POR CORRESPONDENCIA"

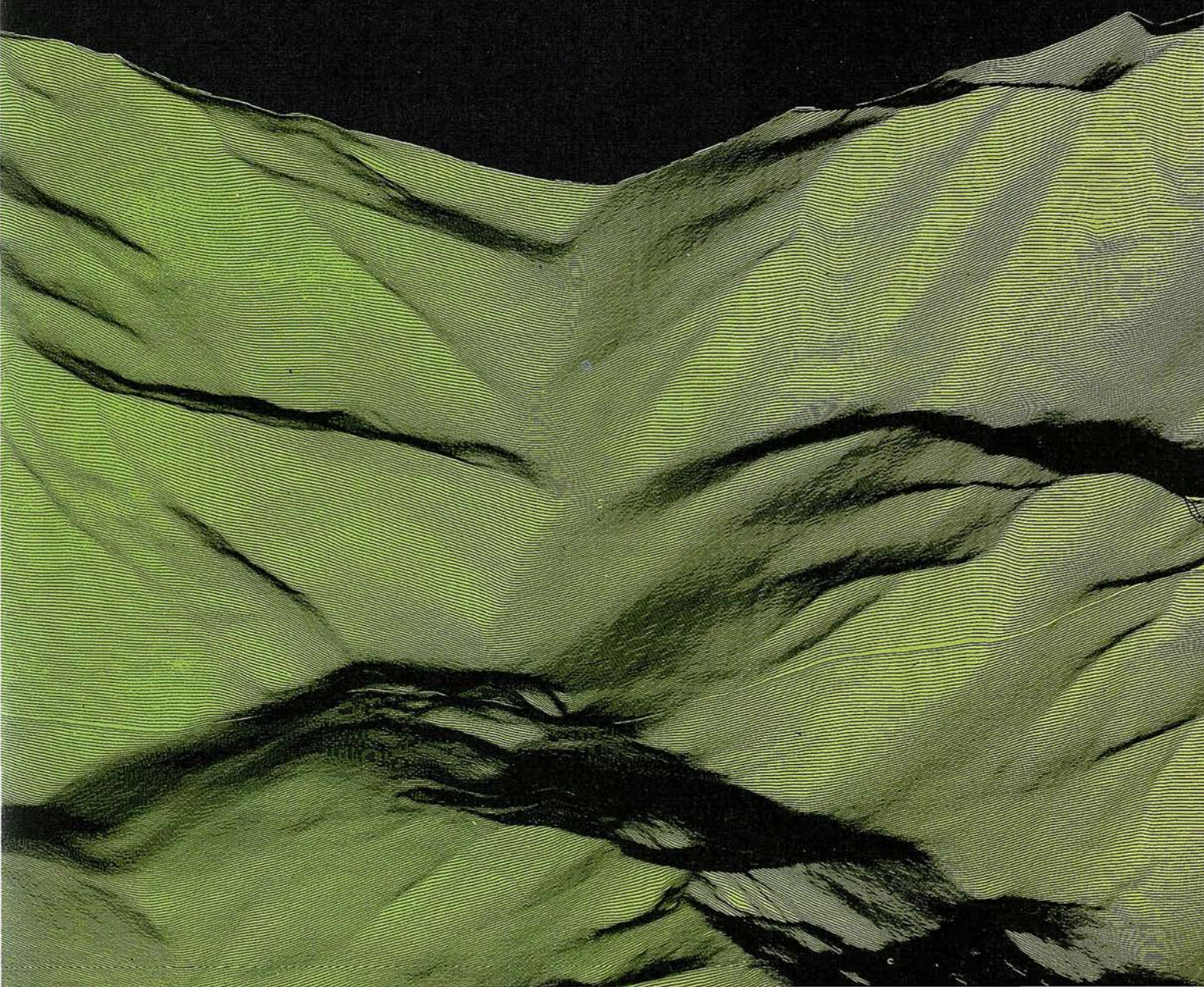
"SOLICITE CATALOGO"



Avenida de América, 49 – 28002 MADRID
Tel. (91) 415 03 50



**Fotografía Aérea. Laboratorio Industrial.
Topografía. Cálculos. Restitución Analítica.
Ortofotografía. Cartografía.
Tratamientos Informáticos. Catastro.
Teledetección. Gis.**



VISUALIZADOR GRATUITO DE IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

ENVI FREELook

La empresa ESTUDIO ATLAS es distribuidor exclusivo para toda España del programa IDL, lenguaje para visualización, análisis de datos, y tratamiento de imágenes digitales. Además de IDL, Estudio Atlas también distribuye la aplicación de IDL diseñada para trabajar con imágenes de satélites, llamada ENVI.

A partir de este momento, Estudio Atlas pone a disposición de todas las personas interesadas en visualizar imágenes de satélites, una versión reducida de ENVI. Esta versión de ENVI es totalmente gratuita y por ello la llamamos ENVI Freelook.

ENVI Freelook le proporcionará una visualización básica de calidad, para una gran variedad de imágenes. ENVI Freelook le permitirá trabajar con facilidad, constituyendo una solución perfecta para al problema de la distribución de imágenes ráster (teledetección, ortoimágenes, etc).

ENVI Freelook puede ser utilizado desde todo tipo de hardware (Windows en todas sus versiones, Macintosh, Linux, Unix.....). ENVI Freelook es capaz de manejar imágenes sin límite de tamaño en máquinas con pocos recursos, gracias a su eficiente algoritmo de 'tiling'

ENVI Freelook permite la visualización de gran cantidad de formatos: formato ENVI; Landsat; SPOT; AVIRIS; Planetary Data System; Radarsat; GeoTIFF; TIFF; JPEG; cualquier fichero raster "plano" (BIL, BIP y BSQ); e imágenes radar almacenadas en matrices complejas dispersas, incluyendo JPL AIRSAR y SIR-C



ENVI Freelook utiliza el modelo de visualización de ENVI, consistente en 3 ventanas: Ventana de scroll, que muestra la imagen completa en una pequeña ventana; ventana de imagen principal, que muestra una porción de imagen a resolución completa y ventana de zoom, que muestra una parte de la ventana principal con factor de ampliación seleccionable. Todo el manejo del programa se realiza a través de interfaz gráfica, usando el ratón.

En la actual versión de ENVI Freelook podrá realizar operaciones como:

- Ver el conjunto de bandas de los ficheros que han sido abiertos, permitiendo visualizar bandas en escala de grises o combinaciones RGB de tres bandas a seleccionar.
- Escoger entre estiramientos lineal, lineal 2%, ecualización o raíz cuadrada.

- Realizar 3 filtros básicos: pasa altos, pasa bajos y detector de bordes.
- Visualizar la firma espectral del píxel que se seleccione.
- Medir distancias entre puntos o a lo largo de polilíneas, medidas tanto en píxeles como en coordenadas geográficas.
- Ver la posición del cursor (filacolumna y geográfica) y su valor, a medida que nos desplazamos por la imagen.
- Y contará con una ayuda on-line.

Todo esto lo obtendrá de forma totalmente gratuita conectándose, vía Internet, a la WEB de ESTUDIO ATLAS, cuya dirección es: <http://www.sarenet.es/atlas>, o poniéndose en contacto con nosotros en el 945-298080.



LANZAMIENTO A NIVEL MUNDIAL PARA LA VENTA EXCLUSIVA EN ESPAÑA

"Vegas Robaina" es la nueva marca de Habanos que la Corporación Habanos S.A. y Comercial Iberoamericana S.A., su representante exclusivo para el mercado español, han querido presentar, por primera vez y mundialmente en España, principal mercado consumidor de Habanos.

La marca ha sido denominada con el nombre de la propiedad de uno de los mejores cosecheros de tabaco de Cuba, el Sr. Don Alejandro Robaina; quien procede de una familia de vegueros establecida en la región del macizo tabacalero de San Luis, perímetro de Cuchillas de Barbacoa a mediados del siglo pasado, lugar donde se encuentran las mejores vegas finas y de tabaco para capa de la región de Vuelta Abajo en Pinar del Río.

Esta marca constituye el reconocimiento a la labor de los agricultores Vueltabajeros y en especial al Sr. Alejandro Robaina por los logros obtenidos durante todos estos años.

Un exquisito vitolario, compuesto por cinco formatos seleccionados entre los más demandados internacionalmente forman parte de la marca "Vegas Robaina", Doble Corona, Coronas, Cervantes, Pirámides y Hermosos No. 4 (vitola similar a un Robusto).

Elaborados totalmente a mano, utilizando las mejores hojas de Vuelta Abajo y en especial aquellas que se cultivan en el macizo de San Luis, conforman la ligada. La capa procede únicamente de la famosa Vega de Don Alejandro Robaina, cuyo suelo y los cuidados especiales a que es sometida garantizan una calidad inigualable.

La marca se produce en la fábrica H. Upmann, una de las más antiguas y prestigiosas fábricas de Cuba, por los torcedores más experimentados.

Don Alejandro es un pequeño agricultor que atiende con dedicación las tierras heredadas de sus ancestros, de inigualables características para el cultivo del tabaco, logrando de ellas el 30% de la capa exportable que produce la provincia de Pinar del Río, convirtiéndose así en una leyenda asociada a el Habano que se perpetúa con esta nueva marca.



NOTICIAS INTERGRAPH

INTERGRAPH PRESENTÓ EL PASADO MES DE JUNIO EN EXPOGEOMÁTICA-97 LAS SOLUCIONES AVANZADAS EN GIS Y CARTOGRAFÍA

GeoMedia es el primer Sistema de Información Geográfica del mercado basado en la Tecnología Júpiter y para entornos Windows

- * GeoMedia es el primer Sistema de Información Geográfica del mercado capaz de incorporar datos complejos, como los característicos de la información Geográfica en Internet.
- * Los responsables de producción cartográfica podrán asistir durante estas jornadas a la presentación de dispositivos estándares de impresión para flujos de trabajo en aplicaciones cartográficas, productos de publicación cartográfica y flujos de publicación con Map Publisher sobre Windows NT.
- * Oracle e Intergraph celebran en el evento el seminario sobre "Técnicas de Gestión y Exploración de Datos Espaciales", donde presentarán soluciones conjuntas, tales como el nuevo estándar Spatial Data Option (SDO). Mediante SDO, GeoMedia de Intergraph puede integrar datos geográficos y corporativos, de forma transparente, en un único sistema de información.

Intergraph presentó en el evento su nuevo sistema de explotación de bases corporativas de datos geográficos GeoMedia, así como soluciones de publicación cartográfica sobre Windows NT. GeoMedia responde cada vez a la mayor

necesidad de las empresas de manejar y procesar datos de diversas fuentes -ofimáticos, técnicos y geográficos- en un único puesto de trabajo.

Así, GeoMedia aglutina datos de diversas fuentes y proveedores, de forma que el usuario puede efectuar análisis de datos de varios tipos y formatos simultáneamente. Igualmente, permite visualizar los datos en su formato nativo, sin necesidad de traducción.

Seminarios

Los responsables de producción cartográfica podrán asistir durante estas jornadas a la presentación de dispositivos estándares de impresión para flujos de trabajo en aplicaciones cartográficas, productos de publicación cartográfica y flujos de publicación con Map Publisher sobre Windows NT. Todo ello con ejemplos prácticos en las jornadas de puertas abiertas de Expogeomática'97 y durante las conferencias a cargo de Intergraph y Oracle.

Oracle e Intergraph celebrarán, además, el seminario sobre "Técnicas de Gestión y Exploración de Datos Espaciales", donde se presentarán las soluciones en las que ambas empresas trabajan conjuntamente, tales como el nuevo estándar Spatial Data Option (SDO). Mediante SDO, GeoMedia de Intergraph puede integrar datos geográficos y corporativos, de forma transparente, en un único sistema de información.

Oracle SDO permite gestionar de forma efectiva los datos ofimáticos (corporativos) y los datos espaciales (geográficos) en una base unificada, reduciendo los requerimientos de procesamiento del sistema. Al tiempo, elimina la complejidad de la coordinación y sincronización que generaba, hasta ahora, el almacenamiento disperso a que debían someterse los datos heterogéneos.

GeoMedia actúa como cliente geográfico de Oracle SDO, lo que hace posible la implementación de una nueva interfaz geográfica de usuario más intuitiva

y sencilla, junto a la gestión de topología en tiempo real. Así, el usuario puede incorporar información de otras fuentes en un entorno geoespacial, es decir, sin necesidad de aplicar sistemas de traducción de los datos.

INTERGRAPH ACERCA AL USUARIO CORPORATIVO NUEVAS POSIBILIDADES EN MANEJO DE DATOS PARA LA TOMA DE DECISIONES

GeoMedia permite el acceso y análisis de datos complejos procedentes de los Sistemas de Información Geográfica

- * La nueva versión GeoMedia 1.0 de Intergraph -presentada en la reunión anual de usuarios de Intergraph- es el primer Sistema de Información Geográfica del mercado que permite el acceso directo a los archivos nativos procedentes de otros Sistemas de Información Geográfica, incluido Arc/Info, sin necesidad de traducir los datos.
- * Javier Valdés, Director General de Intergraph España, "GeoMedia ofrece alta capacidad en los sistemas de soporte a la toma de decisiones. Al extender la funcionalidad de Windows para soportar aplicaciones geográficas, GeoMedia acerca la información disponible en los SIG a los ordenadores personales de acerca la información disponible en los SIG a los ordenadores personales de profesionales no especializados".

Intergraph, empresa líder en el desarrollo de software para la gestión empresarial, ha diseñado su nueva generación de productos de Sistemas de Información Geográfica -GIS- que simplifican el manejo y almacenamiento de datos espaciales¹ en grades sistemas.

1 Se denominan datos especiales a los datos representados como imágenes bidimensionales o tridimensionales.

La nueva versión **GeoMedia 1.0** de **Intergraph** -presentada en la reunión anual de usuarios de **Intergraph**- es el primer Sistema de Información Geográfica del mercado que permite el acceso directo a los archivos nativos procedentes de otros Sistemas de Información Geográfica, incluido **Arc/Info**, sin necesidad de traducir los datos. De esta forma, **GeoMedia** reduce los costes y tiempos tradicionalmente requeridos para acceder y analizar datos espaciales.

Según **Javier Valdés**, Director General de **Intergraph España**, "*GeoMedia ofrece una capacidad sin precedentes en los sistemas de soporte a la toma de decisiones disponibles para la mayoría de usuarios. Al extender la funcionalidad de Windows para soportar aplicaciones geográficas, GeoMedia acerca la información disponible en los SIG a los ordenadores personales de profesionales no especializados.*"

Máxima potencia integrada

GeoMedia confirma el liderazgo de **Intergraph** en la utilización de **SDO (Universal Server Spatial Data Option)** de **Oracle** para el proceso avanzado de datos espaciales, aprovechando toda la capacidad de una base de datos relacional en el manejo de este tipo de información.

Mediante la integración de **GeoMedia** con **Spatial Data Option** de **Oracle**, **Intergraph** proporciona una potente herramienta para el acceso y análisis de datos espaciales. **Oracle Spatial Data Option** simplifica el almacenamiento, control y administración de grandes volúmenes de datos espaciales en entornos relacionales. **GeoMedia**, por su parte, hace posible el análisis y presentación final para el acceso directo a las capacidades de **Spatial Data Option**.

Oracle e **Intergraph** han estado trabajando en estrecha colaboración, desde 1996, en este proyecto de integración. Asimismo, la combinación en **GeoMedia** de la tecnología **Júpiter** orientada a objetos con herramientas geográficas y modelos **OLE/COM**, proporciona una potencia analítica suficiente para los requerimientos de muchas aplicaciones,

adaptándose a las necesidades de diversos flujos de trabajo.

Sistemas personalizados

GeoMedia permite a los usuarios personalizar sus sistemas mediante una amplia variedad de aplicaciones con herramientas estándares como **Visual Basic**, **Visual C++**, **PowerBuilder**, **Delphi**, **Excel**, **FoxPro** y **Access**.

GeoMedia trabaja conjuntamente con **Microsoft Windows NT** y **Windows 95**, asegurando la completa compatibilidad con otros productos **Windows**.

INTERGRAPH IMPULSA EL PRIMER CONSORCIO DE DESARROLLADORES DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

OpenGIS persigue la interoperabilidad de la información geoespacial en entornos empresariales complejos

* **Javier Valdés**, Director General de **Intergraph España**, "*esta cooperación sin precedentes entre los desarrolladores y, a la vez, competidores ha abierto nuevas e interesantes posibilidades para los usuarios de Sistemas de Información Geográfica, que ya no tendrán que depender de una fuente de datos única. Estamos satisfechos de haber desempeñado un papel de liderazgo en la iniciativa Open-GIS, que contribuirá a ampliar las capacidades de las actuales tecnologías geoespaciales*".

* El nuevo consorcio **OpenGIS** desarrollará soluciones conjuntas y estándar para satisfacer la actual demanda de especificaciones procedentes de los profesionales de la ingeniería.

Intergraph, empresa líder en el desarrollo de software para la gestión empresarial, ha impulsado la formación y puesta en marcha del **Consortio OpenGIS**, que agrupa a los distribuidores de **GIS -Sistemas de Información Geográfica-**, con el objetivo de desarrollar soluciones conjuntas y estándar que respondan a las especificaciones demandadas por los profesionales de la ingeniería.

El **Consortio OpenGIS** tiene como principal objetivo conseguir la interoperabilidad de la información geoespacial en entornos empresariales complejos.

El **Consortio OpenGIS** está formado por las compañías **Autometric**, **Camber**, **ESRI**, **Informix**, **Laser-Scan**, **MapInfo**, **Mitre** y **Smallworld** que, junto a **Intergraph**, desarrollarán soluciones específicas para el campo del diseño en ingeniería. Estas soluciones implementarán los componentes de geometría simple de las especificaciones **OpenGIS** para lograr una mayor distribución de las plataformas informáticas, como **OLE/COM**, **CORBA**, **Internet** y **ODBC**.

El **Consortio OpenGIS** tiene previsto dar respuesta a las demandas planteadas por los profesionales para la adaptación de la industria **GIS** a los estándares para la interoperabilidad de datos geográficos mediante la arquitectura **OLE/COM**.

Durante años, los usuarios de tecnologías de software de **GIS** han demandado a la industria una mayor flexibilidad en los formatos de archivos, con el fin de disponer de soluciones de software para entornos mixtos. Con esta iniciativa, la industria da respuesta para solucionar los principales obstáculos que impedían la interoperabilidad real entre plataformas.

De esta forma, el **Consortio OpenGIS** contribuirá también a consolidar el mercado de soluciones de información geográfica, ampliando las actuales posibilidades de las tecnologías geoespaciales. Además, los desarrollos del **Consortio OpenGIS** proporcionarán a los usuarios mayor flexibilidad en sus **Sistemas de Información Geográfica**, incrementando su aplicación en cualquier entorno corporativo.

RESEÑA DEL DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE COMPENSACIÓN EN BLOQUE "COBLO" Y TAREAS DE ACTUALIZACIÓN

José E. Juliá, Griselda Luccioni y María E. Marquetti
Universidad Nacional de Tucumán, Argentina

Resumen

Se reseña el desarrollo del Programa de Compensación en Bloque por Modelos Independientes COBLO, y se describen las formulaciones matemáticas de las distintas versiones. En particular, se analiza las diferencias más significativas entre la Compensación por Modelos Independientes y por Haces de Rayos, resaltándose las ventajas de esta última en la confección de Ortofotografías. Se pone de manifiesto la drástica mejora en la eficiencia comparando los tiempos de procesamiento en los viejos y en los nuevos sistemas de computación, haciéndose hincapié en el uso de COBLO en computadora personales. Finalmente, se menciona la posibilidad de nuevos desarrollos.

1. Introducción

Distintas versiones de los programas COBLO han alcanzado una difusión interesante. Las primeras versiones operativas datan del año 1979 y los primeros usuarios en la Argentina fueron El Servicio de Hidrografía Naval y la Universidad Nacional de San Juan y, en el Reino Unido de la Gran Bretaña, la Universidad de Glasgow y la empresa Story and Partners.

El programa COBLO fue desarrollado en los últimos años de la década del '70 en una computadora IBM 1620 que ya resultaba obsoleta por entonces. Las fuertes limitaciones de esa computadora, principalmente en lo concerniente a su exigua memoria RAM, dificultaban en demasía la confección del programa, al punto de haberse considerado en varias oportunidades la idea de abandonar el proyecto. Otros desarrollos similares habían sido encarados en computadoras mucho más potentes [1]. Sin embargo, fueron estas mismas dificultades las que a la postre posibilitaron una interesante ventaja del programa COBLO: sus escasos requerimientos de memoria central, a pesar de la gran cantidad de datos que maneja y del tamaño excesivamente grande de los sistemas de ecuaciones que resuelve.

En el año 1979 la Universidad de Tucumán jubiló su vieja computadora IBM 1620 y adquirió un potente equipo VAX 11/780. Si bien con este equipo podía trabajarse con una memoria RAM considerablemente mayor, se prefirió continuar trabajando con la mínima memoria central posible puesto

que por esa época comenzaban a aparecer en el mercado las primeras microcomputadoras. La idea de completar un programa riguroso de compensación en bloque que pudiera procesarse en esas computadoras pequeñas y económicas era realmente atractiva.

A partir de 1983, varias versiones de COBLO pudieron ser implementadas con facilidad en microcomputadoras como la Radio Shack Mod. III, por ejemplo, y, posteriormente, en las hoy tan difundidas computadoras personales, las cuales han experimentado un desarrollo tan vertiginoso, que procesar un programa de compensación en bloque en alguna de ellas resulta mucho más rápido que en muchos de los viejos y costosos equipos.

2. Compensación en Bloque por Modelos Independientes

En el año 1975 la Biblioteca de nuestra Facultad adquirió los tres tomos del "Handbuch de Vermessungskunde" [4]. En esta obra se encontraba por primera vez el tratamiento matemático completo de la solución de la Planimetría del método Anblock. Estaba tan claramente expuesto, que la posibilidad de escribir un Programa de Computación para la Compensación por Modelos Independientes, según Mínimos Cuadrados, no aparecía como una idea descabellada. Si bien la solución de la Altimetría no estaba en la citada obra, ésta pudo ser elaborada siguiendo el modelo de la Planimetría. Con ambas soluciones se pudo preparar las primeras versiones de los programas COBLO (acrónimo de Compensación en Bloque). Estas estaban basadas en clásica separación entre la Planimetría (4 incógnitas) y la Altimetría (3 incógnitas) y se denominaron COBLO 4-3. Posteriormente se elaboró la solución Espacial que resuelve de manera simultánea las 7 incógnitas de la orientación absoluta de cada modelo, la cual se denominó COBLO 7. El programa COBLO 7 incorporó gradualmente algunas mejoras importantes, como una rutina de reordenamiento de modelos para la minimización del Ancho de Banda de las Ecuaciones Normales Reducidas, y otra para la Detección Automática de Errores Groseros, dando lugar a la versión COBLO 7RER. En esta versión, al comienzo, se realiza una iteración planimétrica para conseguir los valores aproximados necesarios para las iteraciones espaciales. También se desarrolló en el año 1988 una versión para la Compensación por Haces de Rayos, COBLO HR, la cual se usó sólo para trabajos de la cátedra [7]. Al contrario de lo que ocurrió con distintas versiones de COBLO por Modelos Independientes, no se intentó difundir la versión COBLO HR,

puesto que la Compensación por Haces de Rayos era usada, en ese entonces, solamente por Universidades e Institutos de Investigación. Sin embargo, la Compensación por Haces de Rayos adquiere en este último tiempo también un importante significado práctico por las ventajas que ofrece para confeccionar Ortofotos, las cuales han experimentado, como se sabe, un importantísimo auge en virtud de la alta calidad y economía que alcanzaron los procedimientos de la Fotogrametría Digital.

Por razones de espacio, se presentan en este trabajo sólo las ecuaciones de observación de la Planimetría, de la Altimetría y de la Solución Espacial. En ellas, U, V, W , son coordenadas de terreno; X, Y, Z , son coordenadas de modelo, y los valores v son las correcciones según la notación usual en mínimos cuadrados. Las Ecuaciones Normales Reducidas se indican esquemáticamente. Un tratamiento completo de este tema puede encontrarse en [9]

2.1. Planimetría

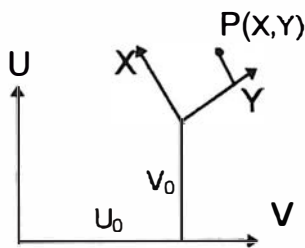


Fig. 1

Cada punto j del modelo i origina las siguientes Ecuaciones de Observación. En puntos de control terrestre, U_{ij}, V_{ij} están como término independiente; en puntos desconocidos U_{ij}, V_{ij} son incógnitas. Los centros de perspectiva no intervienen en la compensación. La solución planimétrica utiliza ecuaciones lineales y, por lo tanto, no necesita valores aproximados de las incógnitas.

$$\begin{aligned} U_{ij} + v_{Uij} &= X_{ij} a_i + Y_{ij} b_i + c_i \\ V_{ij} + v_{Vij} &= Y_{ij} a_i - X_{ij} b_i + d_i \end{aligned} \quad (1)$$

donde:

$$a_i = \lambda_i \cos \kappa_i \quad b_i = \lambda_i \sin \kappa_i \quad c_i = U_0 \quad d_i = V_0$$

κ_i es el ángulo entre los ejes X y U en el modelo i .
 λ_i es el factor de escala del modelo i .

2.2. Altimetría

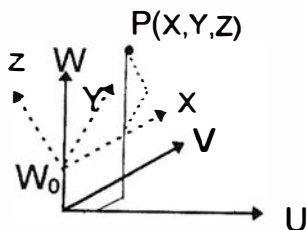


Fig. 2

$$\begin{aligned} U_{ij} + v_{Uij} &= Z_{ij} f_i + X_{ij} \\ V_{ij} + v_{Vij} &= -Z_{ij} e_i + Y_{ij} \end{aligned} \quad (2a)$$

Las Ecuaciones de Observación (2. a) valen sólo para los centros de perspectiva j del modelo i , siendo U_{ij}, V_{ij} , en este caso, incógnitas.

Para todos los puntos vale la siguiente ecuación, en la cual W_{ij} forma parte del término independiente en los puntos de control y figura como incógnita en los puntos desconocidos.

$$W_{ij} + v_{Wij} = -X_{ij} f_i + Y_{ij} e_i + g_i + Z_{ij} \quad (2b)$$

donde:

$$\begin{aligned} e_i &= d\omega_i & d\omega_i, d\varphi_i, & \text{son valores pequeños de } \omega_i, \varphi_i, \text{ (ver fig. 8).} \\ f_i &= d\varphi_i \\ g_i &= W_{0i} \end{aligned}$$

2.3. Solución Espacial

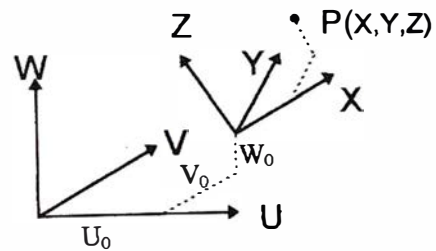


Fig. 3

$$\begin{aligned} U_{ij} + v_{Uij} &= X_{ij} a_i + Z_{ij} b_i - Y_{ij} d_i + e_i \\ V_{ij} + v_{Vij} &= Y_{ij} a_i - Z_{ij} c_i + X_{ij} d_i + f_i \\ W_{ij} + v_{Wij} &= Z_{ij} a_i - X_{ij} b_i + Y_{ij} c_i + g_i \end{aligned} \quad (3)$$

donde:

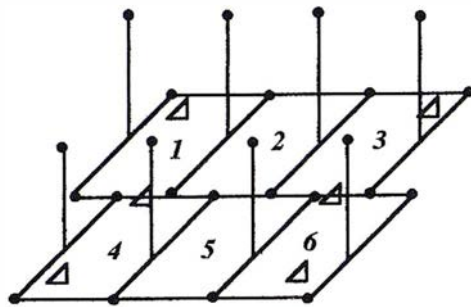
$$\begin{aligned} a_i &= \lambda_i & c_i &= \lambda_i d\omega_i & e_i &= U_{0i} & g_i &= W_{0i} \\ b_i &= \lambda_i d\varphi_i & d_i &= \lambda_i d\kappa_i & f_i &= V_{0i} & \lambda_i &= \text{factor de escala} \\ & & & & & & & \text{del modelo } i \end{aligned}$$

En esta solución los centros de perspectiva son tratados de la misma manera que los puntos desconocidos. Análogamente a lo que sucede en los casos anteriores, U_{ij}, V_{ij}, W_{ij} , serán términos independientes o incógnitas según se trate de puntos de control terrestre o desconocidos, respectivamente.

2.4. Ecuaciones Normales Reducidas

Las Ecuaciones de Observación formadas a partir de las (1), (2) o (3), constituyen un sistema de ecuaciones que contiene, por un lado, incógnitas de orientación (por modelo: 4 para la planimetría, 3 para la altimetría y 7 para la solución espacial) y, por el otro, las incógnitas correspondiente a las coordenadas de los puntos desconocidos (por punto: 2 para la planimetría, 1 para la altimetría, salvo los centros de perspectiva que tienen 3, y 3 para la solución espacial). Esos sistemas tienen en general más ecuaciones que incógnitas, por lo cual es corriente aplicar la Compensación por Mínimos Cuadrados. Las Ecuaciones Normales resultantes de esa compensación tienen una estructura muy particular que permite eliminar fácilmente un grupo de incógnitas, que en general es el grupo de las coordenadas de los puntos desconocidos. El sistema resultante se denomina Ecuaciones Normales Reducidas y toma la forma:

$$R_{ij} \cdot t = h \quad (4)$$



- △ Punto de control terrestre
- Punto desconocido

Fig. 4

$R_{1,1}$	$R_{1,2}$	0	$R_{1,4}$	0	0
	$R_{2,2}$	$R_{2,3}$	$R_{2,4}$	$R_{2,5}$	0
		$R_{3,3}$	0	$R_{3,5}$	$R_{3,6}$
			$R_{4,4}$	$R_{4,5}$	0
				$R_{5,5}$	$R_{5,6}$
					$R_{6,6}$

t_1
t_2
t_3
t_4
t_5
t_6

 $=$

h_1
0
h_3
h_4
0
h_6

Fig. 5

Para el pequeño bloque de la fig. 4, las Ecuaciones Normales Reducidas correspondientes a la solución espacial se muestran en la fig.5. En estas ecuaciones, las submatrices $R_{i,q}$ son de 4 x 4 para la Planimetría, 3 x 3 Para la Altimetría y 7 x 7 para la Solución Espacial, y los subvectores t_i y h_i son de 4 x 1, 3 x 1 y 7 x 1, respectivamente. Los subvectores t_i contienen las incógnitas de orientación de cada modelo y los subvectores h_i son los términos independientes. Sólo son no cero las submatrices $R_{i,q}$ de la diagonal y las correspondientes a los modelos i,q que tienen puntos comunes, por ejemplo, $R_{1,1}, R_{1,2}, R_{1,4}$, etc. Los subvectores h_i serán cero si el modelo no tiene puntos de control terrestre. De esta manera, en este tipo de ecuaciones habrá una gran cantidad de submatrices cero, algo que no se aprecia en el bloque de la fig. 4, en el cual, por ser muy pequeño, no se pone de manifiesto la típica estructura en forma de banda de las Ecuaciones Normales Reducidas.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

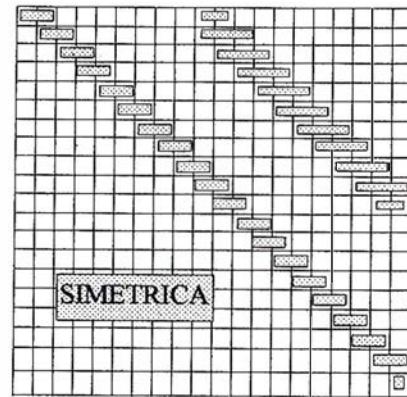


Fig. 6: Bloque numerado longitudinalmente y Ecuaciones Normales Reducidas resultantes.

1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

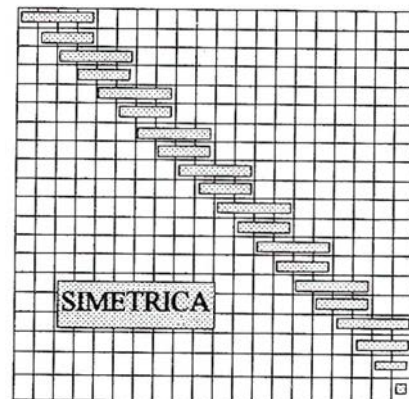
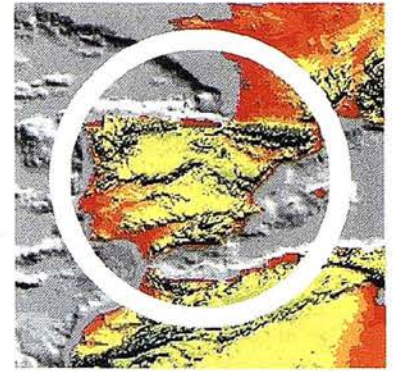
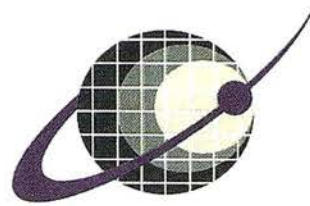


Fig. 7: Bloque numerado perpendicularmente a la dirección de vuelo y Ecuaciones Normales Reducidas resultante.

La estructura en forma de banda aparece, en cambio, nítidamente en las figuras 6 y 7 para un bloque de 20 modelos y 2 pasadas. En ambas figuras puede observarse también la gran influencia de la numeración de los modelos en el ancho de banda de las Ecuaciones Normales Reducidas. Para los bloques usuales (pocas y largas pasadas), convendrá numerar los modelos perpendicularmente a la dirección de vuelo porque así se conseguirá un ancho de banda mínimo, lo cual posibilitará importantes economías de tiempo de computación, dado que el tiempo necesario para resolver un sistema de ecuaciones lineales, en matrices con forma de banda, crece con el cuadrado del ancho de banda.

Las últimas versiones de COBLO cuentan con una rutina de reordenamiento de modelos para la obtención de un mínimo ancho de banda. Esa rutina es en realidad un subproducto de la rutina de establecimiento de las conexiones entre modelos, que utiliza los números de identificación de los puntos de enlace, y determina qué puntos unen qué modelos, y qué modelos están unidos entre si por un determinado punto. Estas conexiones resultan esenciales para calcular las submatrices $R_{i,q}$ de manera directa a partir del archivo de datos del bloque,



IBERSAT S.A.
PIONEROS EN ESPAÑA
EN TELEDETECCION

NUESTROS
SERVICIOS Y PRODUCTOS

- AGRICULTURA
- MEDIO AMBIENTE
- ORDENACION DEL TERRITORIO.

- GEOLOGIA
- PROCESOS EROSIVOS
- EXPLORACION MINERA.

- MODELOS DIGITALES DEL TERRENO.

- CALIDAD DE AGUAS LITORALES.

- CARTOGRAFIA TEMATICA
- INTEGRACION GIS - DBMS.

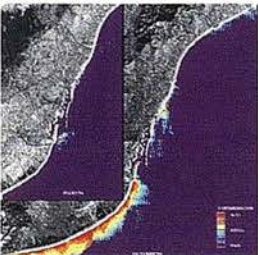
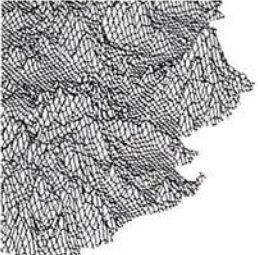
- SOFTWARE DE ULTIMA GENERACION PARA EL PROCESADO DIGITAL DE IMAGENES. Vers. UNIX y PC.

- SISTEMA DE TRATAMIENTO DE IMAGENES Y CREACION DE MAPAS.

- IMAGENES DE SATELITE: LANDSAT, TIROS/NOAA, ERS, JERS, MOS, etc.

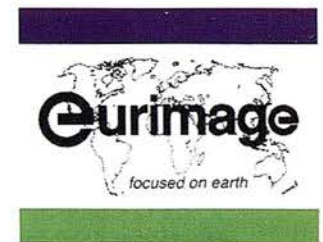
- IMAGENES RUSAS DE LAS LANZADERAS RESOURS F. (hasta 2 metros de resolución)

- QUICK LOOKS **ON LINE** VIA INTERNET



ER Mapper

Helping people manage the earth



puesto que los elementos de dichas submatrices se calculan como sumatoria de funciones de las coordenadas de todos los puntos comunes a los modelos i, q .

En el año 1984, las ecuaciones normales reducidas de la solución espacial fueron modificadas para incluir la posibilidad de una compensación robusta que permite la detección y eliminación automática de errores groseros, dando nacimiento a la versión COBLO 7RER, que es la que continúa distribuyéndose hasta el presente. En esta versión se emplean las funciones de reducción de pesos propuestas por Juhl [5], las cuales permiten, mediante un sistema de premios y castigos de los pesos de las observaciones, el aislamiento y la eliminación de los errores groseros, siempre que la geometría del bloque y la redundancia existente sean adecuadas [8]. Desde hace algún tiempo, en los procedimientos de detección de errores groseros se aconseja el uso de puntos dobles, tanto para los de enlace como para los de control, porque de esa manera hay una buena correspondencia entre los residuales de la compensación y los errores. En un libro de Kraus [2] puede encontrarse una justificación matemática de este tema.

Las fórmulas (1), (2) y (3) muestran un aspecto importante de la Compensación por Modelos Independientes desde un punto de vista práctico: No se necesitan valores aproximados para las coordenadas de los puntos desconocidos. En cuanto a los valores aproximados para los elementos de la Orientación Absoluta de cada modelo, en la planimetría no son necesarios por tratarse de una solución lineal (fórmula (1)), mientras que en la altimetría, las fórmulas (2 a) y (2 b) son válidas para ω, φ próximos a cero, que es la situación que se presenta casi con exclusividad en los relevamientos aéreos. En la solución espacial, fórmulas (3), vale lo dicho para κ, λ , y para determinar valores aproximados de (y, z) , resulta muy práctico llevar a cabo, antes, una compensación planimétrica.

3. Compensación en Bloque por Haces de Rayos

En la Compensación en Bloque por Haces de Rayos, las ecuaciones de observación se forman mediante las ecuaciones de colinealidad (5); ver fig. 8.

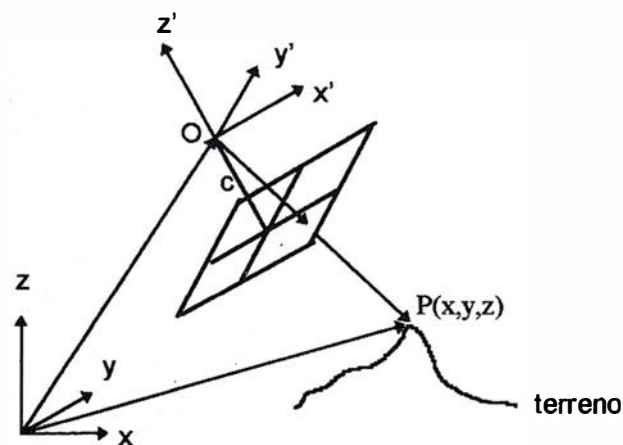


Fig. 8: Los ejes x', y' , son paralelos a las líneas que conectan las marcas fiduciales. Los ángulos ω, φ, κ , son los formados por x', y', z' con x, y, z con la secuencia, ω primario, φ secundario, κ terciario; c es la distancia principal.

$$x'_{ij} = -c \frac{a_{11}(x_{ij} - x_{0i}) + a_{12}(y_{ij} - y_{0i}) + a_{13}(z_{ij} - z_{0i})}{a_{31}(x_{ij} - x_{0i}) + a_{32}(y_{ij} - y_{0i}) + a_{33}(z_{ij} - z_{0i})} \quad (5)$$

$$y'_{ij} = -\theta \frac{a_{21}(x_{ij} - x_{0i}) + a_{22}(y_{ij} - y_{0i}) + a_{23}(z_{ij} - z_{0i})}{a_{31}(x_{ij} - x_{0i}) + a_{32}(y_{ij} - y_{0i}) + a_{33}(z_{ij} - z_{0i})}$$

donde los coeficientes a son los elementos de la matriz ortogonal A según la fórmula que sigue:

$$A = \begin{bmatrix} \cos\varphi \cos\kappa & -\cos\varphi \sin\kappa & \sin\varphi \\ \cos\omega \sin\kappa + \sin\omega \sin\varphi \cos\kappa & \cos\omega \cos\kappa - \sin\omega \sin\varphi \sin\kappa & -\sin\omega \cos\varphi \\ \sin\omega \sin\kappa - \cos\omega \sin\varphi \cos\kappa & \sin\omega \cos\kappa + \cos\omega \sin\varphi \sin\kappa & \cos\omega \cos\varphi \end{bmatrix}$$

Los valores x'_{ij}, y'_{ij} , son las coordenadas del punto j del fotograma i , medidas en dicho fotograma y referidas a su punto principal; los valores $x_{0i}, y_{0i}, z_{0i}, \omega_i, \varphi_i, \kappa_i$, son los seis parámetros de la orientación exterior del fotograma i , mientras que x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} , son las coordenadas del punto en el terreno.

Como las (5) no son lineales, su linealización conduce a las siguientes expresiones:

(6)

$$x'_{ij} + vx_{ij} = (x'_{ij})_0 + a_{11j} dx_{0i} + b_{11j} dy_{0i} + c_{11j} dz_{0i} + d_{11j} d\omega_i + e_{11j} d\varphi_i + f_{11j} d\kappa_i - a_{11j} dx_{ij} - b_{11j} dy_{ij} - c_{11j} dz_{ij} \quad y'_{ij} + vy_{ij} = (y'_{ij})_0 + a_{21j} dx_{0i} + b_{21j} dy_{0i} + c_{21j} dz_{0i} + d_{21j} d\omega_i + e_{21j} d\varphi_i + f_{21j} d\kappa_i - a_{21j} dx_{ij} - b_{21j} dy_{ij} - c_{21j} dz_{ij}$$

donde: los valores vx_{ij}, vy_{ij} son las correcciones a las observaciones; los coeficientes a_{11j} hasta f_{11j} y a_{21j} hasta f_{21j} son las derivadas de las funciones x'_{ij}, y'_{ij} con respecto a las variables $x_{0i}, y_{0i}, z_{0i}, \omega_i, \varphi_i, \kappa_i, x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}$. Los valores $dx_{0i}, dy_{0i}, dz_{0i}, d\omega_i, d\varphi_i, d\kappa_i$, son correcciones a los valores aproximados adoptados para los parámetros de la orientación exterior, y los valores $dx_{ij}, dy_{ij}, dz_{ij}$, son también correcciones a los valores aproximados de las coordenadas de los puntos desconocidos. Por último, $(x'_{ij})_0, (y'_{ij})_0$, son los valores que toman las funciones x'_{ij}, y'_{ij} para los valores aproximados de las incógnitas. Por razones de espacio no se presentan las expresiones de las derivadas, varias de las cuales son excesivamente extensas.

Las ecuaciones de observación (6) para cada punto ij del bloque se forman de la siguiente manera: Para puntos con coordenadas de terreno conocidas, $dx_{ij}, dy_{ij}, dz_{ij}$, son tomados iguales a cero; si los puntos son desconocidos, las correcciones a los valores aproximados adoptados para sus coordenadas, $dx_{ij}, dy_{ij}, dz_{ij}$, son consideradas como incógnitas.

El tratamiento matemático de la compensación por haces de rayos es similar al de modelos independientes. Las Ecuaciones Normales Reducidas son del tipo de las (4) y contienen solamente las incógnitas de las orientaciones exteriores de todos los fotogramas. Conocidas esas orientaciones, las incógnitas correspondientes a las coordenadas de los puntos desconocidos se calculan fácilmente.

Sin embargo, las (6) muestran claramente que en la Compensación por Haces de Rayos, resulta imprescindible contar

con el conocimiento de valores aproximados de las incógnitas, tanto para los parámetros de la orientación exterior como para las coordenadas de los puntos desconocidos. Para los giros ω_i , φ_i , κ_i , no hay mayores problemas puesto que, tratándose de fotografías casi verticales, ω_i , φ_i , pueden ser tomados iguales a cero, y κ_i será, en general, conocido. Los valores aproximados de los centros de perspectiva x_{0i} , y_{0i} , z_{0i} , y los valores aproximados de las coordenadas de los puntos desconocidos, x_{ij} , y_{ij} , z_{ij} , ofrecen, en cambio, un problema que debe ser resuelto con trabajo adicional previo. Una posibilidad es la formación analítica de todas las pasadas del bloque, lo cual puede resultar engorroso. Kraus [3] recomienda formar analíticamente los modelos y someterlos a una compensación por modelos independientes, algo que resulta mucho más práctico y sencillo.

5. Modelos Independientes versus Haces de Rayos

La Compensación en Bloque por Haces de Rayos ha estado por mucho tiempo circunscripta a Universidades y Centros de Investigación. Las empresas privadas, dotadas hasta hace poco con instrumentos analógicos principalmente, no tenían gran interés en adquirir mono o estéreo-comparadores, que son los instrumentos idóneos para la medición de coordenadas sobre el fotograma. Estos instrumentos nunca tuvieron un costo reducido y en una empresa sólo resultaban aptos para las tareas de Aerotriangulación. El restituidor analógico, en cambio, era el instrumento esencial en la actividad privada, y dado que con él se puede obtener solamente coordenadas de modelo, no es ninguna sorpresa que el método preferido haya sido el de los modelos independientes.

Con el advenimiento de los Restituidores Analíticos, esta situación cambia bastante, puesto que con ellos se puede obtener coordenadas de modelo o de fotograma con igual facilidad. Sin embargo, muchos usuarios del campo privado siguen prefiriendo la compensación por modelos independientes, a pesar de ser potencialmente más precisa la compensación por haces de rayos. Esta actitud se explica, en parte, por la gran facilidad del manejo de datos en la compensación por modelos independientes. Prácticamente, los datos que salen del instrumento son ingresados, sin más, en el programa de compensación. Esto último no es posible en la compensación por haces de rayos, la cual, según se ha visto, necesita el conocimiento de valores aproximados de las incógnitas. Si bien los valores aproximados para las incógnitas correspondientes a las orientaciones exteriores son fáciles de estimar para vuelos de fotografía vertical, los valores iniciales de las coordenadas de los puntos desconocidos deben ser obtenidas por un proceso previo, tal como se indica en el punto anterior. Además, para muchos trabajos de la práctica, la posible ganancia en precisión que implicaría la utilización de la compensación por haces de rayos no resulta significativa. Por último, el tiempo de proceso puede llegar a ser apreciablemente mayor [12].

En la actualidad, en los albores de la Fotogrametría Digital, los procedimientos por haces de rayos adquieren una singular importancia en la confección de Ortofotos, un producto que ya ha alcanzado una gran difusión. En este caso, resulta esencial contar los valores de la orientación exterior de cada fotograma, los cuales pueden obtenerse directamente de la compensación por haces de rayos. Si se empleara modelos independientes, la obtención de los valores de las orientaciones exteriores debería efectuarse por un proceso adicional que podría resultar algo engorroso.

6. Requerimientos de hardware y tiempos de procesamiento

Durante los años '60 y '70, los requerimientos de hardware y los tiempos de procesamiento eran los verdaderos problemas de la compensación en bloque. Muchos de los programas disponibles requerían importantes y onerosas computadoras. A manera de ejemplo, en el libro de Schwidofsky - Ackermann del año 1976 [12], se considera que sólo se podía trabajar razonablemente bien a partir de un piso que se fijaba en una computadora IBM 370/145.

Procedimientos simplificados, como los de compensación por polinomios [11], eran menos exigentes y, por lo tanto, alcanzaron gran difusión a pesar de sus importantes limitaciones. También encontraron uso procedimientos basados en soluciones iterativas de los sistemas de ecuaciones, los cuales imponían pocos requisitos de hardware pero implicaban exagerados tiempos de procesamiento. En algunos casos se dejaba la computadora trabajando durante la noche. En una importante empresa privada inglesa, aún en 1979, se seguía empleando un método iterativo porque el procedimiento resultaba "uno de los métodos más efectivos de procesar bloques grandes en computadoras pequeñas" [10].

Las primeras versiones de COBLO, desarrolladas durante la segunda mitad de la década del '70 en una computadora IBM 1620 con una memoria central muy limitada, pudieron ser instaladas sin dificultad en las computadoras personales compatibles, y aun en sus antecesoras, las "home computers", como la Radio Shack Mod. III, por ejemplo. Algunos tiempos de procesamiento en distintas máquinas son los siguientes [6]: En 1984, en una computadora VAX 750 de la Empresa Municipal de Informática de Palma de Mallorca, un bloque de 40 modelos tratado con COBLO 7RER (4 pasadas de 10 modelos, 1 iteración planimétrica más 2 espaciales) tardaba seis minutos de tiempo CPU. Un bloque de 100 modelos (10 pasadas de 10 modelos e igual número de iteraciones que el caso anterior) tomaba 15 minutos de tiempo CPU y 48 minutos de tiempo total en una computadora VAX 11/780.

Con las primeras computadoras personales (PC), los tiempos de procesamientos continuaban siendo importantes, pero ese problema ha desaparecido prácticamente si se

piensa en las más modernas. Desde la XT hasta las nuevas Pentium, la eficiencia ha aumentado considerablemente, quedando estancada en las siguientes ejemplos: trabajando en una PC 386 con coprocesador matemático y 8 Mby de RAM, con 1 iteración planimétrica más 2 espaciales, 100 modelos (10 pasadas) tomaron 24 minutos de tiempo total. Ese mismo ejemplo en una 486 DX4 100 con 16 Mby de RAM, empleando FORTRAN 77 tardó 80 segundos ¡apenas algo más de un minuto! y en una Pentium 120 Mhz, empleando FORTRAN 90 ¡tan sólo 25 segundos! de tiempo total.

En un bloque considerablemente más grande, de unos 500 modelos en 10 bandas, la misma cantidad de iteraciones que los ejemplos anteriores tomó 13 minutos en la DX4 100 (FORTRAN 77), mientras que en la Pentium 120, con FORTRAN 90, fueron necesarios tan sólo 3 minutos de tiempo total.

En la detección automática de errores groseros, son necesarias dos o tres iteraciones más, algo que podría haber resultado muy gravoso diez años atrás, pero que no ofrece ningún problema con los tiempos de procesamiento detallados en el párrafo anterior.

Tareas de actualización

Del FORTRAN II y el FORTRAN IV de las primeras versiones de COBLO, se pasó a las versiones para PC del Lahey FORTRAN 77 y del Lahey FORTRAN 90, obteniéndose significativas mejoras.

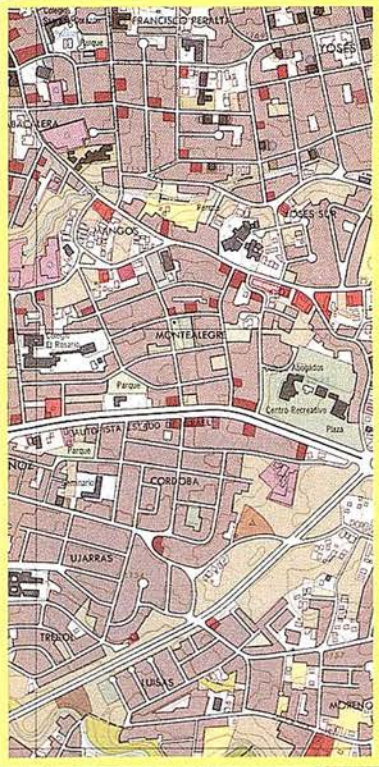
El programa COBLO HR, usado sólo para trabajos de la cátedra [7], está actualmente en una etapa de revisión y optimización en vista de la ya señalada importancia de este tipo de compensación en bloque en la confección de Ortofotos. También está en preparación un software apropiado para la obtención de los valores aproximados necesarios para la compensación por Haces de Rayos. Este, partiendo de coordenadas de fotograma, obtendrá coordenadas de modelo en un formato tal que podrán ser leídas por COBLO 7RER, cuyos resultados, a su vez, podrán ser admitidos directamente por COBLO HR.

Otra posibilidad más ambiciosa es el desarrollo de un software de Aerotriangulación Digital. Si bien este software puede ser completamente independiente del de la compensación, consistiendo solamente en la transferencia y medición por procesos digitales, también puede pensarse en un sistema en el cual la compensación en bloque sea parte integrante de todo el sistema digital y opere simultáneamente con las rutinas de transferencia de puntos y medición de coordenadas. Procediendo de esta manera, se logra, entre otras cosas, una eficaz posibilidad de detección de transferencias erróneas de puntos y de otros tipos de errores groseros. Un proyecto de investigación de acuerdo a estos lineamientos comenzará a desarrollarse en el marco de una tesis de doctorado de Serafín López Cuervo y Medina de la Universidad Politécnica de Madrid.

Referencias

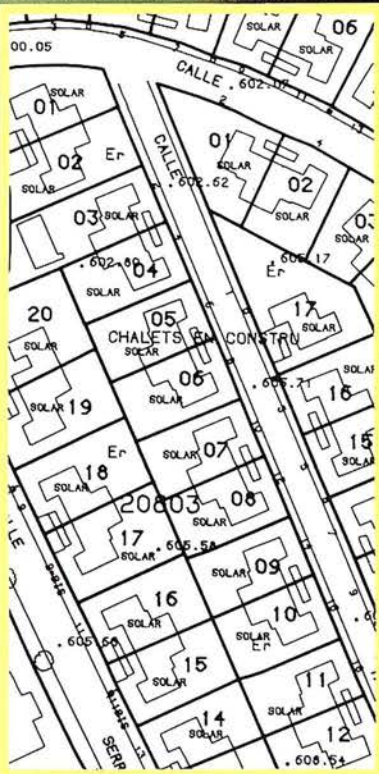
- [1] Ackermann F.: Numerische Photogrammetrie - Zwischenbilanz einer intensiven Entwicklung. Numerische Photogrammetrie, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1973.
- [2] Kraus K.: Photogrammetrie, Band 2: Theorie und Praxis der Auswertesysteme. Dümmler Verlag, Bonn, 1987.
- [3] Kraus K.: Photogrammetry, Volume 1: Fundamentals and Standard Processes. Dummler Verlag, Bonn, 1992.
- [4] Jordan, Eggert, Kneissl: Handbuch der Vermessungskunde. Band III a3. J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1972.
- [5] Juhl J.: The Danish Method of Weight Reduction for Gross Errors Detection. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXV, Part A3a, Commission III, Rio de Janeiro, 1984.
- [6] Juliá J. E.: Developments with the COBLO Block Adjustment Program. The Photogrammetric Record, Vol. XII, London, October 1986.
- [7] Juliá J. E., Lizana C., Williams W., Rolle E.: Feasibility of using Auxiliary Data from an Inertial Navigation System for Aerial Triangulation. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol 27, Supplement, XVI I.S.P.R.S. Congress, Kyoto, 1988.
- [8] Juliá J. E.: Puntos de Enlace y de Control en la Aerotriangulación: Cuántos ?, Dónde ?. Trabajo presentado en el VII Congreso de la Asociación Argentina de Fotogrametría, Mendoza, 1990.
- [9] Juliá J. E.: Fotogrametría Analítica. Publicación de la Fundación Conde del Valle Salazar, Madrid, 1992.
- [10] Leatherdale J. D. and Keir K. M.: Digital Methods of Map Production. Photogrammetric Record, Vol. IX No. 54, London, 1979.
- [11] Schut G. H.: A FORTRAN Program for the Adjustment of Strips and of Blocks by Polynomial Transformation. AP-PR, National Research Council, Ottawa, 1967.
- [12] Schwidofsky K., Ackermann F.: Photogrammetrie: Grundlagen, Verfahren und Anwendungen. B. G. Teubner, Stuttgart 1976.

LA PRECISION ES NUESTRO LEMA



TOPOGRAFIA

CARTOGRAFIA DIGITAL



CATASTRO

DIGITALIZACION



Técnicas
Cartográficas
Reunidas

López de Hoyos, 78 Dpdo.
Tel.: 562 19 23
Fax.: 562 23 03
28008 MADRID

MSIG. MÁSTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA UN AÑO DESPUÉS

En Octubre del pasado año comenzó el primer Máster en Sistemas de Información Geográfica impartido en España y ahora, a finales del mismo, vamos a analizar los resultados obtenidos (a nivel personal y técnico).

Cibernos Consulting, S.A., empresa de reconocido prestigio en nuestro sector, se ha encargado de llevar adelante esta nueva posibilidad de formación avanzada y ha creado técnicos en S.I.G. dentro de un amplio grupo multidisciplinar.

Es destacable el hecho de la **ubicación del aula en el mismo núcleo de la empresa**. No se ha dotado un "apartado externo" para formación exclusivamente. Los alumnos disponen de su espacio de trabajo y a la vez están directamente en contacto con el personal y el ambiente de trabajo de la empresa. Los recursos empleados en formación son excelentes (pc's pentium 150 Mhz con 32 Mb de RAM y 1'2 GB de disco duro) y el software actualizado, de marcas punteras (Esri, Intergraph, Smallworld, Oracle, Microsoft, etc). El profesorado está compuesto de profesionales de los S.I.G. (Jefes de Proyectos, Consultores, Analistas, Directivos de Empresas...) con amplia experiencia.

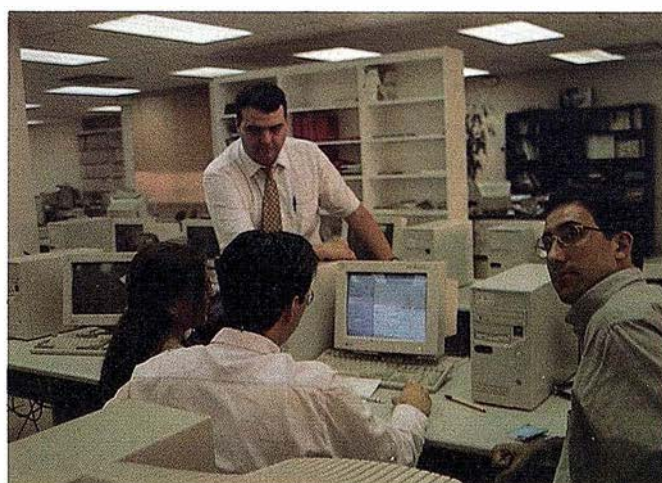
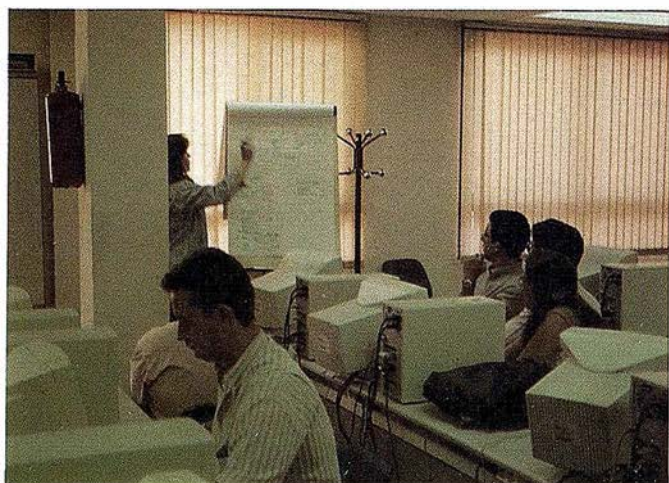
Hablamos con los responsables del desarrollo del Máster y llegamos a la conclusión de que se ha logrado un importante avance en el enfoque clásico de la formación en S.I.G. En Cibernos se preparan personas relacionadas o no, previamente, con el mundo de la informática para poder afrontar proyectos en S.I.G. No se busca un conocimiento pleno de un producto deter-



minado sino una formación extensa en varios sistemas (más cercana a la consultoría) que en el futuro permitirá al alumno decidirse entre uno u otro sistema en función de las circunstancias del proyecto que afronte, analice o gestione.

El perfil tipo del alumno de este Máster es "licenciado reciente, estudiante de último curso o profesional informático". No existe una especialidad fija, aunque se percibe una mayoría de Licenciados en Geografía.

Los alumnos de esta promoción que, según el equipo docente, tienen un porcentaje alto de posibilidades de conseguir este título (único hasta la fecha, recordamos) son los relacionados en la siguiente lista, por especialidades:



BIÓLOGOS

- Esther Pérez Asensio
- Francisco Javier Martín Jiménez
- José Ramón Molina Moreno

DELINEANTES/CARTOGRAFÍA

- Amador Alejandro Fernández García
- José Ángel del Campo Rodríguez

GEÓGRAFOS

- Alejandra Pazos Cosse
- Begoña Carro Pérez
- Ignacio Munitiz San Martín
- Jacinto Álvarez del Vas
- M^a Luz Martín Seco
- Pablo Najarro de la Parra

GEÓLOGOS

- Bernardo Mateu Camargo
- Juan José Antona Alcalde
- Rufino Manuel de Andrés Rubio

INFORMÁTICOS

- José Cob López
- Luis Francisco López de Ulibarri

INGENIEROS AGRÓNOMOS

- Francisco Javier Revuelta Coruña

TOPÓGRAFOS

- Pilar Olivares García

La mayoría entraron con una base informática reducida (salvo excepciones) y, tras preguntarles sobre el tema, obtuvimos las siguientes respuestas:

“Al terminar la carrera veía mi futuro en las listas del INEM. Ahora trabajo en S.I.G. y veo muchas posibilidades” (Rufino de Andrés).

“Este Máster me ha proporcionado los conocimientos necesarios para poder trabajar en S.I.G.” (Ignacio Munitiz).

“Hay que trabajar mucho, además de las clases, pero da su fruto” (Begoña Carro).

“Es muy interesante conocer tanta alta tecnología” (José Angel del Campo).

“Son las herramientas con más proyección de futuro. Voy a proponer su implantación en mi empresa” (José Cob).

“Cibernos te acerca al mundo de los S.I.G. con un enfoque práctico ante todo, en un intento de introducirte en el mercado laboral” (Esther Pérez).

“Me gustaría ver aún más S.I.G. y ahora, sobre todo, poder aplicarlo en un proyecto” (M^a Luz Martín).

“Los S.I.G. me han abierto nuevos horizontes y perspectivas profesionales” (opinión compartida por Jacinto Álvarez, Bernardo Mateu y Luis Francisco López)

“Es una oportunidad única de ampliar conocimientos” (José Ramón Molina).

En general, la opinión sobre la formación recibida es positiva y realmente se deja notar que se está hablando con conocedores y expertos en S.I.G.

Fuimos conocedores de los métodos de control de calidad empleados durante el curso y consideramos importante dejar patente su alto nivel de exigencia. Gran parte del éxito obtenido en MSIG se debe a la objetividad de los alumnos y personal en sus críticas y sugerencias y a la importancia que una empresa de la categoría de Cibernos Consulting, S.A. da a la calidad y a los modos de acercarse y obtener calidad total en sus servicios.

¿Qué ocurrirá este año? ¿Habrà Máster en S.I.G. para 1997-1998? Si. Además se han dotado más plazas y se han renovado métodos, equipos, software, documentación, etc. para mejorar aún más la calidad de la enseñanza impartida.

Resumiendo: Ya tenemos los primeros Máster en S.I.G. Su formación es variada y adaptada a sus carreras de origen. No sólo son informáticos sino “Licenciados y Profesionales con extensa base y conocimientos de los S.I.G.”

¡Desde aquí felicitamos a los alumnos y a Cibernos Consulting por dicho éxito!

Para mayor información:
CIBERNOS CONSULTING, S.A.
 C/ Vizconde de Matamala, 7
 28028 - Madrid

Tfno.: 91 3557603 ext. 27 Fax: 91 3563910

LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN IDL

IMPORTANTES MEJORAS EN LA NUEVA VERSIÓN 5.0

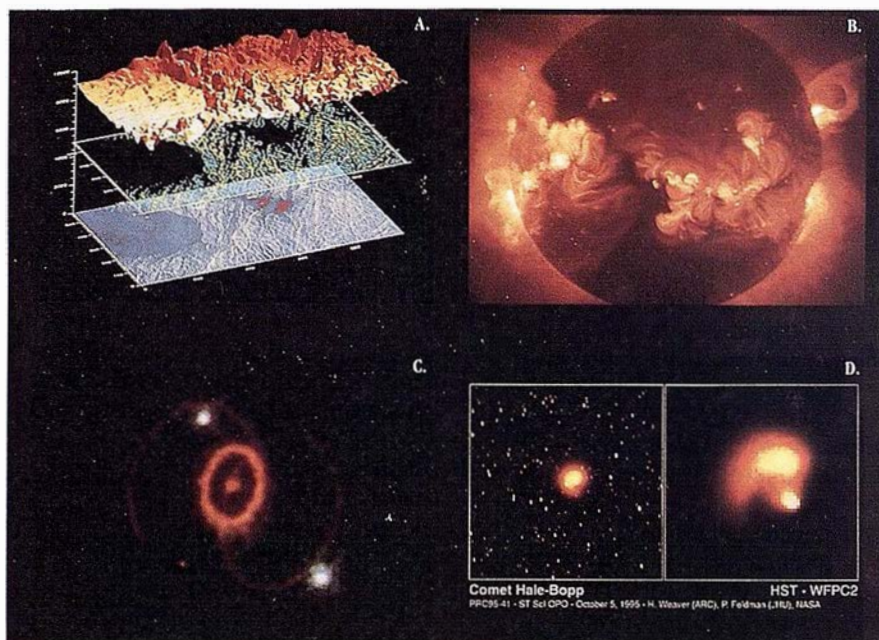
ESTUDIO ATLAS, empresa situada en el Parque Tecnológico de Miñano, Álava, fundada en 1990 y con más de 35 empleados; es distribuidor exclusivo del lenguaje de programación IDL.

IDL es un lenguaje de programación de cuarta generación, orientado a objetos, para el análisis y visualización interactivo de datos científicos y de ingeniería. Desde 1977 el lenguaje IDL es ampliamente utilizado por toda clase de científicos e ingenieros, que encuentran en IDL, una alternativa a programar en FORTRAN o C mucho más sencilla y que ahorra mucho tiempo. Usando IDL pueden fácilmente llevar a cabo tareas que requieran días o semanas con un lenguaje de programación tradicional. IDL cuenta con más de 25.000 licencias de programa, vendidas en más de 35 países de todo el mundo.

Entre los usuarios principales de IDL en el mundo podemos destacar la NASA, donde IDL es el estándar de programación utilizado, y su homólogo en España ESA, Agencia Espacial Europea.

Otros usuarios que también han optado por este lenguaje en España y pueden dar una opinión de su gran potencialidad son: Organismos del CSIC (Centro Superior de Investigación Científica), IEEC (Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña), IAC (Inst. Astrofísico de Canarias), ICC (Inst. Cartográfico Catalán), INTA (Inst. Nacional de Técnicas Aeroespaciales), INDRA ESPACIO, el Ministerio de Defensa y las más importantes Universidades Nacionales.

En Abril ha salido al mercado la nueva versión 5.0 de IDL, que supone la mayor innovación desde su nacimiento. Las novedades más importantes que se han de destacar en IDL 5.0,



pueden englobarse de forma muy resumida en tres grandes apartados:

El primero es un nuevo concepto de programación, usando el sistema más actual de Orientación a Objetos. Esta característica amplía mucho el abanico de funcionalidades de IDL, lo convierte en un programa mucho más rápido, y al mismo tiempo lo moderniza, al entrar en el nuevo concepto de programación orientado a objetos, lo que hará que en el futuro, cualquier nueva herramienta se pueda implementar rápidamente a las funciones de IDL.

La segunda importante novedad de IDL, es IDL INSIGHT, donde seremos capaces de acceder a IDL 5.0 como principiantes o usuarios interactivos y disponer de las ventajas de IDL sin utilizar su código de programación, sólo mediante el uso del ratón. Por esta nueva característica, para ser usuario de IDL 5.0 no hace falta tener grandes conocimientos de programación, perso-

nas de muy diferentes sectores: investigadores, científicos, teledetección, medicina, militar, espacial... son hoy en día, fieles usuarios de IDL.

Y la tercera es, la accesibilidad desde IDL 5.0 a bases de datos. A través de IDL DATAMINER, y desde múltiples plataformas, podremos conectar y consultar una amplia variedad de sistemas de gestión de bases de datos, y usar, editar y/o borrar cualquiera de los datos contenidos en el sistema.

ESTUDIO ATLAS y sus usuarios apuestan por el futuro, y ven que IDL les resulta la forma más completa y óptima de trabajar.

Para mayor información consulte la página WEB de ESTUDIO ATLAS, cuya dirección es <http://www.sarenet.es/atlas>, o poniéndose en contacto con nosotros: teléfono 945-298080 o e-mail: montse@sarenet.es

PUBLICACIONES TÉCNICAS



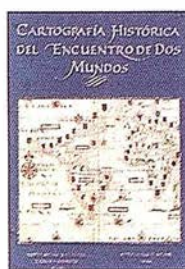
Título: Atlas Nacional de España. I Tomo.
Autor: I.G.N.
Precio: 16.000 ptas.
Ref.: 00101



Título: Atlas Regional Ponencias
Autor: Univ. Alcalá de Henares
Precio: 2.000 ptas.
Ref.: 00105



Título: La Enseñanza de la Teledetección.
Autor: Univ. Alcalá de Henares
Precio: 2.000 ptas.
Ref.: 00106



Título: Cart. Histórica del encuentro de dos mundos.
Autor: I.G.N.
Precio: 9.000 ptas.
Ref.: 00120



Título: Iberoamérica desde el espacio.
Autor: Cart. Marít. Hispana
Precio: 9.850 ptas.
Ref.: 00121



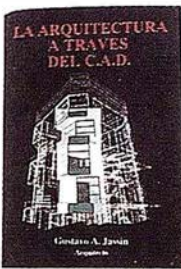
Título: Cartografía Marítima Hispana
Autor: I.G.N.
Precio: 9.850 ptas.
Ref.: 00122



Título: La imagen del Mundo 500 años de Cartog.
Autor: I.G.N.
Precio: 5.000 ptas.
Ref.: 00123



Título: S.I.G. y evaluación multicriterio.
Autor: José I. Barredo
Precio: 3.500 ptas.
Ref.: 00125



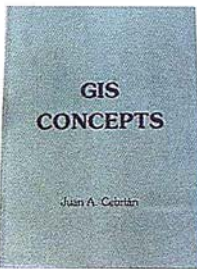
Título: La Arquitectura a través del CAD.
Autor: Gustavo A. Jassin
Precio: 3.000 ptas.
Ref.: 00132



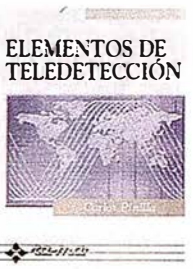
Título: S.I.G. Prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI.
Autor: Joaquín Bosque
Precio: 5.250 ptas.
Ref.: 00133



Título: Cartografía Digital. Desarrollo de software interno.
Autor: Juan Mena Berrios
Precio: 3.750 ptas.
Ref.: 00134



Título: GIS CONCEPTS.
Autor: Juan A. Cebrían
Precio: 3.000 ptas.
Ref.: 00135



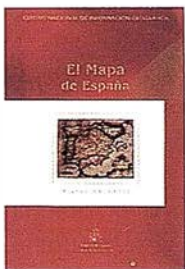
Título: Elementos de Teledetección.
Autor: Carlos Pinilla
Precio: 3.500 ptas.
Ref.: 00136



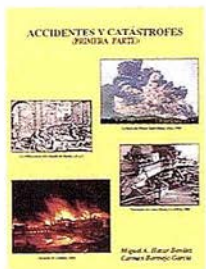
Título: Tecnología de los S.I.G.
Autor: F. Javier Moldes
Precio: 2.990 ptas.
Ref.: 00137



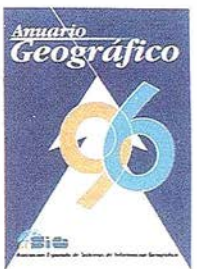
Título: Topografía aplicada a la ingeniería.
Autor: MOPU
Precio: 3.500 ptas.
Ref.: 00138



Título: El Mapa de España.
Autor: Mº de Fomento
Precio: 4.000 ptas.
Ref.: 00139



Título: Accidentes y Catástrofes.
Autor: Carmen Bermejo
Precio: 3.500 ptas.
Ref.: 00140



Título: Anuario Geográfico.
Autor: AESIG
Precio: 8.000 ptas.
Ref.: 00141

BOLETIN DE PEDIDO A CARTOSIG EDITORIAL, S.L.

Pº Sta. Mª de la Cabeza, 42 - Of. 3 - 28045 MADRID
Tel.: 527 22 29 - Fax. 528 64 31

Nº Ref	Cantidad	Descripción	Precio unit.	Total

Nombre
Dirección
Ciudad Provincia C.P.

Forma de pago, talón nominativo ó reembolso. NOTA: Estos precios son con IVA incluido. Cargo adicional de 1.000 ptas. por envío.

BOLETIN DE SUSCRIPCION

MAPPING

Deseo suscribirme a la revista MAPPING por 12 números, al precio de 11 números .

Precio para España: 9.900 ptas. Precio para Europa y América: US\$ 120.

Forma de pago: Talón nominativo o transferencia a nombre de CARTOSIG EDITORIAL, S.L.

CAJA MADRID: Av. Ciudad de Barcelona, 136 - Ag. 1813 - c.c. 3000-686050

Enviar a: CARTOSIG EDITORIAL, S.L. - Pº Sta. Mª de la Cabeza, 42 - Of. 3 - 28045 MADRID.

Nombre.....
Empresa Cargo
Dirección Teléfono
Ciudad C.P. Provincia

ACTIVA PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA EN LA VI CONFERENCIA CARTOGRÁFICA DE NACIONES UNIDAS PARA AMÉRICA

España presidió el comité de almacenamiento, estandarización y presentación de datos cartográficos

En la Sede Central de Naciones Unidas en Nueva York ha tenido lugar, entre los días 2 y 6 de junio la VI Conferencia Cartográfica Regional de Naciones Unidas para América, de conformidad con la decisión 1993/225 del Consejo Económico y Social.

A la conferencia asistieron ochenta y seis representantes de treinta y cuatro países, además de agencias especializadas y organizaciones científicas internacionales como la Asociación Cartográfica Internacional (ICA), Asociación Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS), Asociación Internacional de Geodesia y Geofísica, Federación Internacional de Geómetras (FIG), y Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO).

La conferencia se centró en la contribución que puede aportar el estudio de los emplazamientos, el levantamiento de mapas y la cartografía en apoyo de la ejecución del Programa 21 y de otros acuerdos multinationales sobre el medio ambiente; y en servir de cen-

tro de coordinación para la cooperación regional y la transferencia de tecnología y conocimientos especializados.

La delegación española formada por el Secretario General del Instituto Geográfico Nacional, D. Manuel García Pérez y por el Subdirector General de Producción Cartográfica, D. José Cebrián Pascual, participó activamente al recibir la responsabilidad del Comité Técnico de Almacenamiento, Estandarización y Presentación de Datos Geográficos cuya presidencia ostentó el señor García Pérez, auxiliado por el representante de Estados Unidos señor Douglas Brown.

El señor Cebrián, por su parte, realizó la presentación del nuevo proyecto del Mapa Topográfico Nacional de España, como tecnología transferible.

El objetivo primordial del evento ha sido crear un foro donde los funcionarios de gobierno, los planificadores, los científicos y los expertos de América y otras regiones pudieran examinar necesidades, proble-

mas y experiencias comunes en el ámbito de la cartografía, la teledetección y los sistemas de información geográfica, incluidos los aspectos pedagógicos y la capacitación, las necesidades científicas y tecnológicas y las cuestiones relativas a la ejecución.

Los resultados de la conferencia se concretan en diez resoluciones, entre las que destacaremos la recomendación a todos los estados miembros del establecimiento de una infraestructura nacional de datos espaciales (NSDI), conexiada a su vez y constituyendo en conjunto la infraestructura global de datos geográficos.



VI Conferencia Cartográfica de Naciones Unidas.
Comité Técnico de Almacenamiento, Estandarización y Presentación de Datos Geográficos presidido por D. Manuel García Pérez

SICAD de Siemens Nixdorf

Nº 1 en Europa y primer

suministrador europeo a

nivel nacional

- 1 Queremos agradecer a todos nuestros socios, usuarios, clientes y amigos la confianza que han depositado en nosotros a lo largo de estos diez años de colaboración conjunta y por ello:
- 2 Queremos garantizar todo nuestro esfuerzo, trabajo y compromiso por la mejora constante de nuestra oferta de productos, servicios y soluciones por otros tantos años
- 3 Porque queremos convertirnos en el socio tecnológico a largo plazo y *hacer de su beneficio nuestro éxito* aportando valor a sus oportunidades de negocio

Simply
SICAD!

Siemens Nixdorf
Soluciones Centradas en el Usuario





Los topógrafos se aligeran con el nuevo receptor GPS compacto y liviano Super-Z

La archidemostrada tecnología "Z" de Ashtech, es ahora más fácil de usar (y de poseer) con la nueva Estación Super-Z. Efectivamente, esta estación combina la tecnología Ashtech patentada de **Seguimiento "Z"** en un alojamiento compacto, más pequeño, liviano, de menos consumo y **más asequible**. La Estación Super-Z ofrece una integración sin precedentes, es el primer sistema en el mundo que reúne receptor, batería y tarjeta PC de memoria intercambiable. Incluso radiomódem interno, si se desea usar esta unidad para operaciones en tiempo real con precisión centimétrica.

La "Estación Super-Z" es un instrumento de alta productividad que puede ser configurado para la mayoría de las aplicaciones: levantamientos topográficos, trabajos geodésicos, actualización cartográfica, apoyo fotogramétrico y replanteo. Los breves períodos de observación permiten que un solo hombre pueda visitar muchos más puntos al día que lo que se puede conseguir usando instrumentos topográficos tradicionales, u otros

equipos GPS más anticuados, en muchas aplicaciones.

La "Estación Super-Z" incluye en una compacta unidad de 1,7 kg. de peso, el más avanzado procesado de señal GPS de doble frecuencia del mercado, memoria en tarjeta PCMCIA de hasta 80 Mb de capacidad, alimentación vía batería (incluida en el peso citado) y, para aquellos que lo deseen, el transceptor modem utilizable en operaciones en tiempo real. Imposible superar.

Ashtech ofrece además un rango completo de receptores topográficos GPS y GPS-Glonass con las correspondientes aplicaciones lógicas para facilitar su trabajo y aumentar su productividad y rentabilidad. Si desea información adicional sobre la revolucionaria "Estación Super-Z" de Ashtech o sobre cualquier otro receptor Ashtech, incluso una demostración sin compromiso, le rogamos nos lo indique. Srta. Charo GRAFINTA, S.A.; Avda. Filipinas, 46; 28003 Madrid; Telf.: 553 72 07; Fax 533 62 82; Internet: grafinta@bitmailer.net