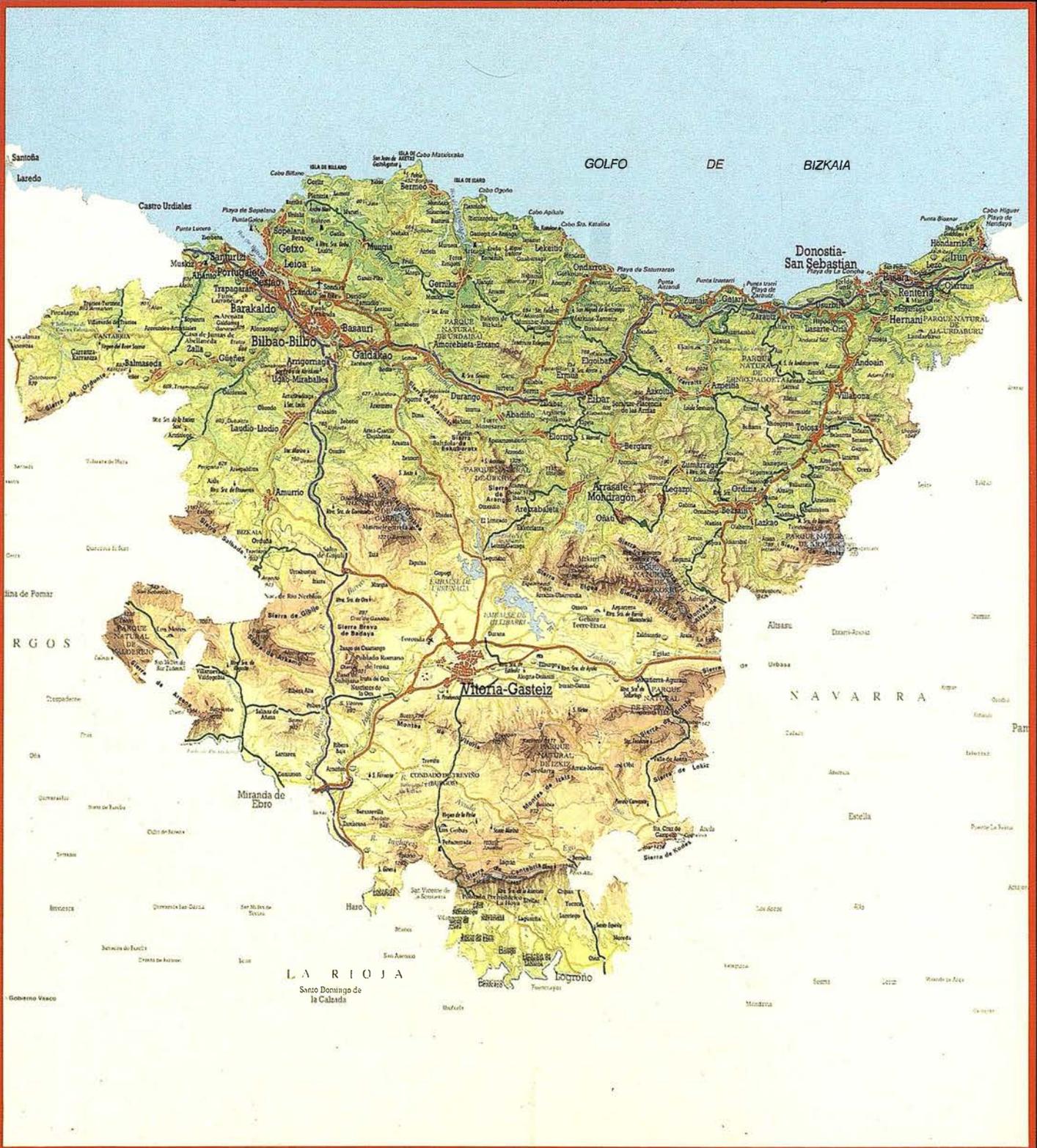


# MAPPING

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



PRECIO 900 PTAS.

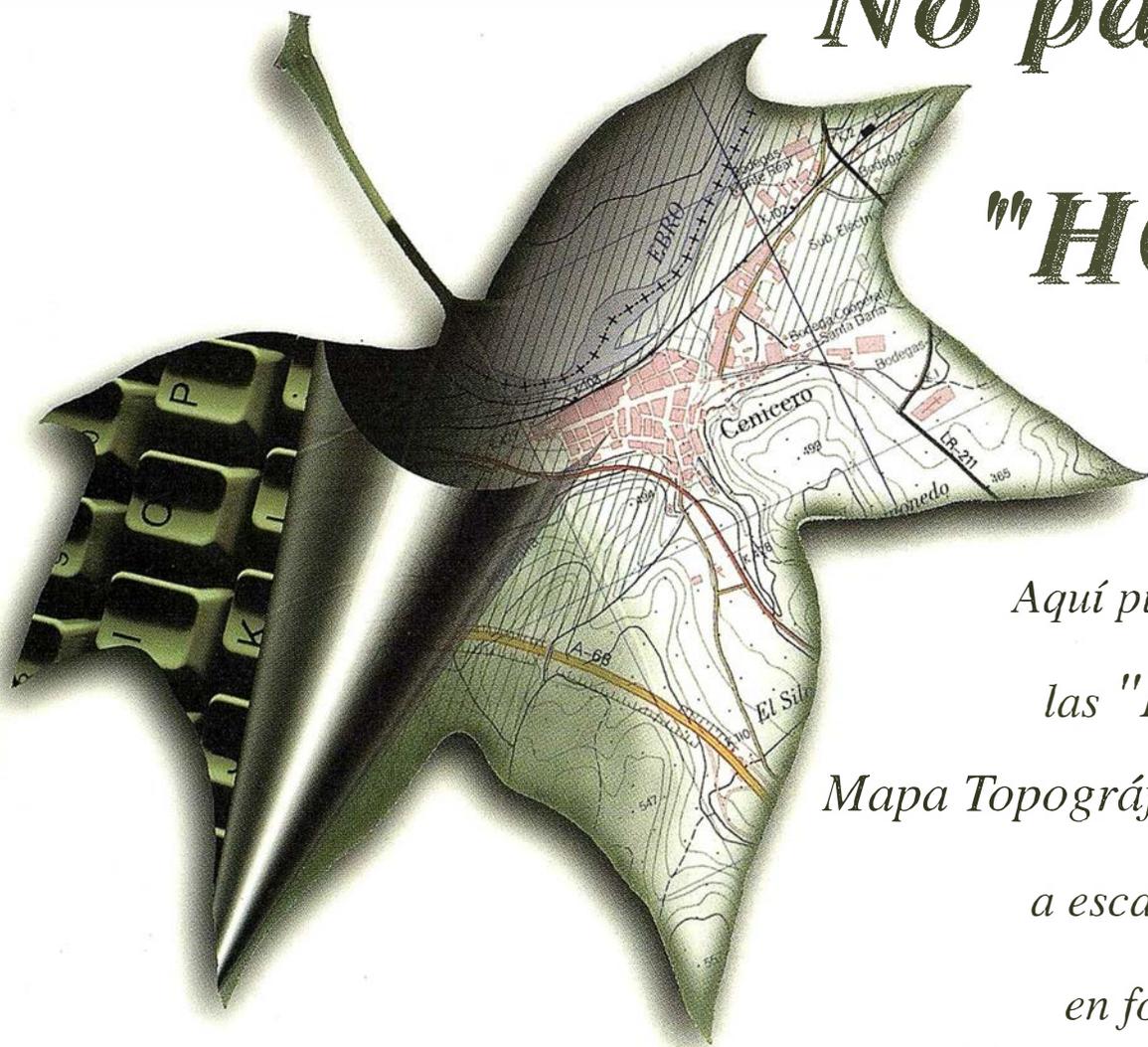
1999

MARZO

Nº 52

# No pase la

# "HOJA"



*Aquí puede encontrar  
las "HOJAS" del  
Mapa Topográfico Nacional  
a escala 1:25.000  
en forma digital.*

**I**mprescindible en proyectos de...

- √ Redes de distribución, √ Puntos de venta, √ Localización de mercados, √ Tendidos eléctricos,
- √ Previsión de riesgos, √ Optimización de rutas, √ Obra civil,
- √ Estudios medioambientales, demográficos, etc.

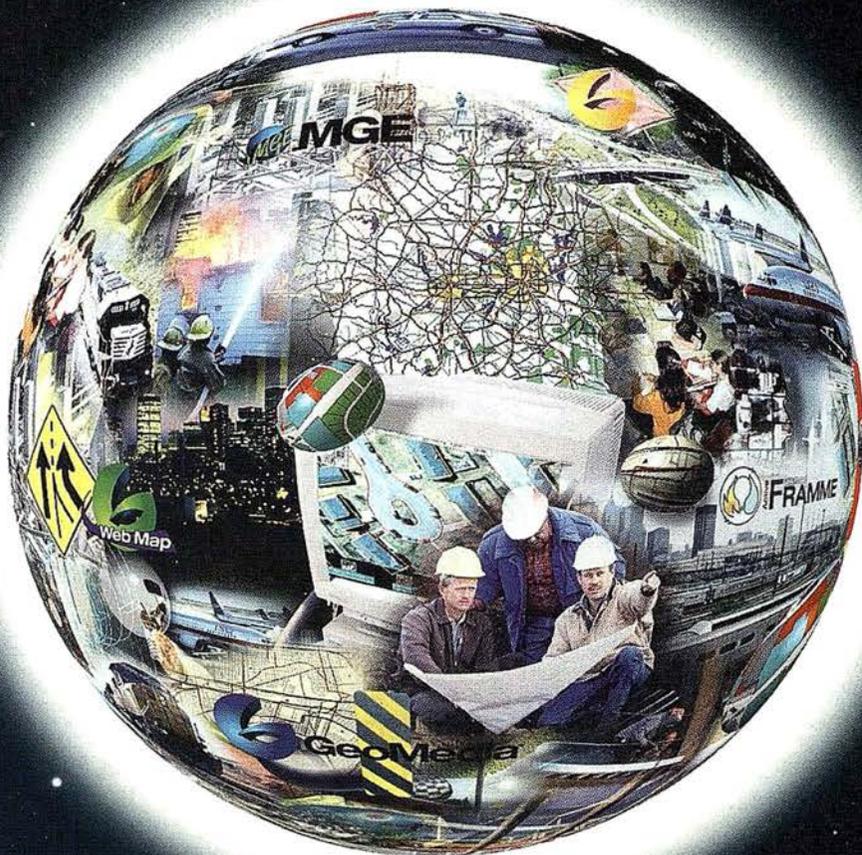
**P**roductos disponibles:

Base de Datos 1: 25.000 (BCN25), Base de Datos 1: 200.000 (BCN200), Base de Datos 1:1.000.000 (BCN1000),  
Modelo Digital del Terreno (MDT25), (MDT200) y (MDT1000), Base de Datos Monotemáticos,  
Mapa de Usos del Suelo (Corine-Land Cover), Datos Teledetección (Landsat TM)  
(Spot Pancromático), Líneas Límite (Varias escalas).

# GeoMedia

# número 1 en

# SIG



**GeoMedia™**

El cliente geográfico de múltiples formatos con capacidad de análisis espacial.

**GeoMedia Professional™**

El producto para captura y mantenimiento de datos geográficos, desarrollado con la última tecnología que le permitirá mejorar su productividad.

**GeoMedia Web Map™**

Permite publicar información geográfica en WEB, mejorando eficiencia y productividad con respecto a otras herramientas del mercado.

**GeoMedia Network™**

La solución para el análisis de redes logísticas y de transporte.

## Conozca la nueva generación de Sistemas de Información Geográfica.



# INTERGRAPH

## Líder Mundial en Sistemas de Información Geográfica

INTERGRAPH (España) S.A. • C/Gobelas, 47 - 49 • (La Florida) 28023 MADRID • Tel.: 91 372 80 17 • Fax: 91 372 80 21

INTERGRAPH (España) S.A. • C/Nicaragua, 46. 1º 1ª • 08029 BARCELONA • Tel.: 93 321 20 20 • Fax: 93 321 47 73

Web: [www.intergraph.com](http://www.intergraph.com)



**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  
<http://www.ctv.es/mapping>  
 Email: [mapping@ctv.es](mailto:mapping@ctv.es)

**Delegación en Andalucía:**  
 D. Miguel A. Jiménez  
 Tel.: 629 - 22 31 78

**Delegación en País Vasco:**  
 Srta. Ana Moreno  
 Tel.: 945 29 80 85

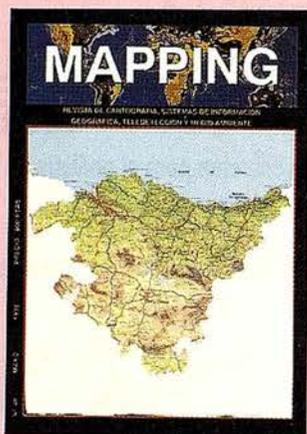
**Fotomecánica:**  
 Haziel, s. l. Sistemas de Reproducción

**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:**  
 MAPA HIPSONOMÉTRICO, cedido por  
 GOBIERNO VASCO - Dpto. Urb. Vivien.  
 y M. Amb. - Dir. Ord. Territ.



**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.**

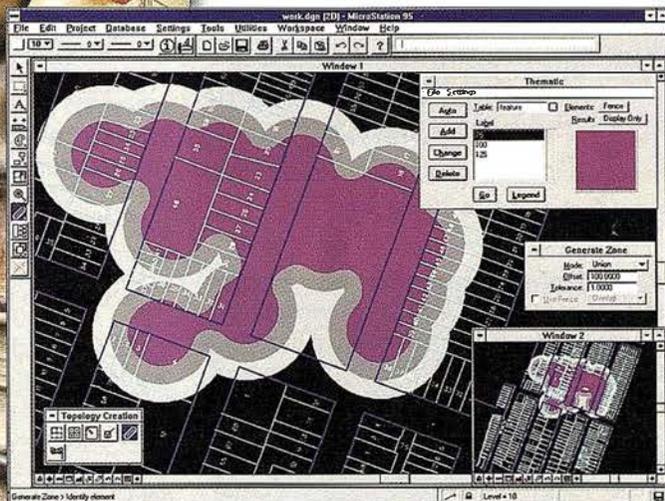
- 6** PROYECTO LACOAST CAMBIOS EN LA COBERTURA DEL SUELO EN LAS COSTAS EUROPEAS.
- 12** REALIZACIÓN DE ORTOFOTOGRAFÍAS DIGITALES MEDIANTE ORDENADOR UTILIZANDO EL LENGUAJE I.D.L.
- 16** APLICACIÓN PARA LA GESTIÓN DE LA RED PRIMARIA DE DISTRIBUCIÓN EN EL CONSORCIO DE AGUAS DE BILBAO BIZKAIA (C.A.B.B.).
- 24** OPTIMIZACIÓN DE RECORRIDOS EN LA RED VIARIA ALAVESA.
- 30** ORTOFOTOGRAFÍA DIGITAL: ANÁLISIS DE ERRORES.
- 32** LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL EN LA CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS URBANAS.
- 40** INTRODUCCIÓN A LA CARACTERIZACIÓN DE LAS VÍAS FORESTALES POR MEDIO DE SISTEMAS DIGITALES: EL GPS Y GIS.
- 48** I.T.S. REALIZA LA GUÍA DE CARRETERAS DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS.
- 52** LA TRANSFORMACIÓN LINEAL DIRECTA: UN MÉTODO DE FOTOGRAMETRÍA CONVERGENTE DE BAJO COSTE.
- 58** CARTOGRAFÍA DE SUELOS EN CASTILLA LA MANCHA A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE AVHRR.
- 68** "APUNTES PARA LA ADMINISTRACIÓN" PATROCINADOR ABSIS. GENERACIÓN DIGITAL DEL MODELO CU-1.
- 72** FRIEDRICH ROBERT HELMERT. COMENTARIOS SOBRE SU VIDA Y OBRA.
- 80** BASES DE DATOS RELACIONALES DISPONIBLES PARA DATOS GIS-T ESPACIALES.
- 91** APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL DE ALTA RESOLUCIÓN A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.
- 95** EVOLUCIÓN DEL USO DE LA TIERRA E IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE CONFLICTO EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE, MUNICIPIO DE UBATUBA, S.P., BRASIL.

# MicroStation

# GeoGraphics<sup>®</sup>

para *MicroStation* 

la solución de CAD  
para el mundo GIS.



- Totalmente personalizable.
- Gran capacidad de análisis espacial.
- Configuración de proyectos mediante un Wizard.
- Nuevo gestor de mapas incluyendo ficheros raster.
- Nuevo generador de consultas a base de datos (SQL Builder).
- Visualización continua de la Cartografía.
- Máquina virtual Java (JVM).

**Solución Multiplataforma  
PC y UNIX.**

 **BENTLEY**  
Engineering the future together

91 372 89 75

[www.bentley.es](http://www.bentley.es)

# PROYECTO LACOAST

## CAMBIOS EN LA COBERTURA DEL SUELO EN LAS COSTAS EUROPEAS

María de Santiago López de Uralde.  
Juan Carlos Escudero Achiaga.  
Jorge Ozcáriz Salazar.

CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES  
ceasit@vitoria-gasteiz.org

- Sociedad para el Desarrollo Comarcal de Galicia - SITGA: Pontevedra, La Coruña y Lugo
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes - ETSIM: Asturias, Cantabria, Castellón, Valencia y Alicante
- Centro de Estudios Ambientales - CEA: Bizkaia y Gipuzkoa
- Institut Cartogràfic de Catalunya - ICC: Gerona, Barcelona y Tarragona
- Instituto Geográfico Nacional - IGN: Murcia

### INTRODUCCIÓN

El proyecto LACOAST (*Land Cover Changes in Coastal Zones*) surgió a partir del programa CORINE (*Coordination of information on the environment*) de la Comunidad Europea. La puesta en marcha de este programa fue decidida por el Consejo, a propuesta de la Comisión, el 27 de junio de 1985, constituyendo "un proyecto experimental para la recogida, coordinación y coherencia de la información sobre la situación del medio ambiente y los recursos naturales de la Comunidad" (Diario Oficial L 176, 6.7.1985).

Dentro del programa CORINE, se incluyó el proyecto Land Cover cuyo objetivo era proporcionar información coherente localizada geográficamente sobre los usos del suelo de los 12 estados miembros de la Unión Europea. De este modo, se pretendía que esta información, básica para el control medioambiental, fuera homogénea para toda la Comunidad.

La base de datos CORINE Land Cover (CLC) a escala 1:100.000 fue generada a finales de los años 80 tomando como información de base imágenes de satélite y con ayuda de datos complementarios (cartografía temática, fotografía aérea...). La leyenda utilizada se estructura en cinco niveles y el nivel más general incluye cinco categorías: superficies artificiales, zonas agrícolas, zonas forestales con vegetación natural, zonas húmedas y superficies de agua.

Tomando como información de partida la base de datos CLC, la Dirección General XI (Medio Ambiente, Seguridad Nuclear y Protección Civil) y la *European Environment Agency (EEA)* promovieron conjuntamente el proyecto Lacoast. El objetivo principal de este proyecto es la determinación y estudio de los cambios ocurridos en la cobertura y usos del suelo a lo largo del litoral europeo, en una franja de 10 Km de ancho (de la línea de costa hacia el interior). El *Space Applications Institute (SAI)* perteneciente al *Joint Research Centre (JRC)* de Ispra (Italia) ha sido el encargado de coordinar el desarrollo de este proyecto. El Instituto Geográfico Nacional, como responsable de la realización del estudio correspondiente a la costa española continental, distribuyó el trabajo por equipos de la siguiente forma:

El Centro de Estudios Ambientales de Vitoria-Gasteiz ha tenido a su cargo la realización del proyecto Lacoast para la Comunidad Autónoma del País Vasco. La franja de costa objeto de estudio se extiende a lo largo de unos 130 Km y comprende las provincias de Bizkaia y Gipuzkoa. Las hojas del CORINE correspondientes a esta zona de estudio fueron elaboradas en base a imágenes Landsat-TM del año 1987.

### DESARROLLO DEL TRABAJO

El desarrollo del trabajo se dividió en tres fases. La primera de ellas consistía en la revisión de las hojas CORINE correspondientes al área de estudio y que constituían la información de partida. En la segunda fase, se trataba de realizar una actualización retrospectiva (*downdating*) de la base de datos del año 87 para generar una nueva base de datos de usos del suelo del año 75. Por último, se elaboró un Mapa de Cambios de Usos del Suelo para el periodo de estudio (1.975-1.987).

### REVISIÓN DE LA BASE DE DATOS DEL AÑO 87

En esta primera fase se procedió a la revisión de la geometría de cada una de las hojas CORINE (a escala 1:100.000), a la comprobación del ajuste de sus polígonos a las imágenes TM originales, sobre las que se fotointerpretaron las diferentes categorías, y a la verificación de los atributos de usos del suelo asignados a cada uno de estos polígonos.

La zona de estudio quedaba incluida en seis hojas de la base de datos CORINE y cada una de ellas, al estar a escala 1:100.000, comprendía cuatro hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Por tanto, en lo que respecta al ajuste de la geometría, se comprobó que las esquinas de cada una de las hojas CORINE se ajustaban a las mismas coordenadas que las esquinas de las cuatro hojas del MTN correspondientes.

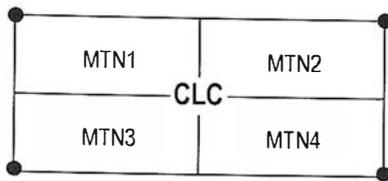


Fig. 1: Correspondencia entre las hojas CORINE y el MTN

La tolerancia permitida para el ajuste de las esquinas era de un metro, por tanto, en aquellos casos en que el error quedaba dentro de este margen, se consideraba que las coordenadas de las hojas eran correctas y en caso contrario, sería necesario proceder a su rectificación. Para ello, se generaron los marcos con los valores UTM reales de las esquinas y se procedió a cortar con ellos el mosaico constituido por todas las hojas CORINE. De esta forma, se obtuvieron seis nuevas hojas que ajustaban exactamente al MTN. Este proceso fue realizado en ArcInfo v. 7.1.1 (*Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, California*). Para la creación del mosaico, previamente hubo que depurar algunos errores de los atributos asociados a las etiquetas de los polígonos, tal y como se describe a continuación.

El proceso seguido para la detección de los errores de codificación y/o interpretación consistió en la inspección visual de la capa vectorial CLC superpuesta sobre la imagen TM a escala 1:100.000 (fig. 2) con ayuda del software ArcView GIS v. 3.0 (*Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, California*). En aquellos casos en que existían dudas en la interpretación visual directa se tuvo en cuenta diferente material de apoyo, principalmente ortofotografías digitales del Gobierno Vasco, del año 1.990.



Fig. 2: Capa vectorial sobre la imagen TM

En este proceso de corrección, inicialmente se comprobó que los polígonos que cabalgaban entre dos o más hojas presentarían el mismo código y que sus límites fueran continuos. Con respecto a este tipo de polígonos, se detectaron algunos errores debidos a la asignación de atributos diferentes a polígonos adyacentes, como se observa en el recuadro azul de la figura 3. Observamos que las dos partes de un mismo polígono que quedan en dos hojas diferentes presentan distinto color lo que indica que su código también es distinto. Estos fallos fueron solventados determinando cuál de las dos categorías presentes en el polígono era la correcta.

Otro error que puede presentarse consiste en la asignación de un mismo código de leyenda a polígonos contiguos, como

podemos ver en el recuadro negro de la figura siguiente donde se muestran dos polígonos adyacentes con el mismo color rojo. La manera de corregir estos errores consistía en reinterpretar las clases de ambos polígonos, en base a la imagen TM. En aquellos casos en que la asignación de valores era la apropiada, se unieron los polígonos mediante el procedimiento *dissolve* de ArcInfo v. 7.1.1.

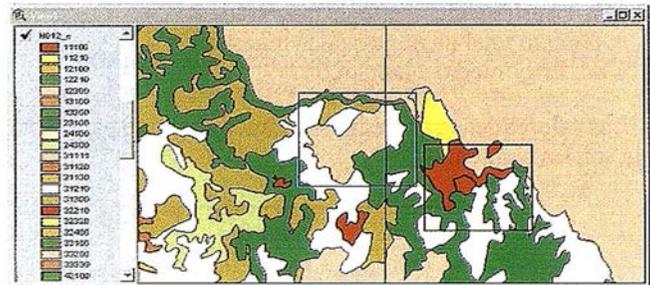


Fig. 3: Errores de etiquetado de los polígonos

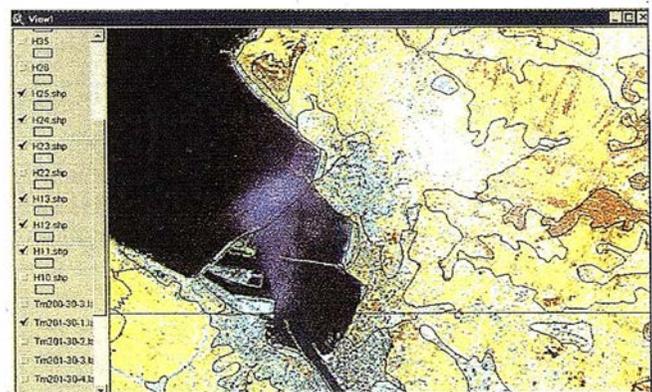


Fig. 4: El pueblo de Getxo queda incluido en un polígono codificado como "pradera"

Una vez depurados todos estos fallos, se procedió a corregir los errores groseros de asignación, es decir, aquellos que se detectan a simple vista, como el ejemplo que se muestra a continuación. Como se puede observar en la imagen de la figura 4, existe una zona urbana densa (en color azul) que no está delimitada, sino que queda incluida en la clase "pradera" correspondiente a la zona amarilla contigua. Este error deberá corregirse dividiendo este polígono en dos partes y asignando cada una de ellas a la clase apropiada: "pradera" y "urbano continuo".

El último paso de esta fase de corrección de las hojas CORINE consistía en el control y ajuste de la geometría de los polígonos resultantes de la fotointerpretación. Para ello, se superpuso una malla de 10x10 Km sobre la capa vectorial y la imagen digital, a fin de medir en el punto más próximo posible a cada nodo de la malla, la distancia entre este punto de la cobertura vectorial y su homólogo en la imagen. Con las desviaciones obtenidas de este muestreo, se calculó del error medio cuadrático de desajuste de los polígonos, para cada una de las hojas. La fórmula utilizada en este cálculo es la siguiente:

$$Emc = \sqrt{\frac{\sum (XR_i^2 + YR_i^2)}{n-1}} \leq 100$$

donde:

$XR_i$ : X residual del punto de muestreo  $i$   
 $YR_i$ : Y residual del punto de muestreo  $i$   
 $n$ : número total de puntos de la muestra  
 $Emc$ : Error medio cuadrático

Los valores del error medio cuadrático obtenido para cada hoja son los siguientes:

Hoja n°	Emc (m)
11	55.12
12	74.04
13	64.01
23	99.22
24	78.99
25	71.66

Por tanto, se consideró que el ajuste de los polígonos de fotointerpretación era correcto puesto que para las seis hojas, el valor del error se encontraba dentro del límite permitido, establecido en 100 m.

## ACTUALIZACIÓN RETROSPECTIVA (*DOWNDATING*)

El objeto de la actualización retrospectiva consiste en elaborar una base de datos CORINE para el año 1.975, en orden a determinar en una franja de 10 Km a lo largo de la línea de costa del País Vasco, los cambios ocurridos en la cobertura del suelo entre este año y 1.987. Este proceso se llevó a cabo en un entorno informático multiventana (ArcView GIS v. 3.0), mediante la fotointerpretación de una imagen Landsat-MSS del año 1.975 por comparación simultánea con la imagen TM de 1.987 y su correspondiente base de datos CLC.

La delimitación del área de 10 Km se realizó en base a la construcción mediante ArcInfo v. 7.1.1. de un *buffer* de 15 Km a ambos lados de la línea de costa. De este modo, aunque el área de trabajo resultaba de mayor extensión que la establecida en el proyecto para el estudio, a la hora de la interpretación visual en pantalla no se perdía la referencia del entorno.

Una vez determinada el área de trabajo, se procedió a identificar los polígonos que se habían visto afectados por cambios en su cobertura de suelo, sin tener en cuenta el tipo de modificación ocurrida. Para ello, se realizó una comparación polígono a polígono superponiendo sobre ambas imágenes la base de datos CLC de 1.987. La escala de visualización en pantalla utilizada a la hora de realizar esta comparación fue 1:50.000 y se trabajó al quinto nivel de nomenclatura CORINE.

Una vez localizados todos los cambios de uso en la base de datos, el siguiente paso consistió en la identificación de los mismos. Se trataba, por tanto, de asignar el código correspondiente al uso presente en el año 75 a los polígonos que hubieran experimentado un cambio de cobertura del suelo. De este modo, se generó una "nueva" base de datos de esta fecha partiendo de la del año 87. Para la determinación de esta actualización retrospectiva (*downdating*), se contó, además de con la propia imagen MSS, con el Mapa de Vegetación del País Vasco (elaborado en base vuelos de 1.977 y 1.978). También, de manera puntual, se hizo uso del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos del Ministerio de Agricultura cuando las fechas de elaboración de sus hojas así lo permitían.

Además de las modificaciones en el uso del suelo de polígonos completos, en otros casos se detectaron variaciones que afectaban de manera parcial a uno o varios polígonos, por lo que hubo que proceder a la digitalización en pantalla a fin de rehacer sus formas, dividirlos, fusionarlos o crear otros nuevos.

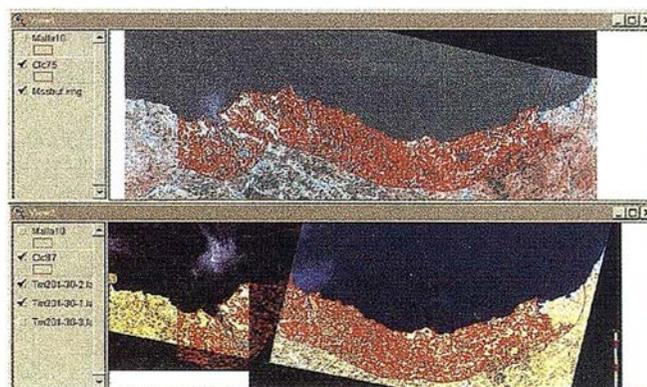


Fig. 5: Comparación entre la Imagen del año 75 (superior) y la del 87 (inferior)

El último paso consistió en la verificación de la precisión geométrica de la base de datos actualizada al año 1.975. Esta comprobación se llevó a cabo del mismo modo que para la base de datos CLC del año 1.987, es decir, superponiendo una malla con celdas de 10 por 10 Km y anotando en el punto localizable más próximo a cada nodo, la desviación existente entre la posición del vector y su homóloga en la imagen. El error medio cuadrático obtenido, en base a 18 puntos de control, fue de 48,68 m, inferior por tanto al umbral permitido (100 m).

## ELABORACIÓN DEL MAPA DE CAMBIOS

Las coberturas implicadas en la elaboración del Mapa de Cambios de Usos del Suelo en la Comunidad Autónoma del País Vasco, entre los años 1.975 y 1.987, son las siguientes: base de datos corregida del año 87 (CLC87), base de datos actualizada del año 75 (CLC75) y los límites provinciales y autonómicos proporcionados por el Gobierno Vasco. Este mapa se obtuvo mediante diferentes procesos informáticos, utilizando para ello el software ArcInfo v. 7.1.1.

Primero, hubo que sustituir la línea de costa presente en la cartografía autonómica por la del CORINE ya que no eran

coincidentes. El siguiente paso fue la intersección de las bases de datos CLC75 y CLC87 creando una nueva que recoge todos los polígonos de las dos anteriores de manera que cada uno de ellos posee dos atributos: el código de uso correspondiente al año 75 y el del año 87. A partir de estos dos, se crea un nuevo atributo en el que se indica si ha habido cambio o no entre una fecha y otra y, en caso afirmativo, la tipología del mismo.

Tomando como referencia la línea de costa, se generaron tres corredores (según se indicaba en los requerimientos del proyecto) de 1, 5 y 10 Km de anchura hacia el interior. Con estos tres buffers se cortó la base de datos de cambios de forma que se obtuvieron tres nuevas capas que recogían los cambios, una para cada corredor. Por último, se procedió a cuantificar los cambios a nivel 1 y 3 de leyenda y se generaron las estadísticas con los datos resultantes.

Para la confección de las diferentes salidas gráficas (mapas de cambios a escala 1:200.000 por provincias y para toda la Comunidad Autónoma) se empleó el programa ArcView GIS v. 3.0.

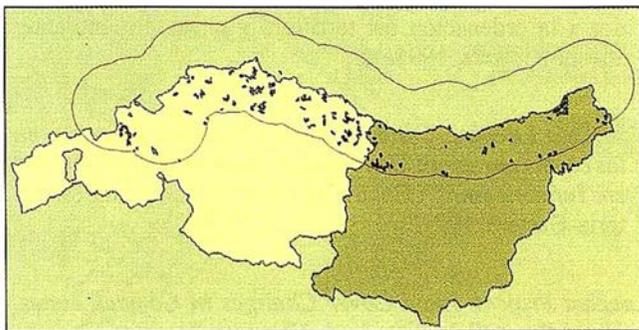


Fig. 6: Mapa de cambios de usos del suelo para toda la Comunidad Autónoma

Los resultados obtenidos al primer nivel de leyenda CLC, para la Comunidad Autónoma del País Vasco, son los siguientes:

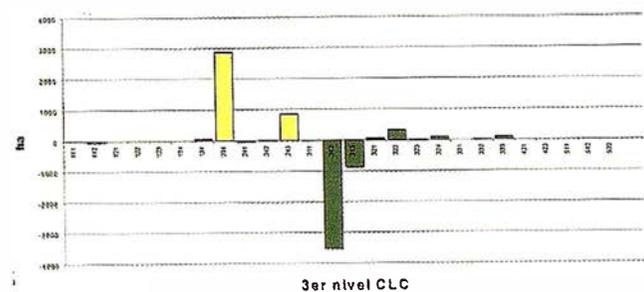
CLCI	Sup. en 1.975 (ha)	Sup. en 1.987 (ha)	Diferencia 87-75 (ha)
1 - Superficies artificiales	10328,62	10373,41	44,79
2 - Zonas agrícolas	52734,02	56439,87	3705,85
3 - Zonas forestales y seminaturales	69054,19	65303,56	-3750,63
4 - Zonas húmedas	896,42	896,42	0
5 - Superficies de agua	1046,06	1046,06	0

Como se puede apreciar en esta tabla, los cambios de usos en el País Vasco durante el periodo 1.975-1.987, han sido poco significativos en cuanto a la aparición de superficies artificiales (clase 1), observándose un retroceso de la extensión ocupada por bosques y áreas seminaturales (clase 3), en beneficio de las zonas dedicadas a la explotación agrícola (clase 2). Este incremento en el uso agrícola ha supuesto un 7%, respecto a 1.975, y coincide básicamente con la reducción en áreas forestales y seminaturales. La ocupación de zonas

húmedas y superficies de agua (clases 4 y 5) ha permanecido invariable durante este periodo.

A continuación, se recogen en un histograma y una tabla, los resultados extraídos del análisis de cambios de uso del suelo, para el buffer de 10 Km, al tercer nivel de leyenda CLC. El porcentaje de cambio se ha calculado sobre el valor de área ocupada por cada categoría en el año 1.975.

Cambios de uso del suelo entre 1975 y 1987 (Línea de costa vasca + buffer de 10 Km)



CLC3	Leyenda	Sup.1.975 (ha)	Sup.1.987 (ha)	1.987-1.975 (ha)	% de cambio
111	Tejido urbano continuo	5432,48	5439,44	6,96	0,13
112	Tejido urbano discontinuo	2151,53	2126,56	-24,96	-1,16
121	Zonas industriales o comerciales	1621,33	1621,33	0,00	0,00
122	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	677,59	677,59	0,00	0,00
123	Zonas portuarias	198,66	198,66	0,00	0,00
124	Aeropuertos	159,65	159,65	0,00	0,00
131	Zonas de extracción minera	87,37	150,17	62,79	71,87
231	Praderas	33411,76	36292,49	2880,73	8,62
241	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	99,17	35,94	-63,23	-63,76
242	Mosaico de cultivos	1217,65	1243,55	25,90	2,13
243	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural	18005,44	18867,88	862,44	4,79
311	Bosque de frondosas	13157,68	13155,63	-2,05	-0,02
312	Bosque de coníferas	34010,87	30497,60	-3513,27	-10,33
313	Bosque mixto	10146,18	9294,50	-851,68	-8,39
321	Pastizales naturales	211,52	284,07	72,55	34,30
322	Landas y matorrales	6479,86	6815,07	335,21	5,17
323	Vegetación esclerófila	143,51	131,37	-12,14	-8,46
324	Matorral boscoso de transición	4237,83	4340,50	102,67	2,42
331	Playas, dunas y arenales	355,28	355,28	0,00	0,00
332	Roquedo	39,49	56,85	17,36	43,97
333	Espacios con vegetación escasa	271,97	372,68	100,71	37,03
421	Marismas	249,30	249,30	0,00	0,00
423	Zonas llanas internareales	647,12	647,12	0,00	0,00
511	Cursos de agua	59,73	59,73	0,00	0,00
512	Láminas de agua	46,41	46,41	0,00	0,00
522	Estuarios	939,92	939,92	0,00	0,00

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la franja de estudio de 10 Km de anchura, se han detectado importantes crecimientos en porcentaje de las clases 131 (72%), 321 (34%), 332 (44%) y 333 (37%). Al corresponderse estas categorías principalmente con explotaciones mineras y suelo desnudo o de escasa cubierta vegetal, se aprecia una clara tendencia a la degradación. En valores absolutos, el aumento de este tipo de superficies ha supuesto un total de 253 ha. Esta tendencia se ve reforzada por la disminución porcentual de la representación de las clases arboladas (312, 313 y 323) a expensas, en muchos casos, de las clases anteriores.

Se ha podido observar además una importante disminución en porcentaje (casi un 64%) de la clase correspondiente a *Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes*. Este descenso supone en superficie 63 ha, por lo que no es excesivamente significativo.

Otros aspectos de interés, para el área de estudio, son el importante aumento en superficie absoluta de la clase 231, correspondiente a *Praderas*, con casi 3000 ha así como el significativo incremento de la superficie agrícola con inclusión de elementos naturales (clase 243) en 862 ha.

Para completar este análisis, conviene apuntar algunas consideraciones de interés. Revisando los resultados obtenidos, se observa que no se han detectado algunos cambios que sabemos se han dado a lo largo de este período. El más significativo sería el correspondiente a la expansión de los núcleos urbanos-industriales. Esta variación de uso no ha quedado reflejada en el estudio debido probablemente al umbral de superficie de cambio considerado que, aunque establecido por la metodología en 25 ha, ha quedado fijado para nuestro estudio en 10 ha. Aun así, el crecimiento de este tipo de superficies ha sido inferior a este valor en la mayoría de los casos, por lo que esta evolución de usos no queda reflejada en el mapa de cambios.

Un segundo cambio que no se ha detectado ha sido el de la sustitución de especies de frondosas autóctonas por plantaciones de frondosas alóctonas (*Eucaliptus sp.*, *Liriodendron tulipifera*, *Quercus rubra*, ...). Al tercer nivel de leyenda (CLC3), este cambio de uso no quedaría recogido ya que ambas formaciones se incluyen en la clase 311 (*Bosque de frondosas*). Incluso a nivel cinco (CLC5), se ha comprobado la gran dificultad de reconocer y diferenciar las nuevas plantaciones de frondosas de las ya existentes en 1.975 en base a la comparación de las imágenes de satélite empleadas.

Un último aspecto de carácter general es que el País Vasco, y en concreto su zona de costa, presenta una distribución de usos muy heterogénea, constituyendo un mosai-

codepolígonos de escasa extensión, muchos de ellos con una superficie inferior a las 25 ha establecidas como umbral de cambio en la metodología. Debido a la adopción de este umbral, e incluso de uno menor (10 ha), muchos de los cambios de ocupación del suelo no han quedado recogidos, aun cuando en su conjunto quizás podrían suponer una variación significativa en superficie, a lo largo de la franja costera.

## BIBLIOGRAFÍA

"*Corine Land Cover. Technical Guide*". European Commission, Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection. Luxembourg, 1994.

"*El programa CORINE. Proyecto Land Cover. Una metodología aplicada a las islas Canarias*". Antonio Arozarena y Miguel Herrero. Jornadas técnicas sobre sistemas de información geográfica y Teledetección espacial aplicados a la ordenación del territorio y el medio ambiente. Vitoria-Gasteiz, 1995.

"*Proyecto Lacoast. Cambios en la cobertura del suelo en las costas europeas. Comunidad Autónoma del País Vasco. Informe final*". Centro de Estudios Ambientales. Vitoria-Gasteiz, 1997.

"*Lacoast Project. Land Cover Changes in Coastal Zones. Final Report*". Ministerio de Fomento, Instituto Geográfico Nacional, Centro Nacional de Información Geográfica. December, 1997.

"*Using ArcView GIS*". Environmental Systems Research Institute, Inc, 1996.

"*Automatic Detection of Vegetation Changes in the Southwestern United States Using Remotely Sensed Images*". P.S. Chavez Jr. and D.J. MacKinnon. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. LX, No. 5, May 1994.

"*Using Remote Sensing to Detect and Monitor Land-Cover and Land-Use Changes*". K. Green, D. Kempka and L. Lackey. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. LX, No. 3, March 1994.

"*Remote Sensing and Image Interpretation. Third Edition*". T.M. Lillesand and R.W. Kiefer. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1994.

"*Forest Change Detection by Satellite Remote Sensing in Easter Finland*". *EARSel, Advances in Remote Sensing*, Vol. 4, No. 4, November 1995.

# Servicios y Sistemas de Información Geográfica para la Administración Local



## ABSIS

### 1. Edición y mantenimiento de Cartografía Digital:

- Cartografía topográfica.
- Cartografía catastral urbana y rústica.
- Mantenimiento de redes.

### 2. Servicios Técnicos:

- Gestión de redes.
- Gestión de espacios públicos.

### 3. Gestión del área de Urbanismo:

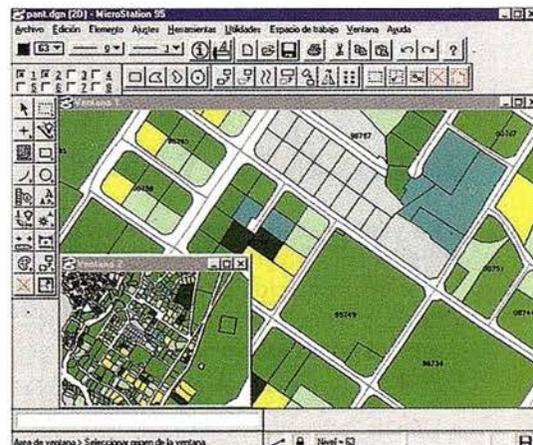
- Planeamiento.
- Informes y Trámites.
- Valoraciones.

### 4. Gestión de Catastro:

- Integración información gráfica y alfanumérica.
- Generación de cintas FIN.
- Generación de formatos y fichas CU-1.
- Realización de cédulas catastrales.

### 5. Población y Fiscalidad:

- Consulta y análisis de la información alfanumérica a partir del mapa parcelario.
- Generación de mapas temáticos.
- Realización de documentos (integración con MS-Office)



**BENTLEY**  
GeoEngineering  
**PARTNER**

Si desea mayor información sobre los servicios que  
ABSIS brinda a la Administración Pública llámenos al:

**902 21 00 99**

# REALIZACIÓN DE ORTOFOTOGRAFÍAS DIGITALES MEDIANTE ORDENADOR UTILIZANDO EL LENGUAJE I.D.L.

David Larrea Ochoa de Aspuru.  
Ingeniero en Geodesia y Cartografía.

El presente programa se realiza como proyecto fin de carrera de la titulación superior de Ingeniería en Geodesia y Cartografía en su primera promoción, realizada en la Universidad Superior de Jaén, en colaboración con Estudio Atlas S.L.

## 1. INTRODUCCIÓN

El mayor avance que ha sufrido la fotogrametría en los últimos años ha sido la aparición y divulgación de los sistemas fotogramétricos digitales. Estos equipos no deben ser considerados como sistemas fotogramétricos analíticos que trabajen sobre imágenes digitales, puesto que sus aplicaciones, que se detallan más adelante, son mucho más avanzadas.

Desde siempre se ha utilizado la rectificación de imágenes para conseguir realizar ortofotos, pero los métodos tradicionales son lentos y la utilización de dichos ortofotos se reducía a la simple medición de distancias y ángulos sobre el papel. Al avanzar la tecnología de las imágenes en formato digital, se ha podido sustituir el sistema de tradicional de generación de ortofotos por un tratamiento informático mediante ordenadores. Las precisiones conseguidas por este sistema en la generación de ortofotos son similares a las logradas con equipos convencionales mucho más caros.

Los métodos de rectificación de imágenes digitales han avanzado espectacularmente los últimos años debido a la importancia que ha cobrado la cartografía digital, asociada muchas veces a los Sistemas de Información Geográfica y a su combinación con imágenes digitales, procedentes de la digitalización de las fotografías convencionales o bien adquiridas en formato digital.

## 2. VENTAJAS Y USOS

- La ventaja económica deriva del hecho de que un sistema digital tan sólo el software es fotogramétrico, mientras que la instrumentación es hardware de propósito general y por tanto, o bien ya se dispone de él o bien se puede adquirir a precios considerablemente menores que los de los ortoproectores.
- Una de las mayores ventajas que ofrece esta metodología, se basa en la reducción de costes en la generación de ortofotos. Ello es debido a que el proceso de obtención de

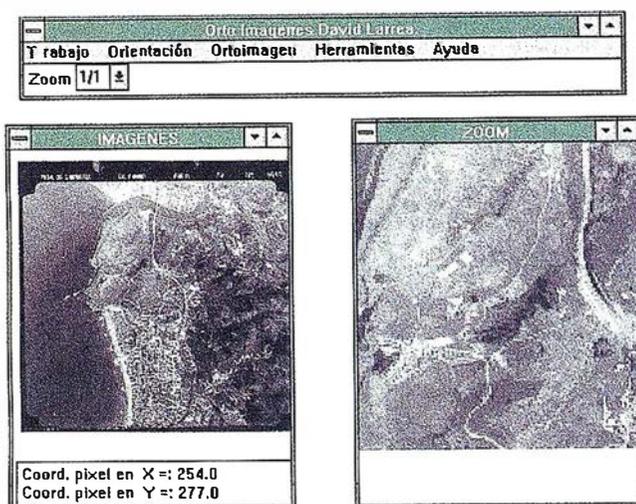


Fig. 1. Pantalla principal del programa.

las mismas es, en su mayor parte automático, reduciendo al mínimo la necesidad de operadores.

- La mejora en la calidad es tanto geométrica como radiométrica. La técnica de rectificación digital permite la consideración de modelos matemáticos sofisticados del fenómeno fotogramétrico. Pero donde mayores diferencias existen respecto a la rectificación analógica realizada por los ortoproectores analíticos, es en la posibilidad de aplicar técnicas de proceso digital de imágenes para la mejora de la calidad de la imagen y para el mosaico digital.
- Las ortofotografías digitales están geocodificadas y ofrecen al menos la misma precisión que los mapas de línea. Cada pixel tiene una posición claramente determinada en el sistema de referencia empleado.
- Las ortofotografías digitales pueden adoptar escalas variables, y a partir de una escala de consistencia se pueden derivar otras ortofotos a escalas menores.
- Son imágenes multispectrales. Al ser imágenes ráster se pueden aplicar las técnicas de clasificación. Esta propiedad de multispectralidad, es exclusiva de la ortofotografía digital y no existen en los documentos analógicos.
- Debido a sus propiedades multispectrales y multiescalares se pueden comparar con datos provenientes de teledetección con el objeto de completar el proceso de interpretación con otros canales multispectrales.

- Permiten la sobreimpresión de mapas de línea o temáticos para la formación de documentos más claros y precisos.
- En la ortofotografía digital se pueden medir fácilmente distancias, ángulos, posiciones y superficies.
- Debido a su carácter multidisciplinario, constituyen una fuente de datos muy útil para usuarios de Sistemas de Información Geográficos (SIG). Por esta razón las ortofotos constituyen un complemento esencial de cualquier aplicación SIG al ofrecer información temática específica en formato vectorial y ráster.
- Las ortofotografías pueden ser usadas como mapas sin realizarles un tratamiento estrictamente cartográfico, o bien se les puede añadir una serie de líneas, símbolos, toponimia, etc., para conseguir una mejor interpretación de la ortofotografía. También se pueden añadir colores, con el fin de facilitar su interpretación.
- Comparado con el método convencional de realizar mapas, la realización de los ortofotomapas suele ser más barata y rápida. Esto es especialmente cierto para mapas a pequeña escala y mapas de gran densidad planimétrica de información. La ortofotografía ha hecho posible realizar mapas de zonas que jamás habían sido cartografiadas, y la realización de una revisión más frecuente de la cartografía existente.

### 3. BREVE DESCRIPCIÓN DE IDL

I.D.L. (Interactive Data Language) es un completo lenguaje para el análisis interactivo y la visualización de datos científicos o de ingeniería. Combina un gran conjunto de operadores y funciones orientadas a la manipulación de matrices, simplificando el análisis y reduciendo el tiempo de programación, con numerosas técnicas de análisis y representación gráfica, tanto en dos como en tres dimensiones. Además permite una rápida y simple creación de interfaces gráficos de comunicación entre máquina y usuario (el término en inglés que emplea IDL para denominar este pequeño entorno es *widgets*).

A continuación se comentan brevemente algunas de las propiedades de las mencionadas ventajas de este lenguaje:

#### a.- *El desarrollo con matrices.*

La visualización de datos no sería nada más que la representación de bonitos “cuadritos de colores” si no hubiera herramientas que permitieran rápidas operaciones con ellas como: extraer un conjunto específico de datos, o identificar el conjunto de valores que cumplan una serie de características concretas.

IDL proporciona un amplio número de estas herramientas, repetidamente utilizadas en el presente proyecto, algunas de las cuales pasamos a detallar a continuación.

- Subconjuntos de matrices de un elemento a partir de matrices multidimensionales.
- Extracción de filas y columnas.
- Uso de unas matrices como índices para otras.

- Uso de expresiones como subíndices en matrices.
- Concatenación de matrices.
- Operaciones matemáticas con matrices.

Operar directamente con las matrices es mucho más rápido en IDL que en otros lenguajes en los que incluso para operaciones sencillas hay que utilizar bucles.

#### b.- *Entorno de widgets.*

En IDL, el interface gráfico de comunicación con el usuario (GUI) se construye con *widgets*: elementos gráficos como botones de selección, barras deslizadoras, listas, menús, etc. Programar en *widgets* es crear un interface de comunicación con el usuario, que permita responder a todo tipo de intervenciones posibles por parte de éste último. Cada vez que el usuario interactúa con el entorno que se le muestra en pantalla, pulsa un botón o selecciona determinado valor dentro de los que aparecen en una lista, entre otras cosas, se genera un evento, un suceso que el programador ha tenido que tener en cuenta. Ante cualquier evento debe de haber programada una acción que permita seguir ejecutándose al programa.

Existen siete tipos de *widgets* básicos con los cuales confeccionar un interface gráfico tan complejo como se requiera.

Debido a estos motivos que se resumen en la facilidad para efectuar todo tipo de operaciones con matrices, en la capacidad de visualización de las mismas, y en la facilidad de utilizar un interface gráfico de comunicación, se comprobó que el lenguaje IDL, era una herramienta óptima para el desarrollo del presente proyecto.

### 4. OBJETIVOS

El objetivo del presente proyecto es confeccionar Ortofotografías digitales, utilizando una plataforma PC y a un bajo coste.

Para poder realizar este objetivo se desarrolla un software informático en I.D.L. que permita la obtención de ortofotografías digitales, a un bajo coste y sin necesitar un hardware muy sofisticado.

Para poder lograr el objetivo, se decidió realizar el proceso utilizando la monoscopia, debido a que se reducirían de forma muy importante los costes.

El hardware mínimo no supera a un ordenador del tipo 486 con ocho megas de Ram.

Se eligió como ya se ha explicado anteriormente el lenguaje de alto nivel IDL, (Interactive Data Language), que es el idóneo por su facilidad a la hora de tratar la información ráster.

### 5. METODOLOGÍA UTILIZADA

Una vez realizado el proceso previo de analizar las diferentes metodologías, se debe elegir cual de ellas es la más

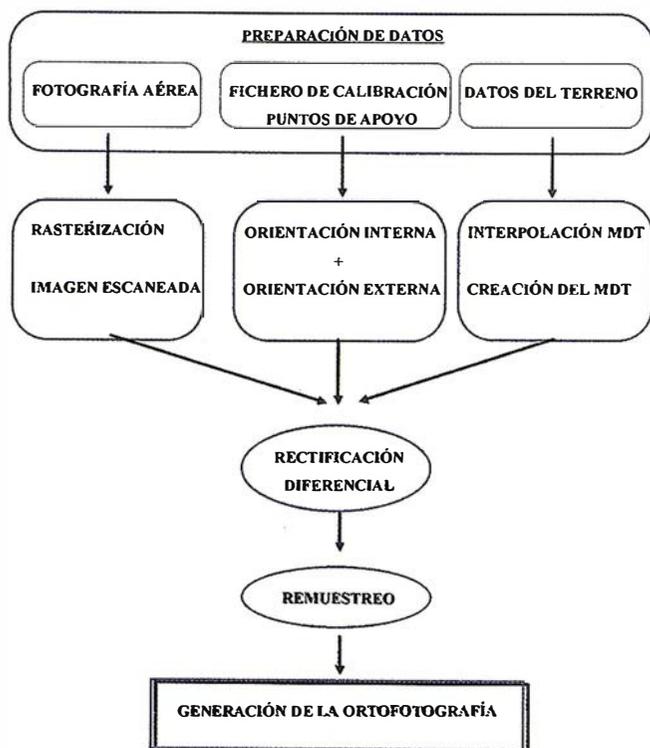


Fig. 2 Esquema del proceso de generación de una ortofotografía digital.

óptima para realizar el proyecto, por sus ventajas, o por los inconvenientes de las demás.

El proceso más importante del proyecto es la fase de rectificación, y dependiendo del método de proceso elegido, los datos de partida necesarios serán distintos. Esto significa que el método de rectificación elegido va a ser la primera elección que se debe de efectuar. Muchas de las elecciones posteriores van a depender de esta primera decisión.

### 5.1. Reparación de Datos

En el proceso estrictamente fotogramétrico para poder realizar una ortofotografía es totalmente necesario el disponer de:

- Fotografía aérea de la zona en formato digital.
- Fichero de calibración de la fotografía aérea.
- Modelo Digital del Terreno. (Caso de rectificación diferencial).

La adquisición de los datos del fichero de calibración y de las coordenadas de los puntos de apoyo se realiza mecanografiándolas en la pantalla correspondiente.

La adquisición de las marcas fiduciales así como de los puntos de apoyo se realiza con ayuda del ratón, picando en el centro de la marca fiducial o en el punto de apoyo que se necesite.

El modelo digital del terreno es necesario porque se ha elegido el método de rectificación diferencial.

La precisión final de la Ortofotografía dependerá de la precisión del Modelo Digital del Terreno.

Existen dos formas de poder adquirir un modelo digital del terreno.

La primera es adquirirlo en el I.G.N. y de esta forma sencilla disponer de él. El inconveniente que tiene, es que se trata de un proceso que encarecería el proceso de generación de la ortofotografía. Sin embargo se ha considerado conveniente que el programa tenga la posibilidad de interpretar el fichero del I.G.N. para poder realizar los cálculos.

La segunda posibilidad que tiene el programa es realizar el modelo digital del terreno a partir de la cartografía digital de la zona en formato .dxf. El programa permite la realización de un modelo digital del terreno a partir de la cartografía de la zona. Se genera una malla de triángulos por el método Delanuy y a partir de ella se obtiene el modelo digital del terreno con el paso que se desee.

### 5.2. Tratamiento de los Datos

Disponiendo de los datos anteriores se puede realizar la orientación interna y externa.

La orientación interna se realiza mediante un ajuste de mínimos cuadrados de las cuatro marcas fiduciales de las esquinas del fotograma.

La orientación externa se realiza utilizando el método de colineación. Se determinan los tres ángulos y las tres traslaciones.

El proceso de rectificación utilizado es el método diferencial, puesto que el polinómico y la transformación proyectiva sólo se pueden utilizar en el caso de terrenos prácticamente llanos.

La rectificación diferencial tiene su origen en el hecho de que se aplica sobre pequeñas zonas de la imagen. Para la realización de este proceso es necesario disponer de un modelo digital de elevaciones, MDT.

El objetivo de la rectificación de las imágenes digitales es asignar a cada uno de los elementos de la matriz del modelo digital su valor de gris correspondiente. Para la determinación del valor de gris se utiliza el siguiente procedimiento.

Las coordenadas del terreno  $X, Y, Z$  provenientes del modelo digital de la zona, son transformadas en coordenadas imagen  $x, y$ , mediante la expresión de colineación. El valor de gris, o nivel digital correspondiente a la posición imagen  $x, y$ , es obtenida mediante la aplicación de una técnica de remuestreo.

Este método es el que más operaciones matemáticas necesita, debido a que transforma cada punto de la malla distorsionada del plano imagen en el punto correspondiente en el plano terreno.

La fase de remuestreo de los datos se puede realizar utilizando el método del vecino más próximo o bien el método de interpolación bilineal.

Una vez realizados todos estos procesos disponemos ya del resultado final que es la *ortofotografía digital*.



La evolución de las Estaciones Totales Topcon continua con la integración de servomotores en los clásicos instrumentos Topcon de gama alta. Las altas prestaciones de medición, gran capacidad de cálculo, y una sencilla y amigable interface de usuario se combinan con la última tecnología en servo motores para producir una serie de instrumentos para el topógrafo de hoy día.

## ALTAS PRESTACIONES EN TOPOGRAFIA DE FORMA SENCILLA LA TOPOGRAFIA MOTORIZADA!

- Alta velocidad de movimiento de los servo
- Mecanismo de movimiento de tornillos "sin fin" y "sin-apriete".
- Sistemas de tarjeta PCMCIA / MS DOS.
- Amplio programa de topografía de campo.
- Alta precisión, altas prestaciones
- Fácil de utilizar.

### ESTACION TOTAL ELECTRONICA GTS-800 SERIES

#### DIVISION TOPOGRAFIA

Central:  
Frederic Mompou 5 - Ed. Euro 3  
08960 SANT JUST DESVERN/BARCELONA  
Tel.: 93 473 40 57 Fax: 93 473 39 32

Zona Centro:  
Av. Ciudad de Barcelona 81, 1.ª pl.  
28007 MADRID  
Tel. 91 552 41 60 Fax 91 552 41 61

Zona Norte:  
Urtzaile, 1 Bajo - Ed. Aurrera  
20600 EIBAR (GUIPUZCOA)  
Tel./Fax: 943 120 300

Zona Levante:  
Avda. Guardia Civil, 30  
46020 Valencia  
Tel./Fax: 963 62 13 25

**Begin 21**  
83 yrs. vcs. Beginning the 21st century.

E-mail: topcontp@bcn.servicom.es

# Aplicación para la Gestión de la Red Primaria de Distribución en el Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia (C.A.B.B.)

**Roberto Fernández Mencía.**  
**Director Dpto. Aplicaciones GIS.**  
**I.T. Sistemas**

## Planteamiento.

El Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia gestiona el suministro de Agua a 44 Municipios de Vizcaya con una población aproximada de 1.200.000 habitantes. Dicha gestión abarca desde el establecimiento y explotación de aguas y saneamiento de **Red Primaria**, como la gestión, mantenimiento y explotación de los abonados de las respectivas **Redes Secundarias Locales**.

El trabajo asociado a las actividades anteriores, ha generado una ingente documentación gráfica y alfanumérica, que se encontraba recogida y archivada en su mayor parte, dentro de un formato tradicional consistente en planos y documentos de manejo manual y poco acorde con la demanda que de estos históricos se precisa tanto dentro del propio C.A.B.B. como por otras administraciones exteriores.

En el mes de Marzo del pasado año, el C.A.B.B. encargó a COINPASA - ITS, ahora I.T. Sistemas, la realización de los trabajos denominados "Asistencia Técnica para la creación de un módulo informático para la gestión de la información gráfica y alfanumérica de la Red Primaria del Consorcio de Aguas" con objeto de elaborar la metodología y el soporte informático necesario para la gestión de dicha información. I.T. Sistemas ha desarrollado desde entonces y hasta el mes de Enero del presente año dicho proyecto, que en la actualidad se encuentra totalmente operativo y en fase de explotación. Las tareas en las que se estructuró el proyecto y que se han venido desarrollando son las siguientes:

- Estudio de las necesidades.
- Análisis de la aplicación.
- Desarrollo de la aplicación.
- Instalación del sistema.
- Formación y mantenimiento.

Cada una de las fases anteriores fueron documentadas y validadas por los técnicos del Consorcio, lo que ha permitido obtener, a la fecha de finalización del proyecto, una aplicación que se ajusta plenamente a las necesidades que originalmente se planteaban. El presente artículo presenta de forma general los aspectos más relevantes de la aplicación desarrollada.

## El Sistema de Información Geográfica: Smallworld GIS.

El C.A.B.B. ha seleccionado para abordar el proyecto G.I.R.A. (Gestión Integral de Redes de Abastecimiento) dentro del cual se engloba el proyecto de Red Primaria a **Smallworld GIS** como software básico sobre el que desarrollar el conjunto de las aplicaciones.

**I.T. Sistemas** tiene suscrito un contrato de V.A.R. (Value Added Reseller) con Smallworld Systems España S.A., lo que le permite abordar tanto el desarrollo de aplicaciones como la venta de licencias de dicho software.

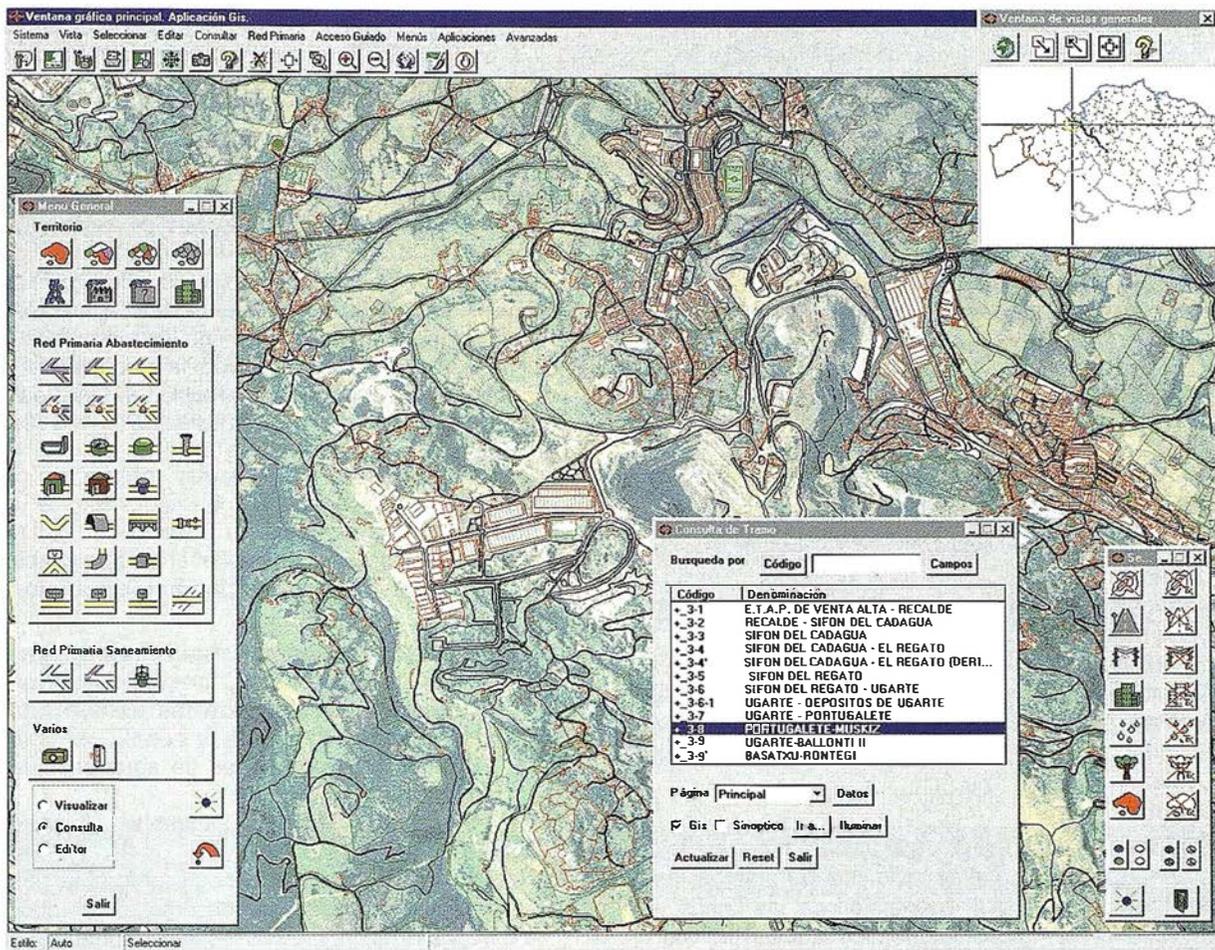
Smallworld GIS es un avanzado Sistema de Información Geográfica en el entorno cliente-servidor, líder en la implantación de soluciones GIS, tanto en el tradicional mercado de la administración como en el de las empresas de servicios que operan con redes complejas (agua, gas, electricidad, telecomunicaciones, transportes, etc.).

Para el desarrollo de la Aplicación de Red Primaria, han sido especialmente notables las siguientes características de Smallworld GIS:

- **Entorno de desarrollo:** Disponer de una herramienta CASE, incluyendo un entorno de desarrollo orientado a objeto, ha facilitado la tarea de definición del modelo de datos, acortando los plazos de puesta en marcha y garantizando la evolución del sistema para atender a futuras aplicaciones.
- **Base cartográfica continua.** El ámbito geográfico que abarca la Red Primaria es muy amplio, y el hecho de disponer de una cartografía de base sin subdivisión de capas ni hojas y de un modelo topológico capaz de tratar la estructura de la red de forma conjunta son indispensables.
- **Entorno multiusuario.** El mecanismo de transacciones largas manejando múltiples versiones de la base de datos sin necesidad de copias ni duplicación de datos, ha sido de vital importancia en la fase de formación, permitiendo el trabajo de varios usuarios simultáneamente.
- **Integración con sistemas externos.** La aplicación se ha instalado en un entorno Windows NT y se ha integrado con el entorno Microsoft Office a través de los estándares ODBC y OLE.

## Descripción de la información.

Se describen a continuación los elementos que componen el Modelo de Datos de la Aplicación de Red Primaria, junto con una referencia a parte de la información que de cada uno de ellos se recoge. La información se ha estructurado en:



- Trazado de la Red: Descripción de las Conducciones que forman los Sistemas de Abastecimiento y las Obras de Emergencia.
- Embalses, depuradoras y depósitos: Como componentes fundamentales de una Red Primaria para captar, depurar y ofrecer servicio a los sistemas de abastecimiento secundarios respectivamente.
- Elementos Singulares: Salas de Válvulas, Estaciones de Bombeo y Arquetas como conjunto de mecanismos para operar y gestionar la red.

- Sistema Zadorra
- Margen Izquierda (M.I.).
- Margen Derecha (M.D.).
- Interconexión M.D. y M.I.
- Venta Alta - San Vicente.
- Uribe Costa.
- Txorierre Este.
- Ordunte.
- Zollo.
- Medio Nervión.
- Munguesado.
- Venta Alta - San Vicente, Lekubaso, Lekue, El Gallo - Erletxes y Txorierri Este.

## Sistemas de Abastecimiento y Obras de Emergencia.

En un nivel general, la Red Primaria de Abastecimiento se encuentra organizada en **Sistemas de Abastecimiento** o **Arterias** con entidad propia; constituyen las unidades hidráulicas de explotación, operativas por sí mismas y que permiten su uso inmediato, bien por el área geográfica en que se desarrollan o bien por el servicio hidráulico que rinden. Cada uno de los Sistemas de Abastecimiento se encuentra dividido en **Tramos o desgloses**, y por último, cada uno de los Tramos de la red está constituido por las **Conducciones**, físicamente formadas por tuberías, secciones reforzadas, túneles, sifones, acueductos, tuberías de transición de diámetro, acometidas, etc. Los Sistemas de Abastecimiento son los siguientes:

Las **Obras de Emergencia** que se han venido realizando para aportar suministro adicional se han incorporado a los Sistemas ya existentes, se han estructurado de forma similar en tres niveles: **Obras de emergencia, Captaciones y Conducciones**.

Tanto de los Sistemas de Abastecimiento con sus Tramos de desglose como de las Obras de Emergencia con sus captaciones, se recoge información general y administrativa. La información general mantiene un histórico de los hechos más relevantes mientras que la administrativa recoge datos de las empresas constructoras, presupuestos, valoraciones, etc.

Por lo que respecta a las conducciones, se recoge información descriptiva de cada uno de los elementos incluyen-

do entre otros datos: diámetros, materiales, longitudes, caudales, pendientes, etc.

El trazado geométrico de la Red Primaria de Abastecimiento, es decir, las coordenadas U.T.M. que definen el trazado de las tuberías se ha incorporado a la aplicación, producto de un levantamiento topográfico previo, en el que se habfan identificado y codificado cada uno de los **Vértices** o puntos significativos (cambios de rasante y/o vértices en planta) que definen la red. De forma complementaria, se han incorporado y codificado cada uno de los **Codos** y **Macizos de anclaje** de las conducciones de la red.

## **Embalses, Depuradoras y Depósitos.**

En los Embalses y las Presas se recoge información de su ámbito geográfico con los datos geométricos, datos económico administrativos, datos topográficos y geológicos junto con los propiamente hidráulicos: instrumentación, aliviaderos, etc.

- Ullibarri Gamboa.
- Urrunaga - Sta. Engracia.
- Undurraga.
- Lekubaso.
- Kurzeta (Zollo).
- Artiba.
- Nocedal.
- Oyola.
- Ordunte

Para las **Depuradoras**, además de la ubicación geográfica y planos generales y fotografías se recogen datos de las características de las aguas, descripción de las líneas y datos de tratamiento, datos económico administrativos, datos generales y técnicos.

- Venta Alta.
- Sollano (Zalla).
- Lekue.
- Cruces (Basatxu).

Los **Depósitos** mantienen información referente a dimensiones, capacidad, detalles constructivos, municipios o industrias a los que da servicio, etc.

## **Elementos Singulares.**

Se denominan Elementos Singulares a aquellos que están compuestos a su vez por otra serie de elementos o componentes. En la aplicación de Red Primaria se ha definido los siguientes:

- Salas de Válvulas.
- Estaciones de Bombeo.
- Arquetas.

Cada uno de ellos, además de su ubicación geográfica y datos técnicos de cada uno, mantienen una referencia a los elementos pueden formar parte de ellos:

- Tuberías.
- Válvulas.
- Bombas.
- Filtros.
- Ventosas.
- Caudalímetros.
- Acumuladores.
- Estabilizadores.

- Carretes.
- Compuertas.
- Juntas.
- Desagües.
- Contadores.
- Etc

Desde el punto de vista operativo de la aplicación, los elementos singulares son capaces de desplegar nuevos espacios de trabajo (nuevas ventanas) con indicación de todos sus componentes. Estos espacios de trabajo no son únicamente "planos de explosión" sino que mantienen la continuidad topológica con los elementos de la red del nivel superior. De esta forma, la modificación del estado de cualquier componente (accionamiento de una válvula) modifica la el comportamiento de la Red Primaria en su conjunto.

## **Otra información.**

Como datos generales y complementarios a los datos de la Red Primaria se recoge información relativa a los siguientes aspectos:

- Evolución de las industrias y municipios abastecidos: Consorciados, no consorciados y con convenio a lo largo de los años, en forma de históricos.
- Evolución de volúmenes de agua suministrados a municipios e industrias.
- Descripción de bienes inmuebles: Ubicación, destino funcional, etc.
- Archivo histórico de planos y fotografías de todos los elementos que se han descrito con anterioridad.
- Organización, medios técnicos, humanos, etc.

## **Información cartográfica de base.**

Como información cartográfica de base sobre la cual ubicar y relacionar la Red Primaria de Abastecimiento se ha utilizado, por un lado cartografía 1:5.000 de Vizcaya y por otro Ortofoto Color 1:25.000 del mismo ámbito geográfico:

- La cartografía 1:5000, se consideró como la óptima para el nivel de precisión requerido. El origen de los datos fueron hojas publicadas por la Diputación Foral de Bizkaia en forma de ficheros DXF.

Se procedió a la carga y traducción de las hojas cartográficas, asignando "objetos" Smallworld a las "capas" del DXF, consiguiéndose, desde el punto de vista del usuario de la aplicación una cartografía continua. Con objeto de facilitar la manipulación de la información cartográfica se agruparon las más de 200 capas en los siguientes temas: Altimetría, Vías de Comunicación, Conducciones, Edificaciones, Hidrografía y Vegetación con sus correspondientes topónimos.

Igualmente se habilitaron los mecanismos para que los propios técnicos del Consorcio puedan ir actualizando la cartografía medida que se vayan publicando nuevas hojas.

- Las Ortofotos Color de Vizcaya fueron realizadas por el Gobierno Vasco, procediéndose a la traducción del formato TIFF y posterior georeferenciación.

Adicionalmente, y como información de base más estructurada, se procedió a la carga de:

- Límites Administrativos: Provincias, Comarcas y Municipios.
- Red Hidrográfica: Pantanos, Ríos, Afluentes y Arroyos.

## Descripción general de la aplicación.

El objeto principal del alcance del proyecto fue recopilar y hacer accesible de forma inmediata toda la información existente sobre la Red Primaria de Abastecimiento, así como habilitar los procedimientos para ir completando la información que aún no estaba disponible. La aplicación, en este sentido, se configura como un entorno abierto en el que la información se irá completando y actualizando con el transcurso del tiempo; este aspecto se ha cuidado especialmente, la aplicación ofrece unos mecanismos sencillos para la actualización de la información, entre ellos cabe destacar los siguientes:

- Actualización y carga de datos interactiva en pantalla.
- Carga de datos a partir de formatos predefinidos en Access o Excel.
- Carga de información a partir de ficheros DXF.
- Carga de planos y esquemas a partir de planos escaneados.

- Vinculación de fotografías a elementos de la red.
- Digitalización en pantalla sobre fondo raster (planos escaneados).

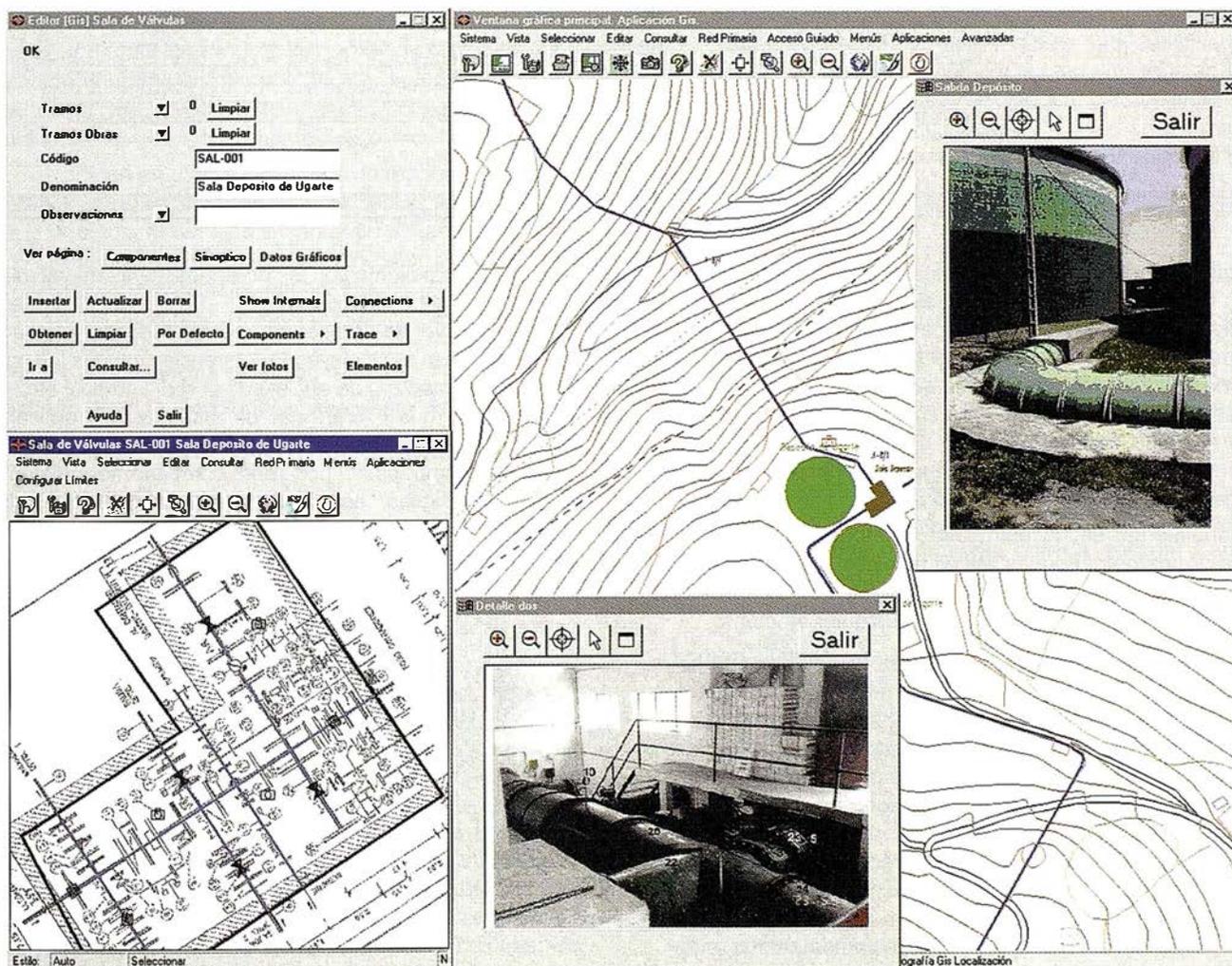
Se han definido distintos grupos de usuarios de acuerdo al uso que cada uno de ellos va a hacer de la aplicación, son los siguientes:

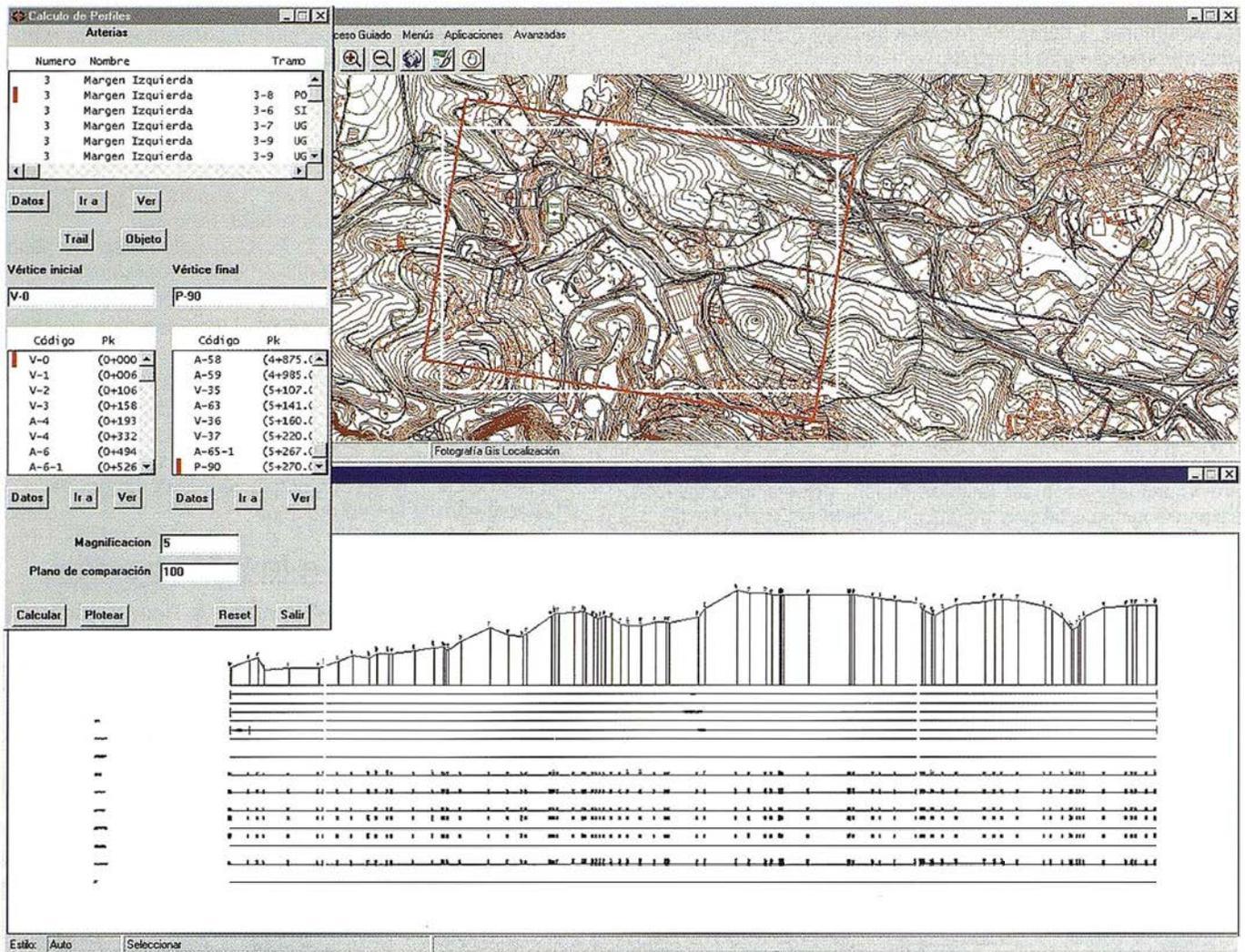
- Grupo de administración: Labores de gestión de la propia instalación de la base de datos.
- Grupo de actualización: Con posibilidad de incluir nuevos datos y actualizar los ya existentes.
- Grupo de consulta: Únicamente consultan los datos previamente incorporados y hacen uso de aplicaciones cerradas.

Cada usuario pertenece a uno de los anteriores grupos, de forma que al empezar a operar con la aplicación se le solicita un nombre y su correspondiente clave de acceso, el sistema automáticamente controla los privilegios de dicho usuario y le sitúa en la interfaz de usuario que le corresponde. Acceso guiado a la información.

## Acceso guiado a la información.

Parte fundamental de la Aplicación de Red Primaria es la facilidad para la consulta y visualización en pantalla (o en salidas gráficas a dispositivos de impresión) de los elementos que forman parte de la red.





Los elementos de la red se han jerarquizado y se han habilitado los procedimientos para ir avanzando en el nivel de detalle requerido: Herramientas para el acceso guiado a la información. Dada una arteria se podrán conocer sus tramos de desglose, dado un tramo se conocerán las conducciones que la forman, dada una conducción se conocerán sus Vértices, Codos y Elementos Singulares. Conocido un Elemento Singular se accederá a sus componentes: válvulas, carretes, ventosas, juntas, filtros, etc.

Adicionalmente, se ha estructurado información de cada elemento: datos generales, datos técnicos, datos geográficos, datos esquemáticos, etc., de forma que es sencillo acceder a cualquier información de cualquier elemento.

Los mecanismos para la visualización en pantalla se han simplificado, de esta forma existe dos formas de operación:

- Una **automática** en que la aplicación automáticamente visualizará unos elementos u otros en función de la escala actual de visualización, con tres niveles de visualización más uno adicional para determinados elementos:
  - **Nivel general:** En él aparecen únicamente los elementos básicos de la red: Arterias principales, depósitos, embalses y depuradoras.
  - **Nivel de trabajo:** Aparecen los elementos ante-

rios junto con los bombeos, salas de válvulas y puntos singulares.

- **Nivel de detalle:** Aparecerán todos los elementos de la red incluyendo referencias a todos los codos y macizos de anclaje de la red, vértices, etc.
- El **nivel adicional** de visualización aplicará a todos aquellos elementos de la red que están compuestos por más componentes (salas de válvulas, estaciones de bombeo y arquetas). Para este fin se desplegarán ventanas adicionales de gran nivel de detalle.
- Otra **manual** en que el usuario, en cualquier estado de visualización, podrá añadir o eliminar los elementos que se estén visualizando.

## Sinópticos y esquemas de abastecimiento.

Si bien la información de la red se encuentra almacenada en el Sistema de Información Geográfica en sus coordenadas reales, para determinadas aplicaciones es conveniente que la estructura de la red no se muestre de esta forma. Para la gestión de consumos, suministros, lecturas de presiones, históricos,... y en general para representaciones de

la red en forma de sinópticos, es más interesante la estructura y conexión lógica de la red en forma esquemática que su representación física.

Es por ello que la aplicación de Red Primaria no sólo cuenta con la representación geográfica de la red, sino que se le ha dotado de lo que denominaremos esquemas o sinópticos de la red. Para ello, se han utilizado los mecanismos de representaciones múltiples de Smallworld, por los cuales un mismo objeto puede tener representaciones en múltiples "mundos"; en el caso que nos ocupa, en el mundo cartográfico y en el mundo esquemático.

En el sinóptico aparecen representados los elementos de la red (en forma de iconos) y relacionados en función del papel que desempeñan en la lógica del abastecimiento.

Un ejemplo en el que se ha empleado la representación en sinópticos, es la visualización de los volúmenes de agua suministrados en cada una de las tomas de abastecimiento a los municipios: En el sinóptico se muestran las arterias, depósitos y puntos de toma junto con el dato adicional de suministro de cada punto en un intervalo de tiempo determinado.

## Perfiles longitudinales.

El levantamiento topográfico de la red, incluyó, además de las coordenadas x, y de cada uno de los Vértices que definen el trazado de las conducciones, la cota sobre el terreno de los mismos. Utilizando dicha cota, es posible la elaboración de los perfiles de la red.

El módulo de cálculo de perfiles permite la visualización e impresión del perfil en planta y alzado del trazado longitudinal de la red. En el perfil aparecen identificados los siguientes datos de los elementos de la red:

- Vértices en planta y cambios de rasante.
- Cotas sobre el terreno y profundidad de la tubería.
- Códigos, materiales y diámetros de las tuberías.
- Arquetas, galerías, acueductos, sifones y puntos singulares: macizos, codos, etc.
- Datos de la piezométrica de servicio y caudal de transporte.
- PKs y distancias parciales reales.

El usuario puede seleccionar el segmento de la red sobre el cual obtener el perfil:

- Una arteria completa.
- Un tramo de una arteria.
- Un segmento de la red identificado por dos puntos o elementos singulares seleccionados.

## Interferencias con otros servicios.

Tanto para el mantenimiento de la red de abastecimiento como el trazado de nuevos proyectos es importante conocer los puntos de corte o interferencias con otras redes de abastecimiento o de comunicación.

Este módulo de la aplicación permite la identificación de los puntos de corte de la Red Primaria con cualquiera de las otras redes que se hayan introducido como información adicional en la base de datos geográfica. La aplicación identifica cada uno de los puntos de corte, los hace visibles sobre la cartografía de fondo e informa de las características más relevantes de cada uno de ellos. Los

puntos de corte, pueden incluso, almacenarse de forma permanente en la base de datos para su posterior consulta y tratamiento.

La aplicación es capaz de operar con cualquier tipo de red lineal que se incorpore a la base de datos, de esta forma, a medida que se vaya recogiendo la información, se podrán operar con las interferencias en servicios tales como:

- Hidrografía.
- Carreteras.
- Ferrocarril.
- Gas.
- Telefónica.
- Electricidad.
- Saneamiento.
- Etc.

## Conexión con Telecontrol.

El C.A.B.B. dispone de un sistema de Telemando y Telecontrol bajo entorno UNIX ubicado en las instalaciones de Venta Alta que permite tanto la monitorización del estado de cada uno de los elementos de la Red Primaria como su control para la gestión del suministro. Se han desarrollado los mecanismos de comunicación entre el Sistema de Información Geográfica y el Sistema de Telecontrol de forma que es posible la realización de las siguientes actividades:

- Localizar geográficamente cada uno de los elementos de los que el sistema de Telecontrol recoge información. Para la realización de esta tarea se han identificado los puntos de control con los elementos definidos en el Sistema de Información Geográfica: Caudalímetros, estaciones de muestreo, etc.
- Acceder al valor instantáneo de cada una de los parámetros que se miden:
  - Nivel de altura de depósitos.
  - Caudales.
  - Presiones de bombeo.
  - Calidad de las aguas: cloración,...
- Acceder a valores históricos de todos los elementos.
- Relacionar, por medio de las herramientas de la Aplicación, dichos valores con el resto de los elementos de la red.

## Gestión Contadores.

Como módulo adicional a la aplicación de Red Primaria, se ha construido una herramienta para la gestión y archivo histórico de los datos concernientes a los volúmenes de agua suministrados en Red Primaria a los usuarios de la misma: Municipios e Industrias.

Se han codificado e identificado cada uno de los contadores de los cuales se efectúan lecturas (manuales o automáticas a través del módulo de Telecontrol). Los contadores han sido posicionados geográficamente en su ubicación dentro del esquema de la red de distribución. A cada uno de los contadores se les ha asociado el municipio o la industria a la que abastecen y opcionalmente otros contadores de descuento.

Se han habilitado los procedimientos para la entrada mensual de lecturas de cada contador, y los procedimientos de cálculo de facturación. Se han elaborado los informes

Menu Contador

<< < 1998 > >> Año Añadir Mes << < 9 > >>

Municipios  Industrias  Especial

Municipio BARAKALDO

Nombre	Tipo	Estado
ATXONDO	municipio	No Consorciado
AULESTI	municipio	No Consorciado
BAKIO	municipio	No Consorciado
BALMASEDA	municipio	No Consorciado
BARAKALDO	municipio	Consorciado
BARRIKA	municipio	No Consorciado
BASAJURI	municipio	Consorciado
BEDIA	municipio	No Consorciado
BERANGO	municipio	Consorciado
BERMEO	municipio	No Consorciado
BERRIATU	municipio	No Consorciado
BERRIZ	municipio	No Consorciado

Editar Ir a Ver Informes

Contadores ALONSOTEGUI BARAKALDO Cesiones

Contador	Lectura	Cesiones	Contador	Lectura	Descue...
AHV SESTAO	922470	0			
ALONSOTEGUI ...	161268	0			
C.E.P.S.A.	76045	0			
OXINORTE S.A.	339197	0			
RONTEALDE	499050	0			
SEFANITRO	294640	0			

Editar Ir a Ver Añadir \/\ Borrar \/\ Añadir \/\ Borrar \/\ Editar Ir a Ver

Todos los Contadores LEIOA-GAZTELUETA

Codigo	Nombre	Tipo
LAUKINIZ BOMBEO		
LAUKINIZ MANANTIALES		
LEIOA KURKUDI-3		
LEIOA-GAZTELUETA	LEIOA	municipio
LEIOA-LIBOA		
LEIOA-UNIVERSIDAD	LEIOA	municipio
LEIOA/EST.RECURSOS PROP.		
LEJONA 2	LEIOA	municipio
LEJONA DPTO GAZTELUETA 3		

Interior Editar Ir a Ver Exterior Editar Ir a Ver Actualizar

Salir

periódicos relativos a los datos de suministro en el llamado Resumen Hidráulico mensual que contiene:

- Lecturas de cada uno de los contestadores.
- Facturación calculada a cada municipio e industria.
- Informe y gráfica con la evolución del suministro de cada contador y conjunta de cada municipio.

## Conclusiones

- Smallworld GIS se ha mostrado como herramienta idónea en el proyecto de Red Primaria y ha permitido la definición formal de un **Modelo de Datos**.
- Se han elaborado los procedimientos para la carga, formación y mantenimiento de los elementos de la Red.
- La disponibilidad estructurada de la información permitirá ampliar la actual aplicación con nuevos módulos: Parcelario, estrategia de averías, nuevos proyectos, etc.
- **I.T. Sistemas** está en disposición de desarrollar e implantar Aplicaciones GIS para la gestión integral de Aguas, tanto en Red Primaria como es el caso del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia como en Red Secundaria en el caso del proyecto que actualmente está abordando en A.M.V.I.S.A. (Aguas Municipales de Vitoria).

## REGALO DE UNA LICENCIA DEL SOFTWARE ISOGRAF

*para el curvado automático del terreno con el alquiler de equipos topográficos*

Servicios Técnicos Gorbea, S.L., empresa de Vitoria (Álava), dedicada a la distribución y alquiler de productos topográficos, sistemas de información geográfica GIS y sistemas GPS; ofrece la posibilidad de obtener GRATUITAMENTE una licencia del software ISOGRAF para el curvado automático del terreno.

Dicha licencia será regalada al realizar el primer alquiler de instrumentos topográficos a cualquier persona, que acredite pertenecer a uno de los colectivos a los que SERVICIOS TÉCNICOS GORBEA, ha remitido la oferta, entre los que podemos citar: diferentes colegios oficiales, escuelas de formación técnica, recién licenciados...

La presente oferta intenta facilitar el acceso de dichos colectivos al alquiler de todo tipo de instrumentos topográficos (estacio-

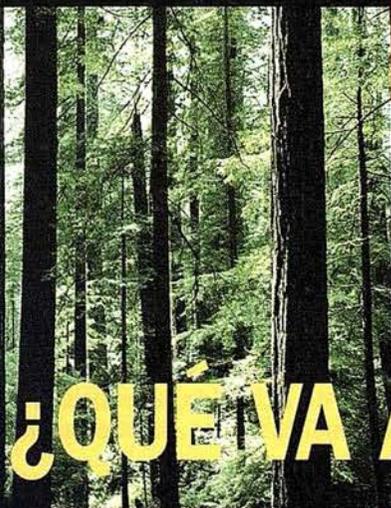
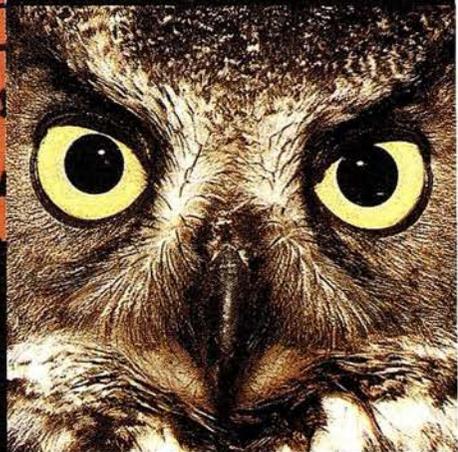
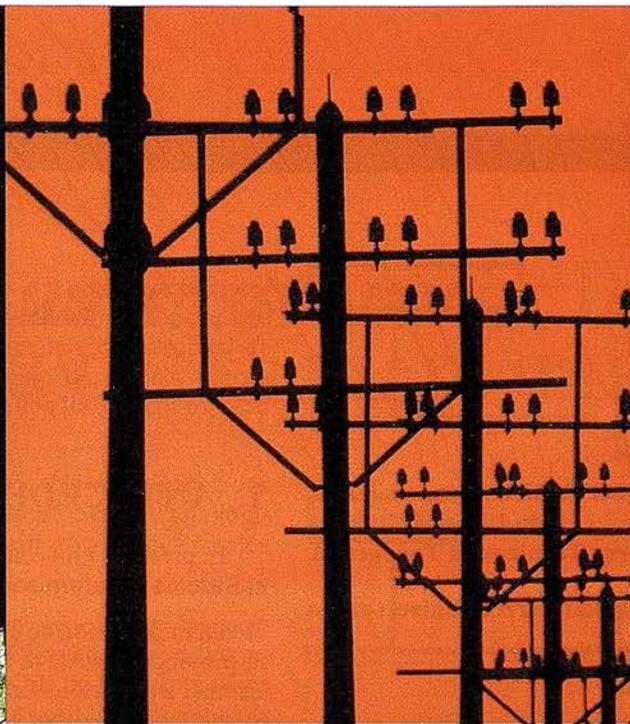
nes, niveles ópticos y láser, GPS y accesorios) que la empresa dispone.

ISOGRAF, es un software, valorado actualmente en 25.000 ptas., que posee las siguientes características:

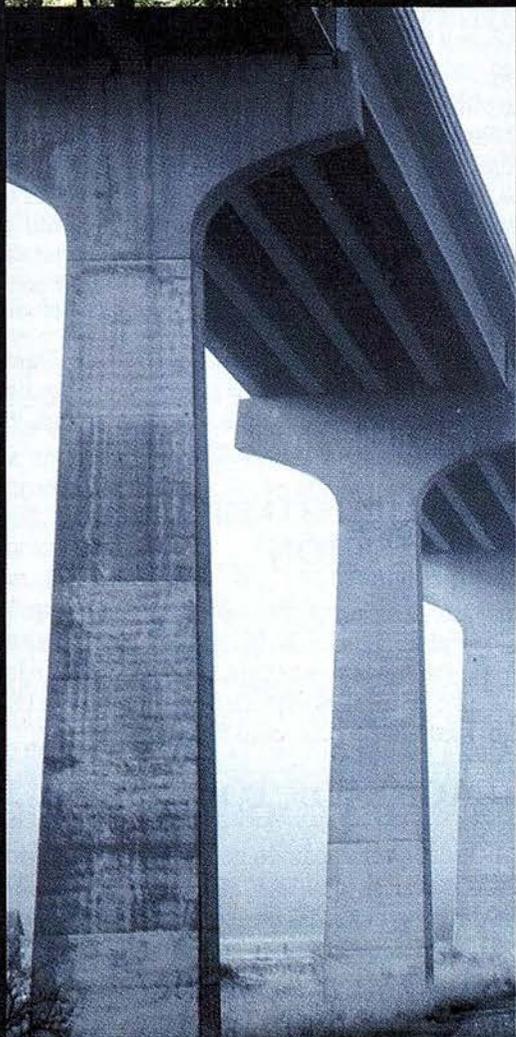
- Realiza a partir de una nube de puntos (ASCII o DWG) un curvado matemático (DXF), contemplando líneas de ruptura, zonas ocultas, puntos duplicados, puntos erróneos.
- Adecuado para ingenieros no informáticos.
- Muy compacto y de utilización simple.
- Funciona bajo AutoCad.

La validez de la presente oferta es hasta agotar existencias y para obtener información sobre: disponibilidad de equipos, precios, saber si usted se podría beneficiar o sugerir incluir a algún otro colectivo en esta oferta, deben ponerse en contacto con:

SERVICIOS TÉCNICOS GORBEA  
PARQUE TECNOLÓGICO DE ALAVA  
01510 MIÑANO MAYOR - ALAVA  
Tel. 945-298085 - Fax. 945-298084  
E-mail: estuds01@gruportlas.com



## ¿QUE VA A CARTOGRAFIAR HOY ?



Canalizaciones, accidentes ambientales, postes de electricidad y telefonía, reservas forestales, mobiliario urbano.... No importa que o donde esté usted cartografiando, Trimble le ofrece soluciones simples para atender sus necesidades, con una línea de sistemas GPS para cartografía y recogida de datos para SIG, versátil y poderosa. Las soluciones de Trimble incluyen desde sistemas portátiles hasta estaciones bases, todos ellos con la garantía del líder mundial del mercado GPS. Usted cuenta ahora, con el apoyo y soporte de Santiago & Cintra Ibérica, una compañía dedicada exclusivamente a la distribución de equipos GPS para aplicaciones de topografía y cartografía.

Llámenos y le proporcionaremos toda la información que nos solicite.

(c)1998 Trimble Navigation Limited. Todos los derechos reservados. Trimble con el logo de Trimble y la Estación Total GPS son marcas registradas de Trimble Navigation Limited, registradas en las Patentes de los Estados Unidos y Trademark Off. Todas las otras marcas son propiedad de sus respectivos dueños.

 Trimble

 **SANTIAGO  
& CINTRA**

DISTRIBUIDOR EN ESPAÑA  **Trimble**  
Santiago & Cintra Ibérica, S. A.  
Vía de las dos Castillas, nº 33. ATICÁ. Edificio 7.  
28224 Pozuelo de Alarcón, Madrid (ESPAÑA)  
Tel.: 34 91 715 37 36. Fax: 34 91 715 03 62.  
E-Mail: scintra@mad.servicom.es

# OPTIMIZACIÓN DE RECORRIDOS EN LA RED VIARIA ALAVESA

Miguel Fariñas Sáenz de Pobes.  
Ibon Ulibarri Urretxu.  
Ingenieros Técnicos en Topografía.

Universidad del País Vasco. Euskal Herriko Unibertsitatea

## 0. INTRODUCCIÓN

El presente Proyecto Fin de Carrera surgió como aplicación de un Sistema de Información Geográfica a la red viaria alavesa, es decir, la obtención de recorridos óptimos entre las cabezas de municipio de la provincia de Álava.

Estas distancias pueden conseguirse en función de:

- el número de cruces
- la distancia comprendida entre los pueblos
- el tiempo estimado en recorrer la distancia entre las poblaciones elegidas

Para determinar el tiempo que se invierte en recorrer las distancias se han tenido en cuenta diversos factores. Estos son las velocidades máximas, mínimas e intermedias, en función del tipo de carretera por la que se tenga que circular, y del tipo de vehículo empleado (coche, camión o autobús). También se consideró la posibilidad de introducir más condicionantes como la climatología, el tránsito soportado por cada vial, la hora del día, etc., aunque finalmente se desechó.

El método más eficaz para lograrlo es el empleo de un Sistema de Información Geográfica. Concretamente se utilizó ASCODES, por tratarse del más adecuado para la ejecución del mencionado Proyecto. Este proyecto se realizó sobre Estaciones de Trabajo, aunque en la actualidad ya existe una versión que funciona sobre PC. En la gestión de recorridos óptimos se ha tenido en cuenta la posibilidad del corte de carreteras por cualquier circunstancia (obras, nieve, etc.) de manera que se pueda acercar la aplicación lo más posible a la realidad.

Asimismo, también se ha creado una Base de Datos actualizable con información de los pueblos y municipios alaveses: altitud, número de habitantes, localidades pertenecientes a cada municipio, etc.

También se han realizado unos modelos tridimensionales, en los que representamos las distancias de todos los pueblos al elegido en cuestión.

## 1. ANTECEDENTES

El presente Proyecto Fin de Carrera, se ha realizado con el Sistema de Información Geográfica ASCODES.

La información de partida ha sido el mapa digitalizado de la provincia de Álava a escala 1/200.000, facilitado por la Excm. Diputación Foral de Álava.

Puesto que la escala de 1/200.000 tiene un error de captura de 40 metros, consideramos que la escala era perfectamente apropiada para el trabajo que nos proponíamos.

Inicialmente teníamos previsto tener en cuenta diversos aspectos como los datos meteorológicos, la hora del día a la que se circulara, etc. Ya que éstos tienen su incidencia en la conducción. No obstante no los hemos llegado a utilizar porque un auténtico análisis de la información anterior se saldría del propio interés topográfico, y siempre tendría un mayor "peso" en el tiempo del recorrido la velocidad del usuario del vehículo, independientemente de otras circunstancias.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo primordial del presente proyecto, ha sido la obtención del recorrido óptimo entre distintas localidades alavesas. Para ello hemos querido hacer hincapié en las diversas velocidades que se pueden alcanzar según el tipo de carretera. La aplicación sólo se ha efectuado sobre las capitales de municipio de la provincia de Alava, puesto que el trabajo que supondría aplicarlo a todos los enclaves sería bastante elevado y se saldría en exceso del propósito de demostrar conocimientos topográficos.

Como objetivo secundario está la Base de Datos con información referente a los pueblos alaveses, puertos de montaña, áreas de servicio, parques naturales, campings, etc., de evidente interés turístico e informativo.

## 3. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Se traspasó la información de formato DXF (con una precisión de tres decimales) a ASCODES para poder utilizar la cartografía facilitada por la Diputación Foral de Alava. El traspaso se hizo en formato ASCII, desde un PC a la Estación de Trabajo, mediante el protocolo FTP.

## 4. CREACIÓN DE TOPOLOGÍA

Un S.I.G. debe ser capaz de generar topología tridimensional. Es decir, si poseemos una "nube de puntos", con altitud y una serie de líneas definidas en el espacio, pueden generarse

de forma automática las curvas de nivel y obtenerse perspectivas, por ejemplo. Nosotros hemos generado unos mapas de este tipo a partir de las distancias que hay de la capital de municipio que podemos elegir al resto de poblaciones de Álava. Lo que se guarda en memoria son los triángulos, pero no las curvas de nivel.

Los modelos Tridimensionales también son conocidos como Modelos Isopléticos y tienen como cualidad topológica, la continuidad homogénea. Su primitiva gráfica son los puntos.

Los grafos, sin embargo son estructuras gráficas compuestas por líneas, que en nuestro caso la forman la red de carreteras de la provincia de Álava. También la podrían formar una red hidrográfica, por ejemplo. Aquí la cualidad topológica es la conectividad.

En la topología de grafos hay dos elementos: el principal es el NODO, que es todo punto al que llegan 3 tramos al menos; y los TRAMOS, que son las líneas existentes entre dos nodos. En principio, todo corte de líneas geométricas genera un nodo. Pero esto no es del todo cierto puesto que en el caso de un puente, no habría dos tramos, sino uno. De la misma manera, puede haber un nodo en una recta si hay un cambio de velocidad.

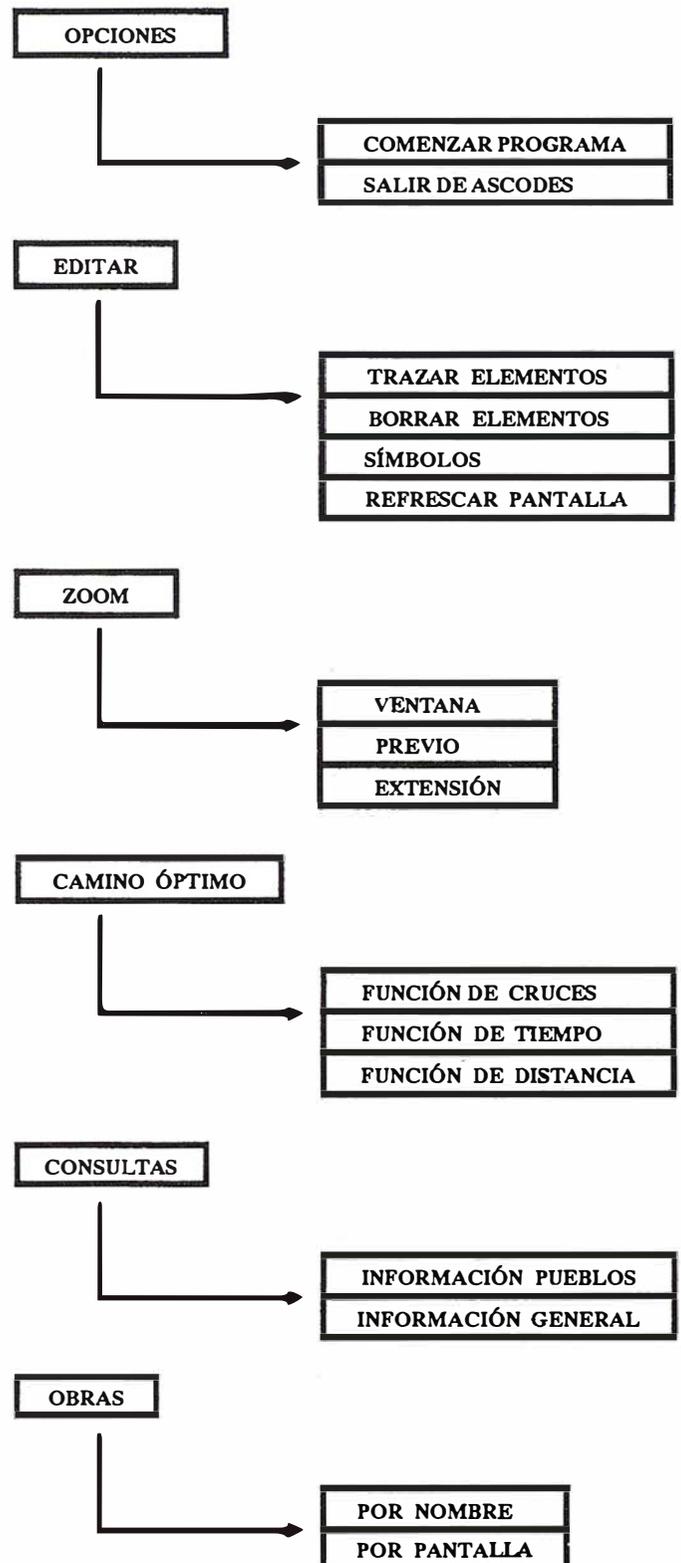
Gracias a esta topología es posible gestionar el camino mínimo entre dos puntos de una red de carreteras.

Uno de los procesos que más complicación tuvo fue la creación de la Topología, debido a que la información contenida en el disquete que nos proporcionó la Diputación Foral de Alava no estaba estructurada. Esto es, los cruces que forman las carreteras de la red o bien no llegaban a cortarse o se cruzaban, con el consiguiente problema a la hora de estructurar esta información. Para solventar esta dificultad pensamos en varias alternativas. La idea de hacer un programa que lo resolviera automáticamente enseguida fue desechada ya que en numerosos casos existen carreteras muy cortas que comunican con determinados pueblos y por contra, en el mapa digitalizado había errores de carreteras que no llegan a cruzarse cuyo error es superior. Por lo tanto, pensamos en otra solución. Ésta fue crear un programa que sobre el mapa nos señalara todos los puntos que cumplieran la condición de ser cruce de dos o más carreteras. Una vez localizados estos puntos, tuvimos que ir revisando manualmente cada uno de estos cruces, comparándolo con el mapa en papel que también nos facilitó la Diputación, y en cada caso tomar la decisión que correspondiera. Hay que tener en cuenta el considerable número de puntos a revisar. Para hacernos una idea, puede considerarse que la red de carreteras de la provincia de Alava está compuesta por alrededor de seiscientas carreteras.

Con la Topología ya creada pudimos comenzar a hacer pruebas de cálculos de caminos mínimos, que era el propósito último del proyecto.

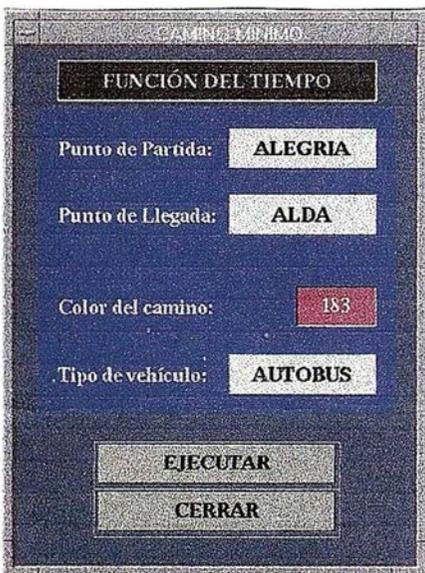
## 5. GUÍA DEL PROGRAMA

Estas son las distintas opciones del programa con sus respectivos submenús.



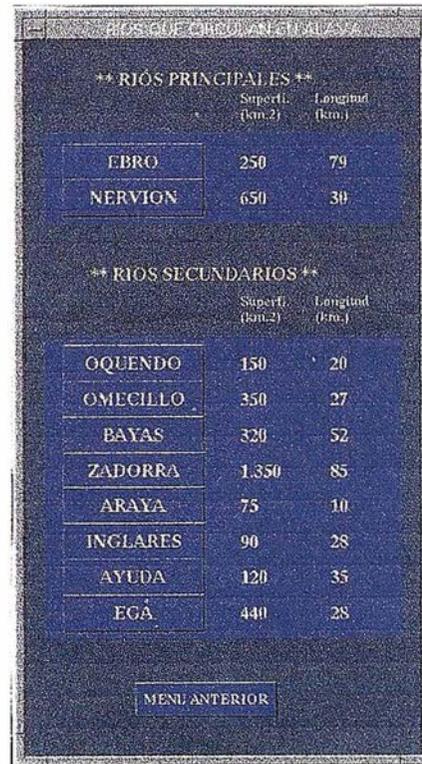
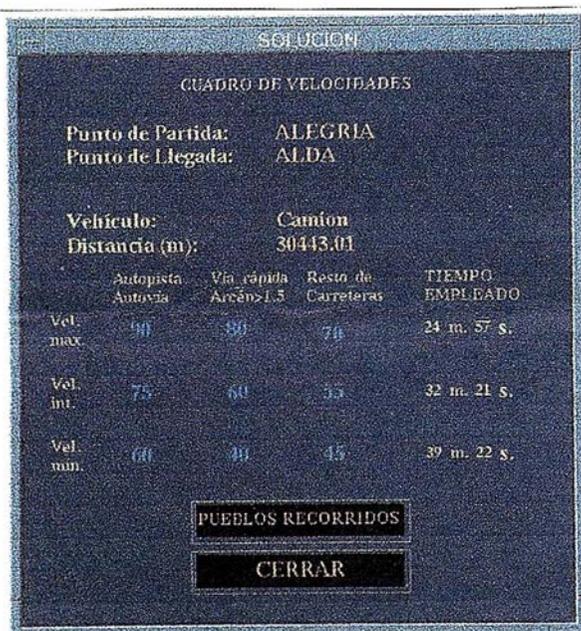
A modo de ejemplo, exponemos uno de los menús del programa. Para favorecer la visualización, el programa muestra por pantalla un vehículo recorriendo el camino óptimo gestionado.

**Ejemplo: Camino mínimo “FUNCIÓN DE TIEMPOS”.** Sin lugar a dudas, es el caso más interesante. Tiene un problema y es que depende mucho de la manera de conducir de cada persona. Es decir, el tiempo que le puede costar a una persona realizar el trayecto entre Alegría y Alda, seguro que varía con respecto al tiempo que le cuesta a otro. Fue por este motivo por el que decidimos fijar tres velocidades para cada carretera: la máxima permitida, la mínima y una intermedia. Y esto es diferente para el caso de coche-moto, autobús o camión. Una vez calculados los tres tiempos de recorrido, el usuario podrá hacerse una idea del tiempo que le puede llevar realizar el trayecto, en función de sus características y su manera de conducir.



Con el menú adjunto elegimos el pueblo de partida y el de llegada, además del color del trayecto a representar y del tipo de vehículo que se quiere emplear.

Al pinchar en “EJECUTAR”, nos aparece el siguiente menú, como solución de las opciones previamente elegidas.



Otra de las posibilidades del programa es obtener información sobre diferentes aspectos relacionados con la provincia de Alava como parques naturales, estaciones de servicio, campings, ríos, carreteras, puertos de montaña,... Como ejemplo presentamos el menú de los principales ríos de la provincia.

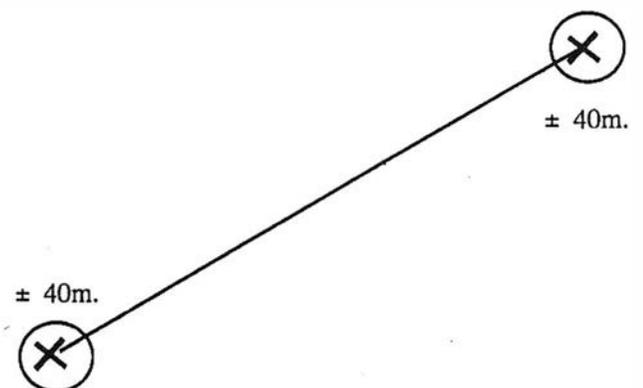
Pinchando sobre el botón correspondiente aparecerá una visualización por pantalla del río.

## 6. ESTUDIO DE ERRORES

A continuación se analiza el error que se ha cometido en la ejecución del presente proyecto.

Partimos de que la escala del mapa digitalizado que nos facilitó la Diputación Foral de Álava, es de 1/200.000. Como el límite de percepción visual es de 0,2 mm., tenemos una indeterminación de 40 metros en las coordenadas de cada punto.

En el caso del cálculo de una distancia entre dos puntos, tenemos un caso como el de la figura:



El error en la distancia entre 2 puntos será de  $\pm 80$  m.

Por tanto, cuanto menor sea la separación entre dos pueblos, mayor error relativo estaremos cometiendo.

Por ejemplo, dos puntos situados a tan solo 10 Km. de distancia, producirán un error de:  $er = \frac{80m}{10.000} = 8 \text{ mm.}$  Siendo éste un error insignificante para las labores que estamos utilizando.

En cuanto a la diferencia que puede haber entre el cálculo del tiempo invertido en el desarrollo de un itinerario, y su realización real en el vehículo y velocidad media elegidos, viene afectado por múltiples factores:

- Tiempo en realizar un cruce.
- Densidad de tráfico.
- Inclemencias meteorológicas.
- Visibilidad en la circulación (día y noche).
- El propio conductor.

Éste último factor, es el que más relevancia tendrá en el tiempo por invertir. Pero todo este conjunto de elementos hace que sea prácticamente imposible predecir la duración del recorrido.

## 7. COMPARACIÓN CON TRABAJOS SIMILARES

Hemos realizado un estudio comparativo de los siguientes programas existentes ya en el mercado y que tuvieran una similitud con nuestro Proyecto:

- Mapa de carreteras del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- Programa VISUAL MAP.
- Programa COMPUMAP
- Guía Campsa 1997.

Las principales ventajas que hemos encontrado en estos programas han sido la rapidez de gestión y la posibilidad de hallar varias alternativas al recorrido óptimo. En algunos también podemos introducir localidades intermedias de paso, elegir el medio de transporte a utilizar, nos ofrecen información adicional de tipo turístico. Lo que hemos pretendido con nuestro proyecto ha sido intentar recopilar todas las ventajas de cada uno de ellos y evitar en lo posible los inconvenientes.

# 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 f 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>

# SIEMENS

# 1



## ¡Preparados !

El Ayuntamiento necesita con urgencia un Geosistema de Información Municipal para la gestión integral de su territorio. Urbanismo debe incorporar el planeamiento urbano y el área de Seguridad necesita implantar un Sistema de Intervención para Bomberos y Policía integrado con el callejero.

La Compañía de Servicios y Abastecimiento de Aguas no puede esperar un segundo más para disponer de un sistema de Gestión de Clientes integrado con el Sistema Técnico de Red, que permita responder rápidamente a las demandas de los ciudadanos y del servicio, creando nuevos productos y facturándolos conforme a las reglas del mercado.

# 2



## ¡Listos !

¿Un sistema de gestión municipal en el que se integren en un sistema relacional la información del territorio? ¿Dónde tenga catalogada información del catastro, del ambiente, de las compañías de agua, gas, electricidad y

¿Un nuevo sistema competitivo de clientes integrado con el sistema

¿Capaz de afrontar el reto de adaptarse a la continua evolución de la desregulación?

# Siemens: la fuerza



# 3

WinCAT [Usuario: Administrador]

Vistas Clases Análisis Editar Vector Herramientas Opciones Ventana Ayuda

Catastro

Legend

**División Administrativa**

- línea de distrito
- línea de barrio
- línea de seccion

**Parcelario**

- línea manzana
- línea manzana alamburada
- línea manzana seto
- línea parcela
- línea parcela alamburada
- línea de parcela seto
- línea de bordillo
- línea subvial
- línea edificio
- línea de seto o jardín
- cerramientos viario

Scale: 1 : 41224  
Map origin: 15645 13506

	A	B	C	D
1	Parcela-ID	Propietario	Nº Alturas	Nº de Habitantes
2	OB11001232	J. Gómez	8	53
3	OB11002131	Fco. Burgos	8	64
4	OB12004321	A. Galindo	3	23
5	OB11001032	R. Rodríguez	4	30

For Help press F1

Inicio Remote Control Agent WinCAT 2.3 c - [Usu... 21:18

## ¡Ya!

integrado?  
o de datos  
dano y del  
almente la  
amiento, del medio  
vicios y suministro  
unicaciones?...

arenciador de  
red?

RO y  
los procesos de

¡Siemens, S.A. sí puede! Colaborar en la gestión del territorio de una manera eficaz y próxima al ciudadano, contribuir a la generación de valor en su negocio, aportar soluciones tecnológicas y sin fronteras para las organizaciones de un nuevo siglo. **SICAD** es el geosistema de información **abierto** que le permite integrar sus geodatos en un entorno estándar y bajo Microsoft Office, aportando las nuevas tecnologías de la información al servicio del **Usuario**. **SIGRED** es el sistema integrado para la gestión de redes de distribución (agua, gas y electricidad) que permite la integración de los sistemas técnicos, comercial y de operación. (p.e. SICAD, SAP R/3, SCADA, Oracle, Internet, etc.).

SIEMENS, S.A.

Ronda de Europa, 5. 28760 Tres Cantos, Madrid.

Teléfono: 91 8069180 - Fax: 91 8069350

Internet: [http://www.sni.es/gut/main\\_gut.htm](http://www.sni.es/gut/main_gut.htm)

<http://www.sicad.com>

eMail: [utiltel@sni.es](mailto:utiltel@sni.es)

# de la innovación

# ORTOFOTOGRAFIA DIGITAL: Análisis de errores

Félix Castillo Ramírez. Ingeniero Técnico en Topografía

TUTOR: Rodolfo Sáenz de Ugarte.  
Profesor Asociado de la Universidad del País Vasco

## ANTECEDENTES

Se acaba de realizar un Proyecto Final de Carrera, para la titulación de Ingeniero Técnico en Topografía, en Vitoria-Gasteiz, que ha supuesto la generación del "Primer Manual en Internet sobre Teledetección Básica en Castellano", y el estudio teórico y experimental de tres situaciones especiales en un proceso de Ortofotografía Digital:

- Ortorectificación sin poseer Certificado de Calibración de la cámara
- Georeferenciación frente a Ortorectificación
- Ortorectificación con diferentes tamaños de píxel en el M.D.T.

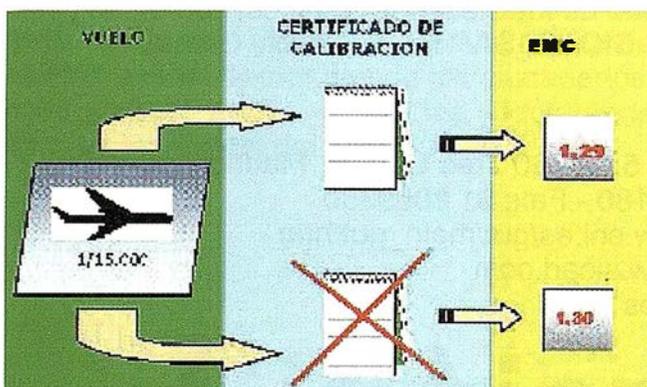
## METODOLOGIA

Todos los experimentos se han realizado con el software de tratamiento de imagen, comercial, denominado ENVI. En los tres casos se ha partido de un vuelo a escala 1/15.000 realizado en Galicia, concretamente Pontevedra, este vuelo, en B/N, se escaneó a 14 micras y 256 niveles de grises (lo que supone un píxel terreno de 0.21 m.). Los puntos de control fueron obtenidos mediante aerotriangulación, y se pincharon en las diapositivas antes de escanear.

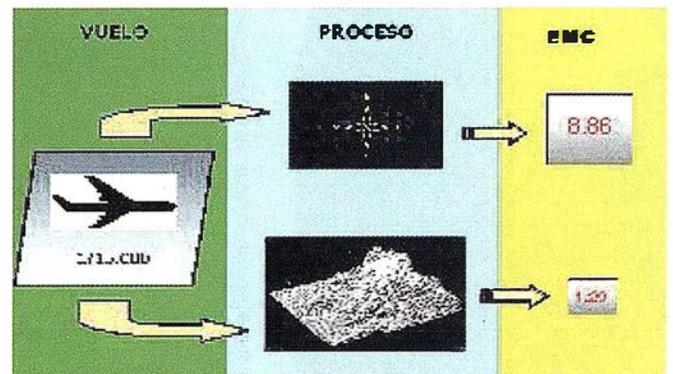
## RESULTADOS

Los resultados obtenidos después de realizar las pruebas pertinentes en cada caso se expresan en los siguientes gráficos:

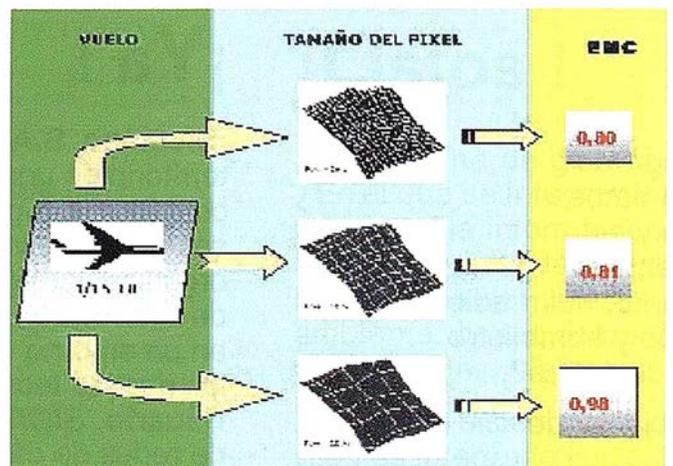
- Ortorectificación sin certificado de calibración:



- Georeferenciación frente a Ortorectificación



- Ortorectificación con distintos tamaños de píxel. Los tamaños de píxel utilizados en el M.D.T. fueron de 1 m., 10 m. y 100 m.



## CONCLUSION

A la vista de los resultados se puede deducir que es posible obtener ortofotos digitales con la suficiente precisión aun a falta de alguno de los elementos imprescindibles para su confección.

La dirección de la página Web donde reside el manual básico sobre teledetección es la siguiente:

[www.grupoatlas.com/atlas/castillo/index.htm](http://www.grupoatlas.com/atlas/castillo/index.htm)

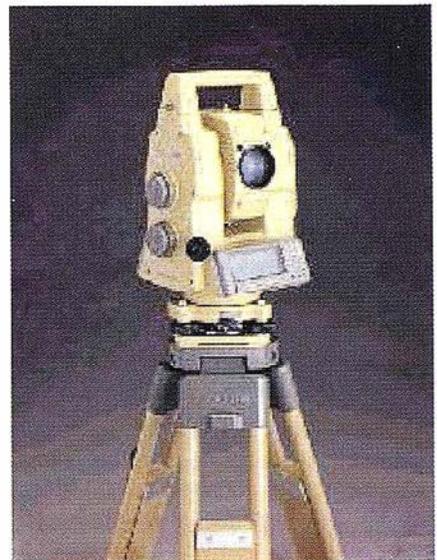
## TOPCON INTRODUCE DOS NUEVAS SERIES DE ESTACIONES TOTALES

*TOPCON ESPAÑA, S.A. introduce una nueva serie de estaciones totales con la integración de servo motores en los clásicos instrumentos Topcon de gama alta. También lanza las Topcon GPT-1001 y GPT-1002, estaciones totales que miden sin prisma y son de largo alcance con modo de medición dual (con y sin prisma), utilizando la más sofisticada alta tecnología del laser por pulsos. La medición de distancia se puede realizar sin utilizar el tradicional prisma reflector y si se utiliza el prisma se alcanzan largas distancias.*

Las principales características de los instrumentos se detallan a continuación:

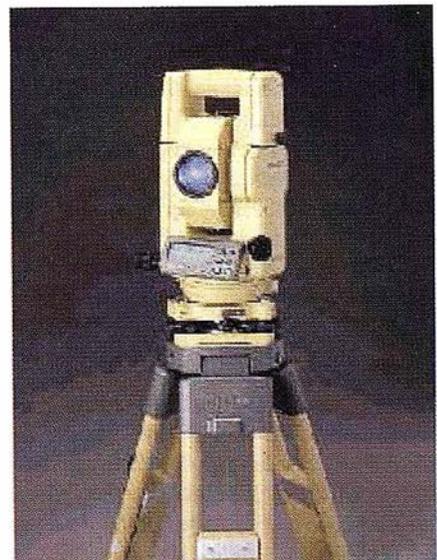
### **Serie GTS-800 estación total motorizada**

La serie GTS-800 consiste en tres modelos, GTS-800, GTS-801 y GTS-802 con 3cc, 6cc y 10cc respectivamente. Los servomotores de alta velocidad permiten a la serie GTS-800 girar a una velocidad máxima de 50° / seg. Esto permite un giro del telescopio rápido y suave, tanto horizontal como verticalmente. Un nuevo mecanismo de movimiento sustituye al clásico tornillo de apriete y ajuste de coincidencia, permitiendo una mayor velocidad de giro y precisión en la puntería. La serie GTS-800 tiene incorporado el sistema operativo MS-DOS, lo que permite el desarrollo de programas de aplicación propios y asegura la compatibilidad de formatos. La nueva serie tiene como estándar pre-instalado el programa "Standard Survey" con funciones similares a otras estaciones totales Topcon basadas en DOS. Tiene una amplia pantalla a ambos lados del instrumento que el operador puede leer fácilmente gracias al tamaño de 210x80 puntos con iluminación posterior. La serie GTS-800 es compatible con el estándar mundial de tarjetas para PC "PCMCIA". Además Topcon dispone de tarjetas de 128 Kb/256 Kb/512 Kb tipo SRAM para la serie GTS-800. También se puede utilizar otras tarjetas tipo ATA Flash Standard.



### **GPT-1001/1002 medición de distancias sin prisma**

Es posible medir sin prisma a más de 100 m., dependiendo de la textura de la superficie y su reflectividad. También pueden medirse más de 4000m. con un solo prisma. El modo de medida de distancias en tracking o seguimiento se efectúa cada 0.3 segundos, haciendo posible la medición incluso cuando la visual se ve interrumpida, como por ejemplo en condiciones de tráfico denso. El grado de resistencia al agua IPX4 basado en la norma internacional estándar IEC 529 asegura una protección contra el agua en condiciones de lluvia normal. La serie GPT-1000 es por lo tanto indicada para trabajar en condiciones ambientales de humedad.



# LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL EN LA CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS URBANAS

María de Santiago López de Uralde.  
Juan Carlos Escudero Achiaga.  
Jorge Ozcáriz Salazar

CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES  
ceasit@vitoria-gasteiz.org

## 1. INTRODUCCIÓN

Son innumerables las citas bibliográficas que hacen referencia a distintas aplicaciones de la Teledetección espacial en ámbitos urbanos: estimación de la población, cuantificación de cambios, estimación de la densidad de edificación, detección de asentamientos urbanos y rurales, evaluación de impactos producidos por la actividad humana, ... [Lillesans et al., 1.994; Henderson et al., 1.997; Pedron, C., 1.988; Corbley, 1.997].

La Teledetección espacial puede suministrar información continuada y actualizada sobre áreas urbanas, complementando a la fotografía aérea, y sustituyéndola en algunos casos concretos. Así, hoy en día, los sensores ópticos de uso civil llegan a proporcionar imágenes con gran nivel de detalle (IRS-1C), lo que las confiere una indudable utilidad de cara a la gestión y planificación del desarrollo urbanístico.

Por su parte, los sensores radar pueden llegar a constituir una fuente de datos de gran relevancia en el estudio de áreas urbanas, proporcionando información acerca de la estructura urbana (densidad, materiales, orientación).

Por tanto, ambos tipos de sensores, ópticos y radar, vienen a suministrar información complementaria y sinérgica, que puede ser de gran utilidad en el estudio de áreas urbanas.

Por otro lado, los métodos habituales de generación cartográfica suelen caracterizarse por su elevado coste, lo que los hace difícilmente viables para un seguimiento continuado de urbes de mayor tamaño, y más aún si pensamos en megaciudades del estilo de Hong-Kong o El Cairo, caracterizadas por un rápido, y a veces incontrolado, crecimiento [Dekker et al., 1.997]. Así, la Teledetección espacial puede constituir una útil herramienta para suministrar información, normalmente a menor detalle, durante aquellos periodos de tiempo comprendidos entre la finalización de una cartografía y su posterior revisión mediante fotografía aérea o topografía clásica.

Sucede normalmente, que muchas de estas ciudades, por su localización geográfica, suelen caracterizarse por presentar una abundante cubierta nubosa durante gran parte del año, lo que viene a dificultar especialmente la utilización de imágenes ópticas en el seguimiento de estos espacios. Por el contrario, las imágenes radar, por su alta penetrabilidad, no sufren esta limitación por lo que se presentan como especialmente idóneas bajo condiciones tan adversas.



Fig. 1: Imagen pancromática IRS-1C de la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

El presente estudio, bajo la financiación de la Agencia Espacial Europea ESA (P4700195/P), contempla evaluar las posibilidades de la Teledetección espacial, y de los sensores radar en particular, como apoyo a la planificación urbana. Para ello se ha pretendido analizar la complementariedad de los sensores radar (ERS-1 y 2) y ópticos en la caracterización de áreas urbanas sobre un área piloto correspondiente con la ciudad de Vitoria-Gasteiz. Tal elección puede justificarse, aun siendo una ciudad de tamaño medio, por su ordenada configuración urbana, así como por la existencia de un importante banco de datos territorial que puede ser de gran interés para la realización del estudio. De hecho, este banco de datos se alimenta y mantiene al día gracias a la incorporación, entre otras fuentes, de información derivada del análisis de imágenes espaciales.

## 2. DESARROLLO DEL ESTUDIO

En la exposición de las distintas fases en las que se ha dividido el estudio se establece una diferenciación entre los procesos seguidos para cada tipología de imagen, ya que dada la naturaleza de cada radiación, éstos son diferentes.

Para la realización de este estudio se han empleado tres escenas correspondientes a los sensores ópticos Landsat TM (Julio, 1.996), SPOT XP (Julio, 1.996) y IRS 1C Pan (Febrero, 1997). En lo que a imágenes SAR se refiere, se ha empleado un lote de seis escenas procedentes de los sensores ERS-1 y ERS-2 de la Agencia Espacial Europea (ESA).

### 2.1. SENSORES ÓPTICOS

El tratamiento de los datos procedentes de los sensores ópticos se inicia con la corrección atmosférica y geométrica de las imágenes originales.

Para el análisis de imágenes híbridas resultantes de la fusión de datos procedentes de más de un sensor, se hace necesario integrar las mismas al objeto de generar la imagen que finalmente será procesada por el algoritmo de clasificación. Llegados a este apartado, es posible un doble enfoque: la clasificación basada en los *pixels* de la imagen, y la aproximación basada en la obtención de segmentos y posterior clasificación de los mismos.

### 2.1.1. FUSIÓN DE IMÁGENES

Previamente a la realización de la clasificación, se consideró conveniente ensayar distintos métodos de fusión de imágenes. Se ensayaron así dos algoritmos de fusión, *Componentes Principales* y *Transformación HSI* [Rígol et al., 1.997; Chávez, 1.991]. Ambos algoritmos permiten combinar una imagen con buena resolución espacial con otra de buena resolución espectral, obteniéndose así una imagen híbrida que integra lo mejor de cada uno de los conjuntos de datos originales.

En la combinación LANDSAT-SPOT, una vez realizado un primer análisis visual, se observaron mejores resultados por el primero de los métodos citados. Por su parte, en el par LANDSAT-IRS los mejores resultados parecían obtenerse a partir del segundo. Finalmente se optó por considerar para cada par de imágenes aquel método de los dos ensayados que ofreciese los mejores resultados.



Fig. 2: Imagen resultante de la fusión TM-IRS.

### 2.1.2. CLASIFICACIÓN

La caracterización de la estructura urbana de la ciudad de Vitoria-Gasteiz parte de la definición de una leyenda apropiada. Las clases urbanas inicialmente establecidas fueron: *zona medieval*, *áreas residenciales de baja y alta densidad*, *parques y jardines*, *polígonos industriales*, *solares sin edificar* que presentan vegetación natural, y *zonas sin vegetación* que abarcarían las zonas en construcción y aquellas áreas pavimentadas o de suelo desnudo. Consideramos que esta leyenda es adecuada ya que abarca las principales categorías urbanas

de la ciudad de Vitoria-Gasteiz, y además permite tener una visión rápida de cómo se estructura la misma.

La clasificación se abordó desde dos enfoques distintos, aunque complementarios: *clasificación por pixel* y *clasificación mediante segmentos*.

La **clasificación por pixel** intenta asignar cada pixel de la imagen a una determinada clase de acuerdo a sus ND. Para ello, a partir de la selección sobre la imagen de unas áreas de entrenamiento, se determina la firma espectral de todas y cada una de las clases consideradas en la leyenda.

Este tipo de clasificaciones, basadas en considerar a los *pixels* individuales como los elementos a clasificar, suele producir resultados insuficientes en áreas naturales debido a la textura de estas coberturas [Lobo, 1.997]. De igual forma, las zonas urbanas se caracterizan por su elevada heterogeneidad, presentando gran cantidad de cubiertas distintas, tanto naturales como artificiales, entremezcladas. Es por ello, que estos casos la componente textura es determinante a la hora de realizar la clasificación, ya que un elemento de la imagen no está formado por *pixels* con un valor radiométrico homogéneo, sino por una mezcla de señales inherente al tipo de cubierta.

Por otra parte, la **clasificación por segmentos** resulta de gran interés ya que no considera únicamente cada pixel como elemento aislado, sino que tiene en cuenta el entorno espacial en que se desenvuelve cada uno de ellos.

Al contrario, que en la clasificación por *pixel*, se incluyen características como la textura, contigüidad, forma, sombreado, introduciendo el criterio de vecindad. En este tipo de clasificación se asume que los segmentos son elementos individuales, despreciando la variabilidad interna.

Los pasos a seguir en este tipo de clasificación son: (1) segmentación: delimitación de contornos de segmentos homogéneos, generalmente, a partir de imágenes de alta resolución espacial, (2) extracción de las estadísticas de la imagen original, habitualmente la *media aritmética*, para cada polígono definido, y (3) clasificación de los segmentos de acuerdo a esos valores medios.

#### 2.1.2.1. CLASIFICACIÓN POR PIXEL

Para la clasificación por *pixel*, se optó por realizar una clasificación supervisada. En la selección de las semillas para aquellas clases que presentaban mayor variabilidad, *áreas residenciales de baja y alta densidad*, y *zonas sin vegetación*, se consideraron diversas subclases. A continuación, se evaluaron dichas subclases mediante varios métodos como el análisis de las firmas espectrales o la determinación de la matriz de contingencia, a fin de determinar la *separabilidad* de las subclases, la definición de nuevas áreas o la eliminación de alguna de las subclases.

La clasificación supervisada de las imágenes TM (bandas 4, 5, 3), TM-SPOT y TM-IRS se abordó mediante el algoritmo de *Máxima Verosimilitud*. Finalmente, se procedió a reclasificar las imágenes resultantes de este proceso a fin de reagrupar las distintas subclases de acuerdo a las categorías inicialmente definidas para el estudio.

### 2.1.2.2. CLASIFICACIÓN POR SEGMENTOS

La clasificación de áreas urbanas mediante algoritmos basados en comparar los ND de los *pixels* con firmas espectrales correspondientes a las distintas categorías objeto de estudio, suele conducir a resultados poco satisfactorios, [Lobo, 1.997] debido a varios factores entre los que podemos destacar: (1) la heterogeneidad y diversidad de las cubiertas presentes en las mismas, ya que las éstas abarcan tanto áreas naturales (jardines, solares, ...), como artificiales (edificios, puentes, carreteras, calles, ...); y (2) la complejidad de las cubiertas artificiales, determinada ésta por los distintos materiales de construcción, densidad de edificación, altura de los edificios, lo que normalmente conduce a que una misma clase pueda manifestarse de formas muy diferentes.



Fig. 3: Segmentos derivados de la imagen TM-IRS.

Es por ello que, de cara a determinar la estructura de áreas urbanas, pueda ser interesante ensayar una clasificación por segmentos. A tal fin en el presente estudio se ha ensayado dicho tipo de clasificación, empleando para ello el algoritmo de segmentación disponible en SKOGIS (*Remote Sensing Lab., Swedish University of Agricultural Science. Umea, Sweden*).

Este algoritmo pretende segmentar una imagen en áreas compuestas por *pixels* de similares características, antes de que éstos sean asignados a las categorías correspondientes (Fig. 3). Posteriormente, la clasificación se realiza sobre estas áreas, en lugar de sobre *pixels* aislados. La delimitación de esas áreas homogéneas se basa en los criterios de similitud espectral y contigüidad.

El algoritmo de segmentación localiza pequeños grupos de *pixels* vecinos con ND similares a los que progresivamente va incorporando *pixels* circundantes, siempre que éstos se hallen dentro del criterio de homogeneidad fijado por el usuario (por ejemplo, una determinada distancia espectral). Cuando el algoritmo detecta *pixels* vecinos que no son lo suficientemente homogéneos, se crea una frontera. La imagen resultante aparecerá entonces segmentada en áreas homogéneas. Para cada una de ellas se calculan las estadísticas, generalmente la media

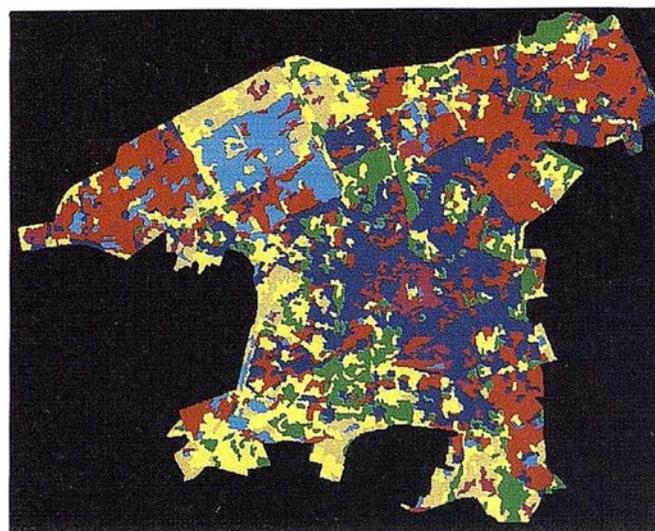


Fig. 4: Clasificación por segmentos de la imagen TM-IRS

aritmética, y finalmente se asignan a una categoría temática mediante cualquier clasificador tradicional de los utilizados para las clasificaciones por *pixel*. Por tanto, a las distintas categorías no se asignan *pixels* individuales, sino las áreas resultantes de la segmentación, lo que reduce considerablemente los errores de asignación [Richards, 1.995].

Para la aplicación de este método de clasificación, se partió de las mismas imágenes que sirvieron de base para la clasificación por *pixel*. Una vez obtenidos los segmentos a partir de las propias imágenes resultantes de las fusiones TM-SPOT y TM-IRS, éstos se emplearon para obtener unos valores medios por segmento para cada una de las imágenes a clasificar. Finalmente, éstas últimas se procesaron mediante el algoritmo de Máxima Verosimilitud, empleando para ello las mismas firmas consideradas en la clasificación por *pixel*.

## 2.2. SENSORES RADAR-ÓPTICOS

Las imágenes SAR, por su propia naturaleza y procesado, se caracterizan por un tipo especial de ruido denominado *speckle que* incrementa la varianza dentro de la imagen, lo que afecta negativamente a la posible discriminación de las distintas cubiertas [Mueller et al. 1.989].

El fenómeno del *speckle* se puede reducir, pero no eliminar completamente. En nuestro caso, dada su aparente sencillez, se ha tratado de atenuar mediante el cálculo de la media aritmética de las escenas SAR.

# MASTER SIG A DISTANCIA

## MASTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA



**Cibernos**  
Consulting, SA

**INTERGRAPH**

**GENASYS**

**SMALLWORLD**

**MAPPING**

**ORACLE®**

-> Software: MicroStation, GENAMAP, SmallWorld, Visual Basic, Geomedia, Oracle.

-> Colaboran: Intergraph, Genasys, SmallWorld, Mapping, Oracle, Facultad de Geológicas y Licenciatura de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid y Fundación Premio Arce.

-> Entrega de CD-ROM interactivos de las materias SIG/CAD.

-> Quedan en propiedad de los alumnos: GENAMAP, Geomedia, Visual Basic, Oracle y MicroStation.

-> Tutorías personalizadas (E-Mail y presenciales).

-> Duración del Máster: 12 meses a partir de la matriculación.

INFORMACIÓN: Preguntar por D. Ignacio Munitiz  
C/ Vizconde de Matamala, 7 28028 - Madrid  
Tlf.: 91 - 355.76.03 Fax.: 91 - 356.39.10

[mastersig@cibernos.com](mailto:mastersig@cibernos.com)



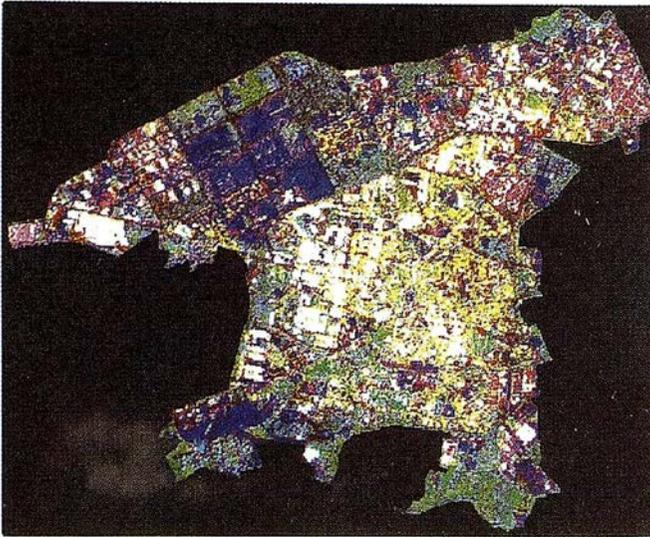


Fig. 5: Imagen resultante de la fusión de las imágenes SAR con los sensores TM y SPOT Pan.

### 2.2.1. CLASIFICACIÓN POR PIXEL

La clasificación por *pixel* de áreas urbanas a partir de imágenes radar, suele conducir a resultados generalmente poco satisfactorios. Para tratar de solventar esta dificultad, se procedió a fusionar la imagen radar MEDIA y las imágenes ópticas, TM96 (bandas 4,5,3) y TM-SPOT. El método utilizado fue la *Transformación HSI*. Las imágenes finales así obtenidas y que sirvieron de base para las posteriores clasificaciones son: **HSI\_TM-RD**, **HSI\_TM-SPOT-RD** y **TM-RADAR**. El algoritmo de clasificación empleado fue de nuevo el de *Máxima Verosimilitud*.

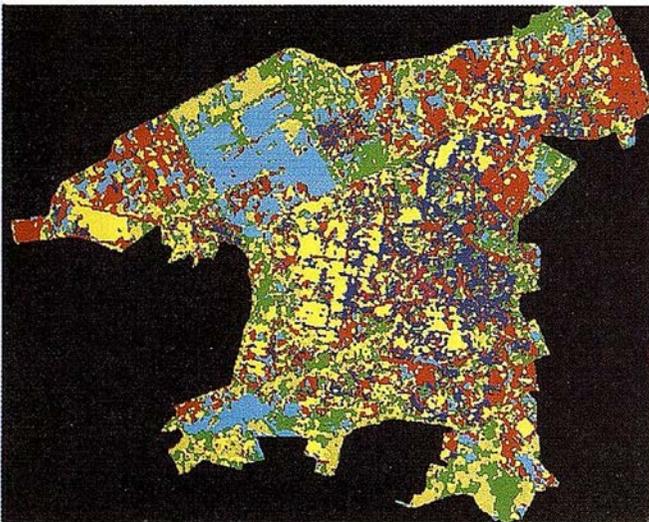


Fig. 6: Clasificación por *pixel* de la Imagen HSI\_TM-SPOT-RD.

### 2.2.2. CLASIFICACIÓN POR SEGMENTOS

Como ya se ha indicado anteriormente, la clasificación basada en *pixels* sobre imágenes radar conduce a resultados inadecuados debido principalmente al *speckle*. Una posible

solución a este problema, consiste en realizar una clasificación de la imagen mediante segmentos, considerando para ello el valor medio de los ND de los *pixels* contenidos dentro de cada segmento. Por tanto, un paso previo a la clasificación es la obtención de los límites de los polígonos que se usarán como segmentos. No obstante, el *speckle* característico de este tipo de imágenes dificulta considerablemente este proceso, a no ser que se trate de imágenes adecuadamente tratadas a fin de atenuar en lo posible dicho efecto.

En el presente estudio, al igual que en el caso de las imágenes ópticas, la obtención de los segmentos se realizó a partir de las imágenes fusionadas TM-SPOT y TM-IRS. Para ello se empleó el algoritmo de segmentación contemplado en el software SKOGIS (Fig. 3).

Los segmentos así obtenidos se emplearon para la obtención de unos valores medios por segmento para cada una de las bandas consideradas. Finalmente, estas imágenes fueron tratadas con el algoritmo de *Máxima Verosimilitud*, obteniéndose las correspondientes clasificaciones.

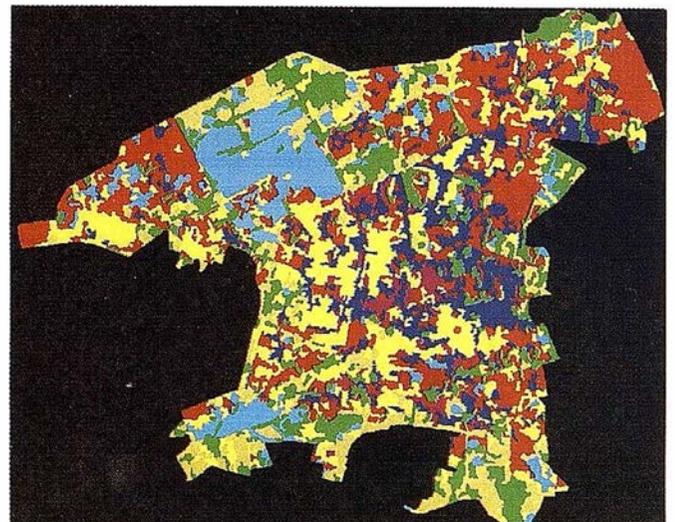


Fig. 7: Clasificación por segmentos de la Imagen HSI\_TM-SPOT-RD.

## 3. RESULTADOS

Para la verificación de las clasificaciones se empleó una imagen verdad-terreno obtenida a partir de una generalización de la cobertura del *Parcelario de Urbana* del Dpto. de Informática que contemplaba las mismas categorías definidas en la leyenda inicial.

El tipo de muestreo elegido fue el *aleatorio estratificado*, seleccionándose una muestra de 250 puntos por categoría. Los resultados, para cada una de las clasificaciones, se detallan en la tabla 1.

## 4. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos, pueden realizarse unas primeras reflexiones:

Por imágenes, y considerando los distintos métodos de clasificación, los mejores resultados parecen obtenerse a partir de la imagen obtenida mediante la fusión de las escenas TM y ERS.

Tipo de Clasificación		Imagen de referencia	Exactitud Total	Indice Kappa
Por pixel		TM96	49.3	0.38
		TM-SPOT	43	0.31
		TM-IRS	43.8	0.32
Por Segmentos	Obtenidos de TM-SPOT	TM96	46	0.35
		TM-SPOT	45	0.27
		TM-IRS	47.3	0.35
	Obtenidos de TM-IRS	TM96	47	0.35
		TM-SPOT	42.1	0.28
		TM-IRS	43.6	0.31

Tabla 1: Resultados de las clasificaciones de las imágenes ópticas.

- Respecto a los métodos de fusión de imágenes, en las ópticas, bien a partir de la Transformación HSI, bien con el algoritmo de Componentes Principales, los resultados obtenidos son bastante similares. En cuanto a las imágenes radar-óptico, parecen obtenerse mejores resultados a partir de la fusión entre las imágenes MEDIA y TM-SPOT.
- No se aprecian diferencias significativas en los resultados de las clasificaciones realizadas a partir de los segmentos obtenidos a partir de las imágenes TM-SPOT y TM-IRS, por lo que no parece que una mejor resolución espacial (TM-IRS) implique necesariamente una mejora en la clasificación final.
- Comparando los resultados de las clasificaciones por pixel con aquellos obtenidos a partir de las clasificaciones realizadas en base a los segmentos de la imagen TM-SPOT, se observa que la precisión total es mayor para estas últimas (4 de los 6 casos). Sin embargo, con respecto a las clasificaciones realizadas sobre imágenes segmentadas a partir de la imagen TM-IRS, éstas muestran en general (5 de los 6 casos) peores resultados que los obtenidos a partir de la consideración de pixels individuales.
- Puede concluirse por tanto que, en conjunto, los mejores resultados parecen obtenerse en las clasificaciones realizadas sobre imágenes segmentadas de acuerdo a la imagen TM-SPOT.

Un análisis más pormenorizado de las matrices de confusión obtenidas para cada clasificación, nos ha permitido realizar las siguientes puntualizaciones:

- Las zonas mejor identificadas en las distintas clasificaciones son las industrias y los solares, seguidas de las zonas sin vegetación y de las zonas ajardinadas.
- Los polígonos industriales parecen confundirse principalmente con las zonas de baja y alta densidad. Asimismo, se observa una aparente confusión entre las zonas ajardinadas, los solares y las áreas de baja densidad. Esto podría explicarse en parte por la importante presencia de cubiertas herbáceas y arbóreas en los jardines de las zonas residencia-

les. Por su parte, los solares presentan normalmente cierta vegetación herbácea, la cual puede llegar a confundirse con las diversas áreas ajardinadas distribuidas a lo largo y ancho de la ciudad.

La definición de esta leyenda inicial se realizó de acuerdo a la que se consideraba como ideal para el caso de la ciudad de Vitoria-Gasteiz. En un principio, se partía de que la misma podría resultar muy ambiciosa, tal y como posteriormente parece desprenderse de los resultados obtenidos. No obstante, a nivel de otras áreas urbanas con importantes deficiencias en cuanto a cartografía debidamente actualizada, podría no ser necesario llegar a clasificaciones tan exhaustivas, pudiendo bastar en tales casos con leyendas más generales comprendiendo 3 o 4 grandes clases.

A tal fin se ha considerado interesante evaluar, para aquella imagen que ofreció los mejores resultados en la fase anterior (TM-RADAR), una clasificación de acuerdo a una leyenda más general.

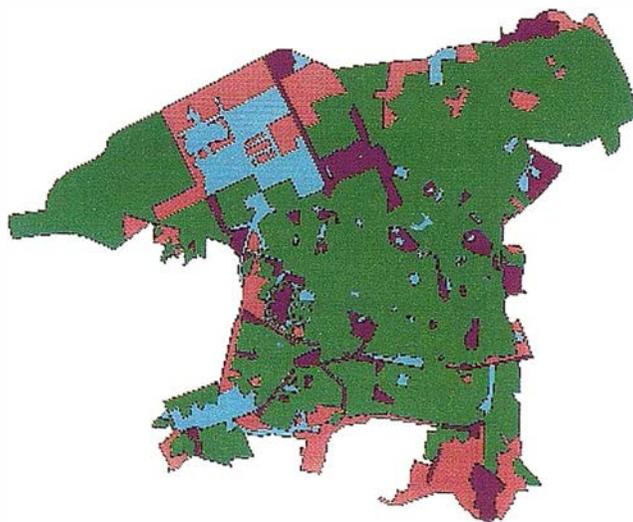


Fig. 8: Imagen verdad-terreno.

Para ello, el número de categorías se redujo a cuatro (Fig. 8): zonas edificadas, que englobaría los polígonos industriales, la zona medieval y las áreas residenciales de alta y baja densidad; jardines, áreas sin vegetación y solares. Los resultados obtenidos mejoran considerablemente (Fig. 9), acercándose en ambos casos, por pixel y por segmentos, al 75% de acierto. Este nivel de acierto podría ser incluso mejor del que se muestra, ya que en una primera revisión de la imagen clasificada, destacan claramente zonas a priori erróneamente asignadas. Tras una verificación cuidadosa de las mismas sobre las ortofotos digitales, se confirmó que en bastantes casos dichos errores no eran tales, sino simples errores en la cobertura de verdad terreno utilizada para la verificación de resultados.

Estos errores son hasta cierto punto lógicos, ya que la mencionada capa de verdad terreno se generó a partir de la generalización del parcelario de urbana, el cual no recoge las cubiertas del suelo, sino sus usos, y así parcelas no edificadas

anexas a edificios industriales pueden aparecer contempladas bajo este uso.

De haber contado con el tiempo suficiente para la realización de la necesaria verificación en campo, entendemos que el resultado, tanto de esta última clasificación, como de las anteriores, podría haberse mejorado considerablemente.

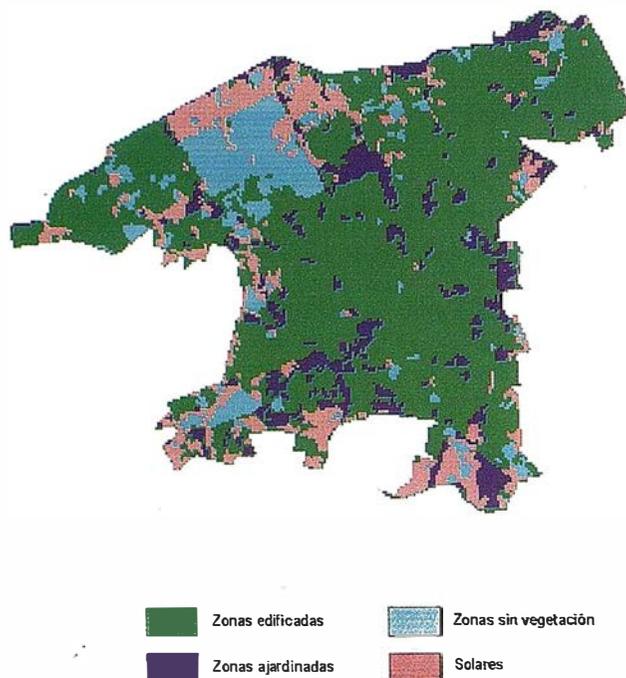


Fig. 9: Imagen clasificada.

A la vista de estos resultados, creemos necesario reflexionar acerca de las verdaderas posibilidades de los datos ERS-1 y ERS-2 en el estudio de áreas urbanas de acuerdo a las características de dichos sensores: longitud de onda, polarización, ángulo de incidencia y dirección *look*.

La longitud de onda en la que trabajan los sensores ERS es aproximadamente de 5,66 cm, la cual se considera una corta-media dentro del intervalo abarcado por las microondas. Esto facilitaría en principio el estudio de áreas urbanas, ya que al parecer, cuanto menor es la longitud de onda, mejor se identifican las cubiertas de reducida superficie, así como las fronteras entre las distintas cubiertas [Xia, 1.997].

En cuanto a la polarización, los sensores ERS transmiten y reciben las ondas en la misma polarización, VV, la cual, de acuerdo a la bibliografía consultada es la menos recomendable para el análisis de áreas urbanas [Henderson & Xia, 1.997].

Por su parte, el ángulo de incidencia es de 23°, el cual al parecer es demasiado pequeño como para conseguir una buena discriminación entre las distintas cubiertas urbanas [Henderson & Xia, 1.997].

Las imágenes ERS se captan tanto en dirección *look* ascendente como descendente. Este hecho puede conllevar

a que una misma estructura se manifieste de distinta manera en función de la dirección *look*. A este respecto, habría sido interesante trabajar con imágenes en direcciones *look* opuestas, obteniéndose así una información en cierta manera complementaria, pero el limitado plazo existente para el desarrollo del estudio hizo inviable tal posibilidad.

A la vista de todo lo anterior, parece ser que los datos SAR procedentes de los sensores ERS pueden no ser los más adecuados para el estudio de la estructura interna de las ciudades. No obstante, tal y como parece desprenderse a partir de los resultados obtenidos de este estudio, a una escala no muy detallada y bajo leyendas muy generales, puede afirmarse que éstos pueden resultar de gran interés. Así, para el estudio de grandes megaciudades, especialmente en países en vías de desarrollo, este tipo de datos pueden suponer una valiosa ayuda para la planificación de las mismas, permitiendo la realización de un seguimiento de los barrios periféricos y de su crecimiento, así como la identificación de las principales cubiertas urbanas o la detección de nuevos asentamientos urbanos.

Las imágenes ERS muestran su mayor potencial en el estudio de áreas urbanas situadas sobre zonas tropicales o normalmente cubiertas por nubes, donde los sensores ópticos tienen dificultades para conseguir imágenes [Dong, 1.997]. En estos casos, las imágenes radar pueden constituir la única fuente de información disponible, lo que confirma su enorme valor y reafirma la necesidad de avanzar en la investigación sobre esta temática en particular.

De acuerdo a la bibliografía consultada, parece interesante reseñar que el uso de distintas polarizaciones, así como de distintas longitudes de onda, especialmente las cortas, y mayores ángulos de incidencia, podrían ser de especial utilidad en ámbitos urbanos [Henderson & Xia, 1.997].

Finalmente, cabe destacar la conveniencia de seguir avanzando en el desarrollo de nuevas metodologías que permitan combinar los datos ERS, no sólo con imágenes ópticas, sino con otros tipos de datos SAR que potencialmente podrían suponer un aporte de información suplementaria, como por ejemplo aquellos derivados de la interferometría radar.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Chávez, P.S., Stuart C. & Anderson, J.A. 1991. *Comparison of Three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat-TM and SPOT panchromatic*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 57. No 3, pp. 295-303.
- Chuvieco, E., 1995. *Fundamentos de Teledetección espacial*. Ediciones Rialp. Madrid.
- Corbley, K.P. 1997. *Details, Distinctive, and Descriptive: Applications of High Resolution Imagery*. Geo Info Systems. Vol. 7, No. 5, pp. 36-40.

Dekker, A., Peters, S., Sol, V. & Vellinga, P. 1997. *Introduction of Remote Sensing Services in Mega-Cities Management: an assessment of the Possibilities and constraints*.

Dong, Y., Foster, B. & Ticehurst. 1997. *Radar backscatter analysis for urban environments*. Int. J. Remote Sensing. Pp 1351-1364.

European Space Agency. 1995. *Satellite Radar in Agriculture. Experience with ERS-1*. Holanda.

Henderson, F. M. & Xia, Z-G. 1997. *SAR applications in human settlement detection population estimation and urban land use pattern analysis: a status report*. IEEE Transaction Geoscience and Remote Sensing. Vol 35. No. 1. Pp. 79-85.

Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Lobo, A. 1997. *Clasificación basada en segmentación: un ejemplo de aplicación forestal en la Amazonía boliviana*. Cuadernos del Centro de Estudios Ambientales No. 3. Vitoria-Gasteiz.

Mueller, P. W. & Hoffer, R.N. *Low-pass spatial filtering of satellite radar data*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol 55, No. 6, pp 887-895.

Nadasdi, I. 1995. *Inventaires biophysiques de l'occupation du sol et pratique des plans d'organisation du territoire: Experiences de l'Euregio Meuse-Rhin, de la Wallonie et du Grand-Duché de Luxembourg*. Jornadas técnicas sobre Sistemas de Información Geográfica y Teledetección espacial aplicados a la ordenación del territorio y el medio ambiente. Centro de Estudios Ambientales. Vitoria.

Richards, J. A. 1995. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer-Verlag. Berlin.

Rigol, J.P. & Chica, M. 1997. *Comparación de métodos de integración de imágenes Landsat-TM y SPOT HRV en exploración minera*. Teledetección: usos y aplicaciones. Universidad de Valladolid.

Rimbert, S. 1988. *Apport de SPOT au domaine urbain: étude de cas sur Strasbourg*. Teledetección y Planificación integrada del Territorio. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

Schwan, H., Wunderle, S. and Desnos, Y.-L. 1995. *Evaluation of speckle-filtered ERS-1 SAR images in Patagonia and Antarctica*. Earth Observation Quarterly No 49.

Xia, Z-G. & Henderson, F.M. 1997. *Understanding the relationships between radar response patterns and the bio- and geophysical parameters of urban areas*. Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol. 35 No. 1. Pp 93-101.

## " LA TIENDA VERDE "

C/ MAUDES Nº 38 - TLF. (91) 534 32 57  
C/ MAUDES Nº 23 - TLF. (91) 535 38 10  
Fax. (91) 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"

# INTRODUCCIÓN A LA CARACTERIZACIÓN DE LAS VIAS FORESTALES POR MEDIO DE SISTEMAS DIGITALES: EL GPS Y GIS

Ignacio Cañas Guerrero\*, M<sup>a</sup> Angeles Ruiz Sánchez\*;  
Pedro Arias Sánchez\*; Ramón Martínez Gómez<sup>†</sup>.

\* ETS de Ingenieros Agrónomos de Madrid.  
Universidad Politécnica de Madrid.

\*\* Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial.  
Universidad de Vigo.

<sup>†</sup> Escuela Politécnica Superior de Lugo.  
Universidad de Santiago de Compostela.

## Resumen

En el presente artículo se exponen algunas de las posibilidades que presentan los sistemas digitales para el estudio y caracterización de las infraestructuras lineales. En concreto se analiza las vías forestales de una parte de la Sierra de Ancares (Lugo - León, España).

## 1. Introducción

Es ampliamente admitido que los sistemas informáticos están suponiendo una revolución en muchos aspectos de nuestra sociedad. Esto es especialmente cierto en aquellos trabajos que poseen un gran volumen de información. Dentro de estos podemos situar el estudio de las obras civiles, de las que los caminos rurales suponen un caso particular.

Nos proponemos en el presente artículo mostrar algunas de las posibilidades que presentan los sistemas digitales para el análisis y caracterización de las vías forestales (considerando estas como un tipo de camino rural)<sup>1</sup>, utilizaremos para ello dos herramientas: el GPS (o Sistema de Posicionamiento Global)<sup>2</sup> y un programa de información geográfica GIS. Pensamos que la combinación del GPS con el GIS o SIG (Sistemas de Información Geográfica), puede suponer una herramienta muy útil para la caracterización y estudio de las diversas obras civiles.

Existe abundante bibliografía sobre el empleo tanto del GPS como del GIS para diversos tipos de estudios, pero habitualmente se les considera como herramientas para el

diseño. El trabajo que se presenta intenta mostrar las posibilidades de los sistemas digitales para el estudio de las vías forestales, una vez que estas ya están diseñadas y realizadas. Nos centraremos en dos aspectos que consideramos bastantes frecuentes: el estudio del impacto ambiental de las vías y el estudio de la caracterización de ellas. Con relación al primero estudiaremos los recursos paisajísticos que se ven desde la vía y los que vemos desde la vía, esto lo realizaremos al asociar fotografías a cada tipo de vista. Mientras que en el segundo, caracterizaremos los caminos para el inventario de vías. En general existe una amplia bibliografía tanto para el paisaje como para el impacto paisajístico en la que se emplea como herramienta diversos GIS (Mayall, K et al. 1994; Landphair, H. et al 1994; Vicent, S. J. 1995; Peccol, E. et al 1996).

## 2. Conceptos básicos relacionados con el GPS y GIS

El origen de los sistemas de posicionamiento Global podemos situarlos en el año 1957 cuando la URSS puso en órbita el primer satélite artificial: el SPUTNIK I. Muy pronto los geodestas pudieron observar que, analizando la cuenta Doppler de las señales radiodifundidas desde el Sputnik I y recibidas en estaciones de posición conocida, era posible establecer la órbita del satélite, y de manera recíproca se podía obtener la posición del receptor, después de haber recibido un número suficiente de señales.

El sistema GPS fue puesto en funcionamiento en la década de los 70, se desarrolló a partir de los satélites de la constelación NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging), creados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. La Antigua Unión Soviética desarrolló una constelación similar en la década de los 80, los GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System), aunque hay diferencias en el mensaje de navegación transmitido por los satélites y en los sistemas de referencias, el principio de funcionamiento es similar: Un usuario equipado con un receptor adecuado, recibe unas señales, extrae de ellas el mensaje de navegación con lo que obtiene su posición. De los dos sistemas americano y soviético, el más extendido es el primero, por lo que nos referiremos a él.

1 Los autores agradecen a la CICYT la financiación del proyecto AMB95-0225 que ha hecho posible la realización de este trabajo.

2 El GPS se ha convertido en una de las tecnologías ampliamente utilizadas en los años 90, se calcula que para el año 2000 el mercado mundial de GPS rondará los 11.000 millones de dólares.

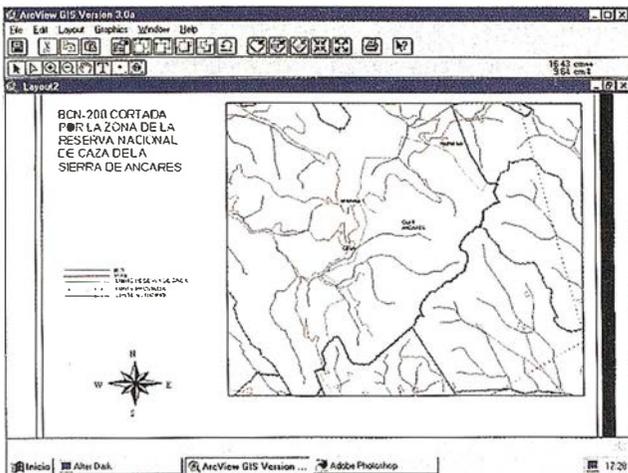


Fig. 1.: Visualización de la BCN-200 en la zona de la Reserva Nacional de Caza, dentro del módulo de ArcView "Layout".

En el sistema GPS podemos distinguir tres grandes partes o segmentos: el espacial, el usuario y el de control veamos cada uno:

- El segmento espacial: Es la constelación NAVSTAR de satélites, que está constituido por 24 satélites distribuidos en seis órbitas y separados entre sí  $60^\circ$ . La altitud de estos satélites sobre la superficie terrestre es aproximadamente de unos 20.000 Km. Los satélites transmiten una señal que incluye información sobre parámetros de posición de los satélites, tiempos de sincronización e información adicional del estado de salud del satélite. El GPS se basa en el cálculo de las coordenadas de una determinada posición a partir de las distancias desde los satélites a dicho punto. Para este cálculo son necesario al menos cuatro satélites: 3 para la posición (X, Y, Z) y el 4º para la sincronización entre el reloj del receptor y el sistema.
- El segmento usuario: es el equipo utilizado por el operador que suele consistir en un equipo de campo y otro de gabinete.
  - El equipo de campo suele tener tres grandes elementos:
    - La antena, encargada de recibir y amplificar la señal recibida por los satélites.
    - El receptor, recibe la señal de la antena y la decodifica.
    - La unidad de control, que es un ordenador que muestra la información recibida. A veces a este ordenador se le incorpora un programa GIS.
- El equipo de gabinete: Consiste en un programa de postprocesado de datos, en donde entre otras cosas se transforma las coordenadas y se ajustan las observaciones.
- El segmento control: este segmento realiza el seguimiento y supervisión de los satélites, constan de cinco estaciones de seguimiento distribuidas por toda la tierra, situándose la principal en Colorado (USA).

Los satélites son activos, es decir realizan emisiones. Las que usamos son las que están en la banda L de radiofrecuencias que abarcan desde 1GHz hasta 2 GHzs. En concreto son dos frecuencias portadoras L1 (cuya frecuencia es de 1575,42 MHz) y la L2 que lo hace en la frecuencia 1.227,60 MHz. Sobre las portadoras L1 y L2 se envían dos códigos y un mensaje. En la mayoría de los GPS suelen utilizar una de las dos frecuencias, excepto aquellos en los que se requiere una gran precisión, (los GPS que llamaremos geodésicos), que utilizan las dos.

Como los satélites fueron desarrollados y están controlados por el Departamento de Defensa de los EEUU, son ellos quienes introducen señales que producen errores con la finalidad de proteger sus sistemas militares. Es lo que se denomina disponibilidad selectiva (SA). Con la SA activada el sistema ofrece precisiones de unos 100 metros. Los usuarios autorizados disponen de un adecuado contraprocés para recuperar los datos originales. Para el resto de usuarios pueden aumentar la precisión utilizando una técnica llamada "GPS diferencial"<sup>3</sup> para esto es necesario contar con dos receptores. Uno estacionario sobre un punto conocido, identificado como receptor "base" y uno móvil. El receptor base transmite las correcciones, llamadas diferenciales a través de un radioenlace. De esta forma el receptor móvil calcula su posición empleando las señales que recibe de los satélites añadiéndole los datos que recibe procedentes del receptor base.

Podemos agrupar según su aplicación los GPS en 4 clases:

- GPS navegadores, aparatos del tamaño de una calculadora dan errores de 100 m a 15 m.
- GPS métricos, aparatos del tamaño del doble de un navegador (datos aproximados peso 1 kg.). Los errores son de 2 a 5 m.
- GPS submétricos o topográficos. Suelen consistir en una mochila con una antena, los errores son menores del metro (de 40 a 80 cm).

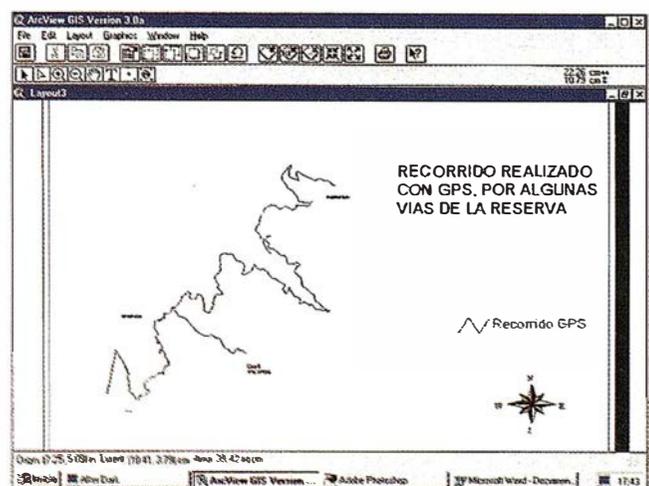


Fig. 2.: Visualización del recorrido realizado con GPS sobre vías asfaltadas de la Reserva Nacional de Caza.

3 Los GPS mas sencillos o navegadores, aunque algunos tienen la posibilidad de usar el método diferencial, no suelen utilizarlo. Habitualmente las empresas que comercializan GPS suelen tener bases fijas que permiten a sus usuarios realizar las correcciones, estas bases normalmente tienen que estar a menos de 500 km. A veces organismos públicos dotan de un sistema de radiodifusión de correcciones diferenciales del GPS. Así las señales RANSAT establecidas por diversos organismos de la Generalitat de Catalunya permiten obtener coordenadas de puntos de hasta  $\pm 1$  m de precisión relativa.

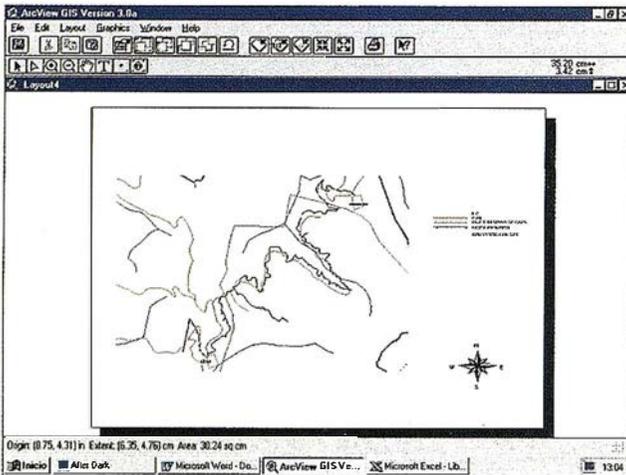


Fig. 3.: Superposición del Recorrido con GPS sobre la BCN-200, apreciando la concordancia o no, entre el trazado georeferenciados y el trazado existente en la cartografía.

- GPS geodésicos, suelen ser aparatos de gran precisión llegando a unos pocos milímetros, normalmente de 0,5 a 2 cm. Dentro de los geodésicos, podemos distinguir dos tipos, los de doble frecuencia y los de doble constelación. Los equipos de doble frecuencia basan su precisión en la utilización de las dos bandas L1 y L2 para el posicionamiento del receptor. Los de doble constelación se basan en recibir señales tanto del NAVSTAR como del GLONASS.

Las precisiones que acabamos de comentar son en condiciones óptimas, es decir sin obstáculos que nos puedan producir reflexiones en la señal, como árboles o construcciones próximas, etc.

De forma sencilla podemos definir el GIS como una herramienta informática para manejar una base de datos georeferenciada. Los GIS trabajan con capas o estratos de información, así pueden ser capas los límites municipales, los asentamientos, la red de carreteras etc. Una de las grandes ventajas que presentan

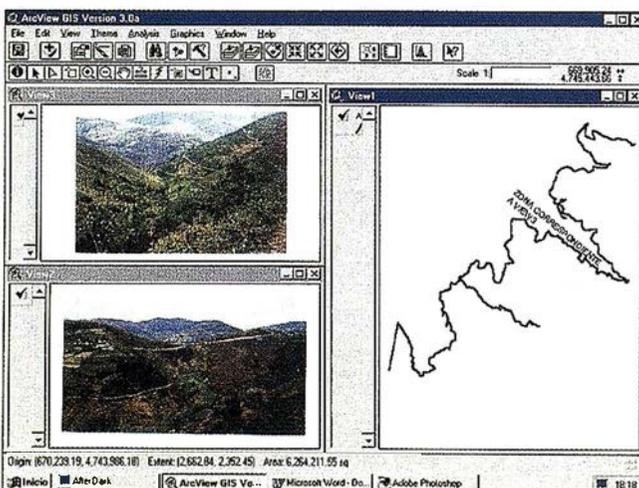


Fig. 4.: El programa ArcView nos permite visualizar imágenes asociadas al recorrido, así en la figura aparece el recorrido hecho con GPS y una fotografía de las vistas desde una parte de la vía (View3) y otra fotografía del recorrido desde fuera de él, es decir desde otra vía a cierta distancia.

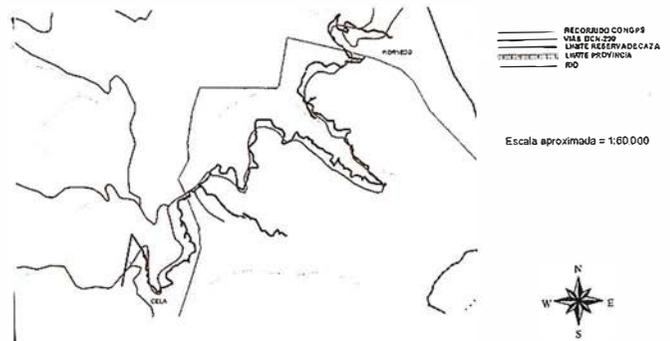


Fig. 3b.: Detalle del recorrido realizado y el que aparece en la BCN-200.

los GIS es que pueden relacionar las distintas capas entre sí, lo que le concede al sistema una gran capacidad de análisis. Además permite manipular los mapas de una forma rápida.

Podemos distinguir en el GIS dos grandes aspectos: un programa informático y una base de datos especializada que contiene datos georeferenciados. Según el modelo de base de datos que contenga el GIS este se suele clasificar en uno de los dos grandes grupos: "Vectorial" o "Raster". En el modelo vectorial se define un objeto geográfico a través de sus límites o fronteras con el exterior. Los modelos vectoriales representan la información mediante puntos (por ejemplo una ciudad en un mapa de Europa), las líneas (por ejemplo una carretera) y los polígonos (por ejemplo los límites municipales). En el modelo "raster" o modelo matricial, lo que se codifica en el ordenador es el contenido de los objetos geográficos, en lugar de sus límites exteriores. Esto se logra al superponer al mapa a representar una rejilla regular, de manera que a cada celda de la matriz se le asigna el valor de la característica predominante del mismo. Aunque originalmente los diversos GIS eran "raster" o vectoriales hoy día la mayor parte de los programas incluyen ambos módulos, por ello las diferencias entre unos y otros se deben principalmente a la orientación técnica a la que esté dirigida el GIS.

### 3. Aplicaciones del GPS y GIS a las vías de comunicación

La ingeniería de la construcción de vías, se ha visto enormemente beneficiada de las técnicas informáticas, pero esto mejora sólo una parte del proceso, a saber, el diseño. Es por ello que la realización de la construcción en sí misma, no ha podido sacar igual partido de estas herramientas. Es evidente que uno de los factores decisivos ha sido la necesidad de movilidad asociada a este tipo de obras. Es en este sentido, en el que el GPS se presenta como un instrumento que ayuda a resolver esta laguna, al dar un conocimiento exacto de la posición (llegando a precisiones menores del centímetro) y por lo tanto mejora la unión entre las fases de diseño y construcción de una vía. Un ejemplo puede ser en las labores de replanteo.

El GPS, puede llegar a dar una precisión centimétrica incluso en tres dimensiones, da un posicionamiento en tiempo real, está disponible las 24 horas del día, cubre toda la tierra, es independiente de las condiciones atmosféricas, permite un

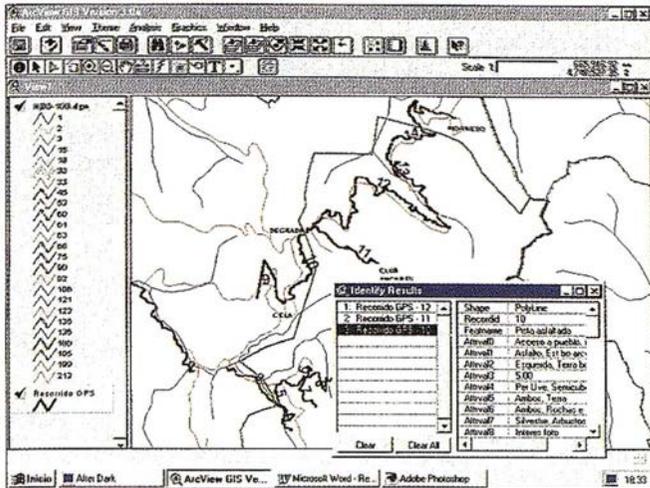


Fig. 5.: Visualización de la base de datos asociada al recorrido para caracterizar cada tipo de vía.

número ilimitado de usuarios y es un servicio gratuito. Por lo que se muestra una herramienta muy útil para las diversas labores de construcción. Veamos algunas de sus utilidades:

- Los movimientos de tierra, permitiendo a la máquina tener una guía centimétrica, de esta forma el operador puede visualizar la posición en la que él está y la de diseño, permitiéndole realizar los movimientos de tierra mas eficazmente, lo que significa una reducción de tiempos de maquinaria pesada, con lo que se reducen también costos.
- Posicionar las diversas obras de fábrica de forma instantánea y exacta.
- Movimientos de maquinaria, las diferentes maquinas pueden ir dotadas con un GPS, lo que nos dará los diferentes recorridos de cada una, ayudando a las labores de mantenimiento. Puede permitimos también conocer en cada momento donde se encuentra cada una de las máquinas con un sistema de telefonía; y también conocer a los conductores donde están exactamente y como llegar de forma eficaz a las siguientes tareas.

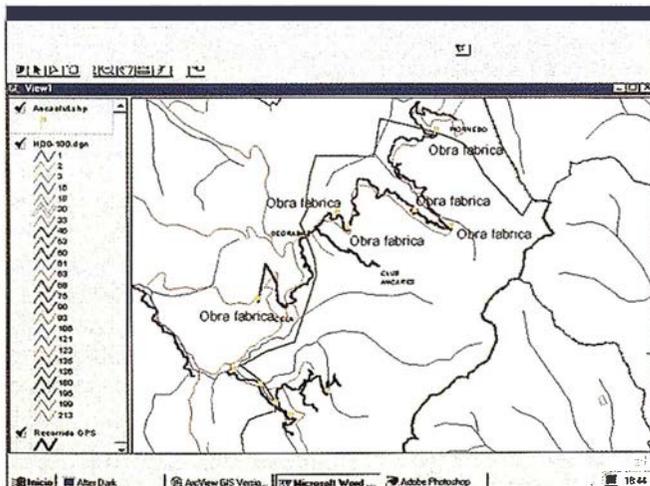


Fig.6.: Edición de una cobertura de puntos a los que va asociada la presencia de obras de fábrica a lo largo del recorrido realizado.

Los GPS al proporcionar registro muy exacto de la ubicación tanto de instalaciones materiales como de toda clase de vehículos en movimiento, son muy útiles no sólo para la construcción de las vías sino para el transporte en general ya que nos informan de la posición en cada momento. En el mercado ya existen GPS navegadores (con precios menores de 100.000 pts) con mapas que informan al usuario en que punto está. Hay también algunos proyectos de investigación en que se intenta aplicar los GPS para prevenir accidentes en carreteras; así el Departamento de Ingeniería Mecánica y Centro de Estudios del Transporte de la Universidad de Minnesota está realizando un proyecto en el que trata de aplicar el GPS diferencial para asistencia al conductor, en casos de pérdida de control del vehículo o falta de visibilidad etc.



Gráfico 1: Altura por la que discurren las vías del recorrido.

Los sistemas de información geográfica (GIS) al estar diseñados para manejar, analizar y representar gráficamente datos de espacios territoriales son una herramienta sinérgica de los GPS. Si reconocemos cuatro grandes funciones en los GIS: subsistema de entrada de datos, subsistema de archivo y acceso de datos, subsistema de manejo y análisis de datos y subsistema de salida de datos. Podemos comprender que el GPS puede utilizarse como uno de los principales subsistemas de entrada de datos.

Uno de los campos donde los GIS han demostrado su utilidad ha sido en el sector del transporte al ser una herramienta muy útil para la toma de decisiones. Podemos agrupar en cuatro grandes campos sus aplicaciones: en el diseño y planificación de las vías; en el manejo de la infraestructura de la red de transporte; en los fletes y transportes; y en control del tráfico. Es fácil comprender que si se tiene información actualizada de los diversos sistemas y costes de transporte se podrá elegir la manera más eficaz de realizarlo.

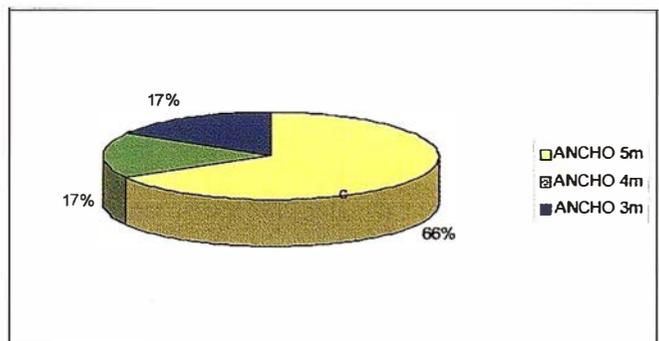


Gráfico 2: Anchura de las vías estudiadas.

Como ejemplos de las aplicaciones de los GIS al sector de transporte podemos enunciar:

- Análisis del volumen de tráfico, como ejemplo de esta aplicación esta la ciudad de Stockton en California, donde un GIS analiza y visualiza el volumen de tráfico de las diversas calles. Esto permite a los usuarios realizar comparaciones entre los diversos recorridos.
- Mostrar la red de carreteras, así en la ciudad de Yakima en Washington se utiliza un GIS para producir mapas que muestran la red de vías transitables. El GIS también muestra rutas alternativas si la carretera se cierra.
- Costos de diferentes rutas. Se puede utilizar los GIS para comparar los diferentes métodos de transporte y calcular los costos.
- Elección de la mejor ruta. Un ejemplo es lo realizado por la STCUM, (The Societé de transport de la Communauté urbaine de Montréal) quién ha creado un servicio telefónico para la elección de la ruta óptima en Montreal. El soporte informático se desarrolló sobre un GIS que provee de múltiples datos espaciales: monumentos, actividades especiales etc. Con una sencilla llamada a cualquier persona se le informa en pocos segundos de la ruta óptima de acuerdo con su particular situación: anciano, migrante, turista etc.

Por lo que se refiere a las vías forestales, el sistema GPS – GIS se puede aplicar para incendios, explotaciones forestales, etc. (Sverker Johansson, G. 1998). El uso del GIS y GPS nos permite obtener mapas de gran precisión, esto nos puede servir tanto para la realización de proyectos de nuevas vías como para la renovación y mantenimiento de las actuales. Nosotros nos centraremos en las inspecciones (consideradas como una parte de la labor de mantenimiento), ya que nos permiten clasificar los diversos segmentos de las vías según las características que busquemos, por ejemplo identificar los estados de deterioro, ubicar las distintas obras de fábrica, o establecer los diversos tipos de vistas que tenemos desde el camino forestal. Se puede caracterizar todas las vías forestales de una determinada zona y asignarle un gran número de atributos, por ejemplo el nombre de la vía, el tipo de camino, la superficie, la velocidad límite etc, esto sería útil tanto para la administración como para fines turísticos, así el coche guía podría llevar un GPS, dando las características de las vías por las que va circulando (siempre y cuando hayan sido estudiadas anteriormente). Otras utilidades del GPS y GIS para las vías forestales son las relacionadas con los corredores ecológicos, por medio del GIS podemos inventariar los diversos tipos de vegetación o fauna relacionada con los caminos rurales. Él realizarlo sobre un GIS nos permite trabajar a diversas escalas.

Se han utilizado también GPS y GIS para el diseño de una nueva red de vías forestales, para ello se disponía de GPS sobre los camiones que cargaban madera y en lo que quedando reflejado en un GIS no sólo el recorrido sino también la cantidad de madera transportada, conjuntamente con la velocidad (Stephen P. Prisley, and J. Steven Carruth, 1995). Una aplicación más sencilla es la de corregir los errores que se tienen en los diversos mapas, problema muy común en España.

En el presente artículo se expone una visión general de la aplicación del GPS y de los GIS, que pueda servir de introducción y muestre las posibilidades de estas herramientas. En con-

junto podemos decir que la introducción de datos por medio del GPS resulta de forma automática, y con un costo muy bajo pues consiste únicamente en ir recorriendo las vías existentes, estos datos quedan georeferenciados de forma automática. A veces se aprovecha los recorridos que se deben realizar para el mantenimiento o gestión y se añaden los datos necesarios.

#### 4. Material empleado

Las herramientas utilizadas para el desarrollo de este trabajo han sido, en primer lugar un GPS (Global Position System) para su posterior procesado a través de un SIG (Sistema de Información Geográfica).

El trabajo de campo fue realizado con un GPS submétrico y utilizando método diferencial, caracterizado por un elemento móvil y una base de referencia a saber:

- Características medidas:
  - Generic point: Para indicar puntos singulares o nombre de lugares. Tiempo de observación: 1 minuto
  - Pista asfaltada: línea, con menú de atributos y valores. Medición de puntos cada 5 segundos en método cinemático continuo.
  - Punto de inicio. Puntos medidos con observaciones de 1 minuto, para indicar el comienzo de una línea de pista
  - Obra de fábrica. Configurado como punto, lleva menú de características y valores.
- Procesamiento de los datos se han podido analizar precisiones estimadas por el propio software de 55-60 cm.

La segunda herramienta utilizada ha sido el SIG ArcView, un sistema de información geográfica bajo Windows 95, de fácil manejo, en la que podemos utilizar distintos formatos de archivos: propios del programa; ARC/INFO; JPG, TIF o IMG. Presenta cinco módulos para visualización y análisis de la información aunque en este trabajo se han utilizado cuatro módulos:

- *View*: Nos permite visualizar las distintas capas o coberturas gráficas, y las imágenes, o dicho de otro modo, archivos en formato vectorial, que serían los recorridos realizados por las vías, y archivos en formato raster, que serán las fotografías hechas de la zona.
- *Tables*. Utilizado para operar en las bases de datos asociadas a cada cobertura. Podemos utilizarla como una sencilla hoja de cálculo con operaciones elementales (conteo de variables, media o desviación típica), a la vez que podemos modificar los datos que aparecen en dicho archivo. En este módulo los archivos tienen que estar en formato dBase, que a su vez, son fácilmente procesables en Excel 97.
- *Chats*. Es el módulo de representaciones gráficas de los datos procesados en el apartado anterior, lo que nos permite asociar a cada cobertura representaciones de porcentajes, gráficos de barras, etc.
- *Layouts*. Nos permite visualizar la impresión de la cobertura deseada, dónde situar la leyenda, la escala, título, tamaño de papel, es decir, sería la presentación preliminar del trabajo realizado.

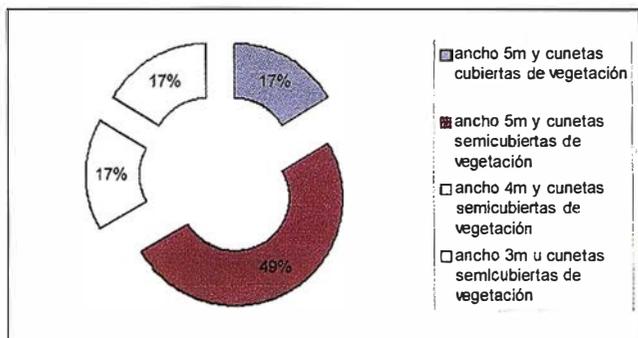


Gráfico 3: Comparación entre los distintos anchos y la vegetación en cunetas.

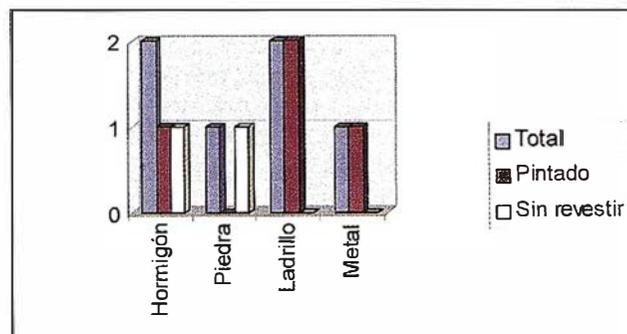


Gráfico 5: Distribución de materiales y recubrimiento en los muros-barrera encontrados en el recorrido.

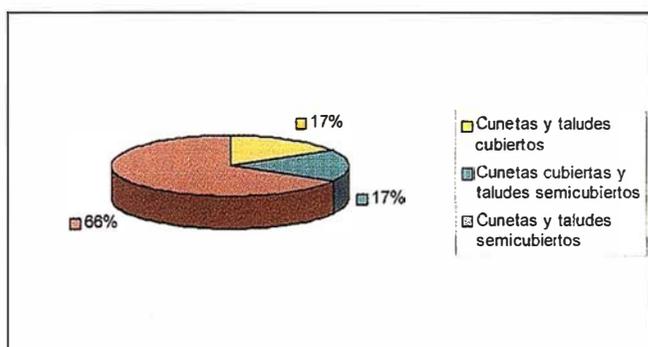


Gráfico 4: Presencia de vegetación en cunetas y taludes.

En el presente trabajo, se han utilizado tres tipos de archivos, los correspondientes al recorrido de las vías y representados por polilíneas, es decir estaríamos en formato vectorial. Los correspondientes a elementos puntuales como son las obras de fábrica encontradas a lo largo de la vía y representadas por un punto, también esto sería formato vectorial, y las fotografías del paisaje desde la vía que tienen formato raster.

La diferencia fundamental entre el formato vectorial y el formato raster, que hemos utilizado, es que las coberturas vectoriales tienen asociada una base de datos con las características de la vía, en el caso de la polilínea, de forma continua, o las características de las obras de fábrica de manera puntual, mientras que las imágenes raster no tiene asociada ningún tipo de información, más que la que se deriva de la propia visualización de la imagen.

## 5. Resultados

El GPS empleado fue de precisión submétrica, como se ha señalado con anterioridad, dado que la zona de Sierra de Ancares tiene una topografía muy sinuosa y el recorrido analizado ha sido del orden de 20 Km, luego la escala de trabajo es bastante grande y por lo tanto la precisión requerida elevada. Este GPS se llevo en un vehículo todo terreno, permitiendo que la antena saliese por encima del coche.

El empleo del SIG ha venido definido por la sencillez de manejo que presenta al trabajar en entorno Windows.

La toma de datos fue bastante rápida al disponer del software que suministra la misma casa que el GPS. Antes de salir se

estructuró la información en coberturas con el fin de ir introduciendo directamente los datos. Cada capa de información está compuesta por cuatro archivos como aparecen en la siguiente tabla:

La cobertura "Pista asfaltada" será la correspondiente a polilínea y la de "Obra de fábrica" a los puntos.

La estructuración de la información que aparece en las archivos \*.dbf; y que nos permite caracterizar las vías ver cuadro 1 pista asfaltada y cuadro 2 obras de fábrica. Siguiendo estas leyendas podremos interpretar los datos que aparecen en las bases de datos así como en las ventanas de información, que ArcView nos permite al pinchar en un punto del recorrido automáticamente aparecen las características asociadas a ese punto. Para poder definir mejor las variables consideradas en cada característica, se definieron las diversas variables que aparecen en los cuadros 1 y 2. Algunos ejemplos vemos en las fotografías 1 a 4.

En las páginas siguientes aparecen una serie de figuras y gráficos que muestran algunas de las posibilidades que presentan el GIS y el GPS para las vías forestales:

- Un punto de partida ha sido el poder trabajar con la BCN-200 de la zona, mapa en formato vectorial, facilitado por el Instituto Geográfico Nacional a escala 1:100.000 (Fig. 1), y que consta de red de carreteras, ríos, límites municipales y

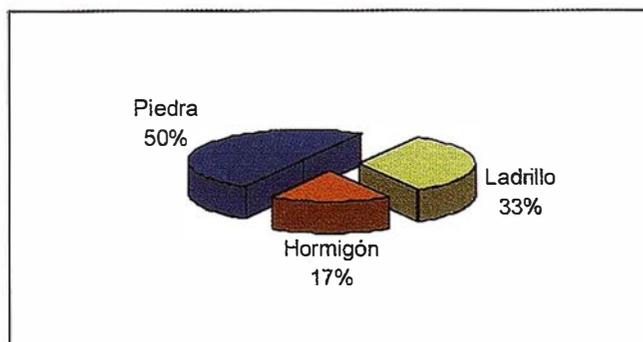


Gráfico 6: Materiales en los puentes encontrados en el recorrido.

límites provinciales, así como el límite de la Reserva Nacional de Caza de la Sierra de Ancares, en la provincia de Lugo, que es donde hemos realizado la toma de datos de campo, por lo tanto nos ha permitido comparar el recorrido realizado con el GPS con el recorrido que aparece en esta cartografía digital (Fig. 3), apreciando la falta de coincidencia entre el camino que nosotros hemos seguido (negro en la figura) y el cartografiado (rojo en la figura), por lo tanto he aquí un primer control posible gracias a las herramientas empleadas. En la fig 3b aparece una ampliación donde se observa mejor las diferencias.

- Es posible visualizar y analizar el recorrido individualmente como aparece en la Fig. 2, o bien con características asociadas. Así en la Fig. 4 junto al recorrido aparecen dos fotografías, la nombrada como "View3" correspondería al paisaje visualizado desde la propia vía y marcado en el croquis de la derecha ("View1"), y la segunda ("View2") sería un vista de la carretera desde fuera de ella. En la Fig. 5 podemos apreciar la información asociada a cada tramo de vía, en el fondo aparece el recorrido, con cada tramo numerado (9, 10, 11, 12, 13 y 14) y en primer plano las características de cada uno de esos tramos, estos tramos son los que hemos empleado para los diversos gráficos. Por último, en la Fig. 6, aparecen representados los puntos en los que se ha destacado una obra de fábrica (muros-barrera y/o puentes). Queda por tanto, el recorrido perfectamente caracterizado con el grado de detalle que hayamos definido al hacer el diseño de la toma de datos.
- Del análisis de la información de la base de datos se han obtenido una serie de gráficos en los que se resume la situación de las vías estudiadas. Así por ejemplo la altura por la que discurren estas vías es, sobre todo, de media ladera como se refleja en el Gráfico 1, otra consecuencia de este análisis es la prominencia del ancho de 5 m. sobre otras vías más estrechas (Gráfico 2). De forma general, podemos hablar de vías con un desarrollo de vegetación medio, ya que la mayoría de las cunetas están semicubiertas de vegetación, así como los taludes (Gráficos 3 y 4). En los Gráficos 5 y 6 podemos apreciar los materiales el tipo de materiales y recubrimiento empleado en los muro-barrera así como en los puentes.

## 6. Conclusiones

- Se han conseguido introducir directamente en un plano diversas características de las vías, algunas lineales, como el trazado de la propia vía y otras puntuales, como son las características de las obras de fábrica. Incluso se han incorporado imágenes con las fotografías de las vistas desde el camino y con vistas desde donde se observa la vía forestal.
- El GPS se ha utilizado no sólo para almacenar datos de puntos, como son las características de las obras de fábrica sino que se han recogido datos en movimiento como es el trazado de la vía.
- El Software del GPS nos ha permitido manejar diversos tipos de coberturas que después hemos volcado en un GIS.

- Parece claro que el GPS permite adquirir un gran número de datos con gran precisión y de una manera rápida.
- El GPS en combinación con el GIS se muestra como una herramienta muy potente para la investigación, así hemos realizado algunas aplicaciones como son:
  - Comprobar el trazado de las vías que aparecen en las diversas cartografías.
  - Visualizar el recorrido y características asociadas a él.
  - Establecer directamente gráficos para comparar los diversos datos.

## Bibliografía

- Albadalejo V. et al 1998. Integración de la tecnología GPS en la gestión del medio natural en la Región de Murcia. **Mapping**, nº 47 julio 1998.
- Bornet, B. 1996. Autoroute verte. Mesures d'intégration au paysage. L'autoroute du Rhone, un symbole et une réalité. *Strasse und Verkehr*, vol. 82 (12), pp. 661-665.
- Cañas I. et al 1997. Revisión y evaluación del paisaje en los estudios de impacto ambiental realizados en los proyectos puntuales de carreteras: medidas preventivas y correctoras. **II Congreso de ingeniería del paisaje**. Coruña Fecha: 3-5 diciembre de 1997.
- Cañas I.; et al. 1996. Las vías forestales y el Medio Ambiente. **III Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos**. Universitat Politècnica de Catalunya Lugar de celebración: Barcelona y Terrassa, 12, 13 y 14 de Septiembre. 1996.
- Cañas I. 1993. Estimación del impacto paisajístico de las carreteras. **Informes de la construcción**, vol. 45 nº 425-426, mayo/junio-julio/agosto.
- Landphair, H. et al 1994. Landscape Inventory and Management System Technology for Highway Transportation. Report No: FHWA/AZ-94/318-1. Sponsor: Federal Highway Administration, Phoenix, AZ. Arizona Div.
- Mayall, K et al. 1994; Integrate GIS and CAD to visualize landscape change. **GIS World** vol. 7, nº 9. Pp 46-49.
- Peccol, E. et al 1996.; Gis as a tool for assessing the influence of countryside designation and planning policies on landscape change. *Journal of environmental management* 1996, Vol. 47, nº 4 pp 355-367.
- Stephen P. Prislely, and J. Steven Carruth 1995? GPS Speeds Data Collection on GIS Road Networks. <http://pasture.ecn.purdue.edu/~aggrass/esri95/to050/p040.html>.
- Sverker Johansson, G. 1998 Using GPS and GIS for road network surveying and updating. <http://www.skogforsk.se/eng/knowledge/pub/results/rs9403.htm>
- Vicent, S. J. 1995. An expert-Bases Approach for cultural landscape assessment using a geographic information system as a tool for analysis. Vol. 34/03 of **MASTER ABSTRACTS**. page 1013. 117 pages.

**Cuadro 1: Pista asfaltada, datos que se especificaron (I)**

USO	Forestal	Valle		
		Media ladera		
		Cumbre		
	Acceso a fincas	Valle		
		Media ladera		
		Cumbre		
	Acceso a pueblos	Valle		
		Media ladera		
		Cumbre		
PAVIMENTACIÓN	Hormigón	Con arcén	Estado bueno	
			Estado regular	
			Estado pésimo	
			Sin arcén	Estado bueno
				Estado regular
				Estado pésimo
		Asfalto	Con arcén	Estado bueno
				Estado regular
				Estado pésimo
			Sin arcén	Estado bueno
				Estado regular
				Estado pésimo
	Grava compactada	Con arcén	Estado bueno	
			Estado regular	
			Estado pésimo	
		Sin arcén	Estado bueno	
			Estado regular	
			Estado pésimo	
	Tierra	Con arcén	Estado bueno	
			Estado regular	
			Estado pésimo	
		Sin arcén	Estado bueno	
			Estado regular	
			Estado pésimo	
			Estado regular	
			Estado pésimo	
CUNETAS	Izquierda		Tierra	
			Hormigón	
			Otros	
	Derecha		Tierra	
			Hormigón	
			Otros	
	Ambas		Tierra	
			Hormigón	
			Otros	
PERFIL VEGETACIÓN EN CUNETAS	Uve		Cubiertas	
			Semicubiertas	
			Desnudas	

	Trapezoidal	Cubiertas
		Semicubiertas
		Desnudas
	En U	Cubiertas
		Semicubiertas
		Desnudas
MATERIAL EN TALUDES	Izquierdo	Tierra
		Hormigón
		Otros-Piedra
	Derecho	Tierra
		Hormigón
		Otros-Piedra
	Ambos	Tierra
		Hormigón
		Otros-Piedra
VEGETACIÓN EN TALUDES	Izquierdo	Cubierto
		Rocas y vegetac.
		Desnudo
	Derecho	Cubierto
		Rocas y vegetac.
		Desnudo
	Ambos	Cubierto
		Rocas y vegetac.
		Desnudo
TIPO DE VEGETACIÓN EN TALUDES	Cultivada	Arbustos
		Árboles
		Herbácea
	Silvestre	Arbustos
		Árboles
		Herbácea
VISTAS	Buena	
	Mala	
	Regular	
	Interés foto	
ANCHO	Valor entre 2,5 y 14	

**Cuadro 2: Obras de fábrica, características tomadas.**

MURO-BARRERA PUEBLOS	Ladrillo	Pintado
		Sin revestir
	Piedra	Pintado
		Sin revestir
	Hormigón	Pintado
		Sin revestir
	Metal	Pintado
		Sin revestir

# I.T.S. REALIZA LA GUÍA DE CARRETERAS DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS

La División ITS de COINPASA está desarrollando una Guía de Carreteras y Servicios del Principado de Asturias por encargo de la Consejería de Fomento del Principado de Asturias.

Esta Guía, que será impresa y distribuida durante el mes de Febrero tiene un formato aproximado de 31 x 17 cm. Y encuadernación con espiral, siendo la mayor parte de las páginas en formato desplegable de aproximadamente 31 x 41 cm.

Como documentación de partida para la realización del mapa se ha utilizado la cartografía escala 1/5.000 del Principado de Asturias, con un excelente grado de actualización, al haberse finalizado durante el año 1998 la realización de la misma, proyecto en el que COINPASA - ITS también intervino en labores de comprobación y garante de calidad.

Partiendo de dicha cartografía, en formato vectorial, se ha procedido a las tareas de tratamiento infográfico, diseño y maquetación para realizar finalmente una impresión de 5.000 ejemplares.

El primer apartado y punto fundamental de la Guía es el mapa de carreteras, realizado a escala 1/100.000, en el que se ha reflejado la Red actual de carreteras, con su clasificación, las vías que están en este momento en construcción así como los futuros proyectos, diferenciados entre sí, y una serie de información adicional: Vistas panorámicas, Faros, Paradores Nacionales, Estaciones de Esquí, etc.

Algunos de estos puntos se han desarrollado de manera más extensa en el interior de la Guía.

Dispone, también, de un sistema de localización mediante un cuadro de doble entrada, compuesto por letras y números, para facilitar la localización de todos los núcleos reflejados en el mismo, y cuya relación figurará al final de la Guía.

Por ser una zona importante, se ha dispuesto una hoja suplementaria en la que aparece el eje de Oviedo, Gijón y Avilés.

El siguiente punto de la Guía recoge los planos urbanos de seis importantes núcleos urbanos, a escala aprox. 1/20.000: Oviedo, Gijón, Avilés. Langreo, Mieres y Pola de Siero. Estos planos se han realizado de manera muy esquemática; en ellos se reflejan los puntos de mayor interés y la toponimia más relevante; destacando sobremanera el entramado de carreteras, principalmente las entradas y salidas de dichas ciudades.

La Guía, además de contar con el propio mapa de carreteras a escala 1/100.000, cuenta con secciones de información de carácter general, representadas sobre soporte cartográfico, de una manera esquemática y de fácil localización.

Cada sección cuenta con datos tales como la ubicación, datos específicos del elemento, y el teléfono y fax, si lo tuvieran, además de un teléfono de "salida" para la obtención de información general de cada apartado, y decorada con una serie de fotografías representativas, de acuerdo con cada tema.

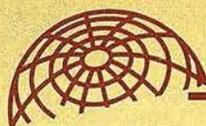
Entre los distintos apartados con los que cuenta la Guía podemos destacar los siguientes:

- Información Turística y Ocio con datos relativos a Oficinas de Información y Turismo, albergues, residen-

cias juveniles, paradores de turismo, casonas, casas de aldea, yacimientos arqueológicos, monumentos prerrománicos, arte románico, museos, colecciones museográficas, aulas didácticas, áreas recreativas, espacios protegidos, monumentos naturales, centros de interpretación de la naturaleza, refugios de montaña, estaciones de esquí, centros deportivos y campos de golf.

- Rutas de Especial interés con información sobre El Camino de Santiago, rutas de senderismo, rutas de montañismo, rutas de bicicleta de montaña y situación de los puntos de interés en la ruta conocida como la costa de los dinosaurios.
- Otros Datos de Interés con aportaciones referidas a la localización de polígonos industriales, parques tecnológicos y teléfonos de interés general así como un cuadro de distancias kilométricas entre las 78 capitales de los 78 Concejos en que se divide el Principado de Asturias.
- Como apartado final de la Guía, ésta dispondrá de un Índice Toponímico de Entidades de Población en el que se podrán localizar los 5.602 topónimos reflejados en el mapa. Estos topónimos se han actualizado de acuerdo al Nomenclator Oficial de que dispone el Principado, en el que cada topónimo figura en su forma tradicional y oficial, siendo este último el elegido para esta Guía, por ser su proyección hacia el turismo nacional, no tanto el local.

Cabe destacar la enorme cantidad de información de que disponen las diferentes Consejerías del Principado de Asturias, en forma de publicaciones, editadas para todos los turistas que se acerquen por esa bella tierra.



# I.T.S. Realiza la Guía de Carreteras del PRINCIPADO DE ASTURIAS

La División **ITS de COINPASA** esta desarrollando una Guía de Carreteras y Servicios del Principado de Asturias por encargo de la Consejería de Fomento del Principado de Asturias.

La guía, que será impresa y distribuida durante el mes de Febrero tiene un formato aproximado de 30 x 17 cm y encuadernación con espiral.

Como documentación de partida para la realización del mapa se ha utilizado la cartografía 1/5.000 del Principado de Asturias, con un excelente grado de actualización, al haberse finalizado durante 1.998 la realización de esta cartografía, proyecto en el que COINPASA – ITS también intervino en labores de comprobación y garante de calidad.

Partiendo de la cartografía en formato vectorial se ha procedido a las tareas de tratamiento infográfico, diseño y maquetación para realizar finalmente una impresión de 5.000 ejemplares.

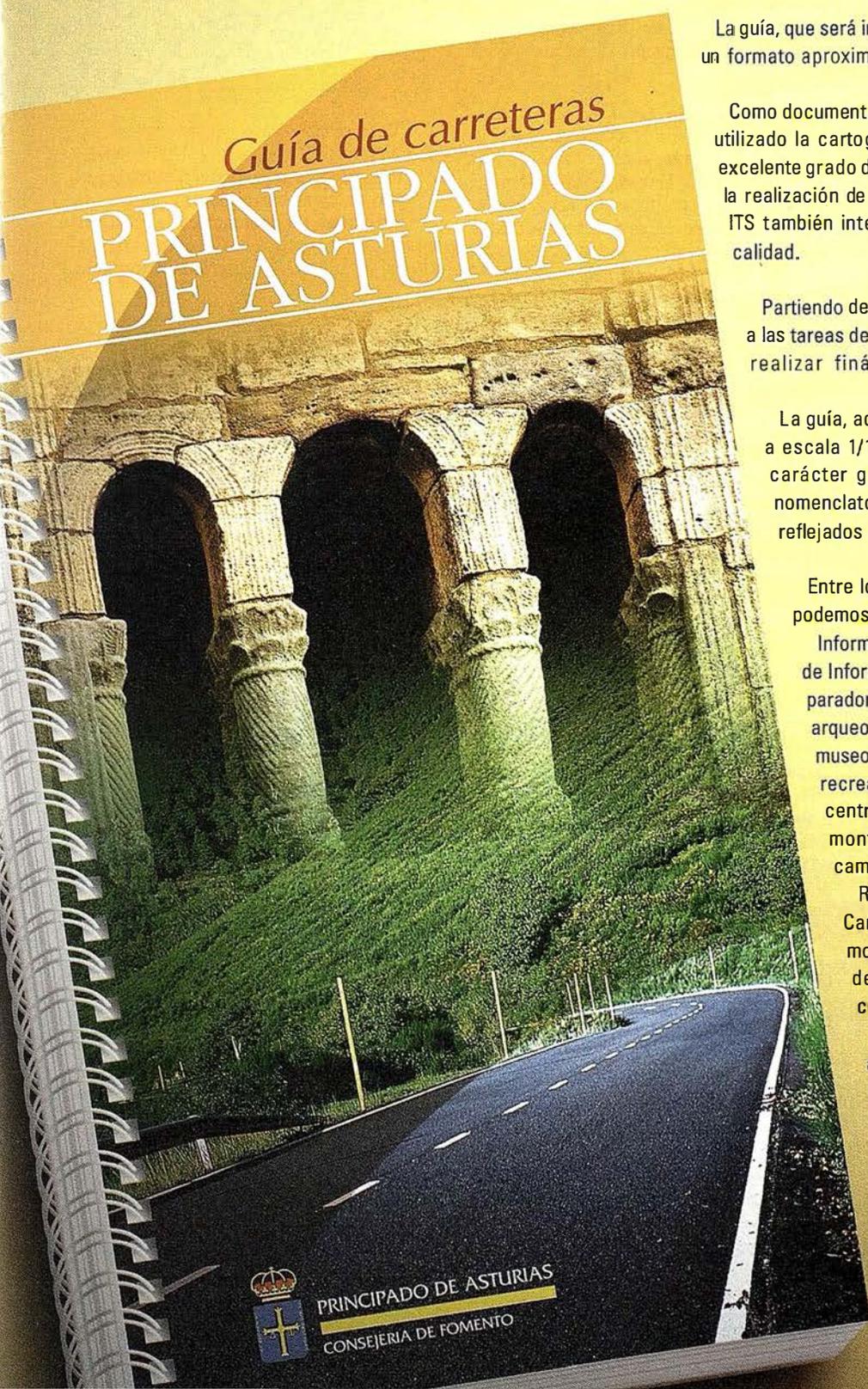
La guía, además de contar con el propio mapa de carreteras a escala 1/100.000 cuenta con secciones de información de carácter general disponiendo al final de la misma de un nomenclator en el que se pueden localizar los 5.602 topónimos reflejados en el mapa.

Entre los distintos apartados con los que cuenta la guía podemos destacar los siguientes:

Información Turística y Ocio con datos relativos a Oficinas de Información y Turismo, albergues, residencias juveniles, paradores de turismo, casonas, casas de aldea, yacimientos arqueológicos, monumentos prerrománicos, arte románico, museos, colecciones museográficas, aulas didácticas, áreas recreativas, espacios protegidos, monumentos naturales, centros de interpretación de la naturaleza, refugios de montaña, estaciones de esquí, centros deportivos y campos de golf.

Rutas de Especial Interés con información sobre El Camino de Santiago, rutas de senderismo, rutas de montañismo, rutas de bicicleta de montaña situación de los puntos de interés en la ruta conocida como la costa de los dinosaurios.

Y finalmente otros Datos de Interés con aportaciones referidas a la localización de polígonos industriales, parques tecnológicos y teléfonos de interés general así como un cuadro de distancias kilométricas.



## El Ayuntamiento de Santiago apuesta por los productos Bentley

*Bentley Systems Ibérica ha anunciado el desarrollo de un proyecto para el Ayuntamiento de Santiago cuyo objetivo es implementar los Sistemas de Información Geográficos (GIS) en todos los Organos del Ayuntamiento, con el fin de mejorar muchas de las tareas que se realizan en estas áreas y ofrecer así un mejor servicio a sus administrados. Esta iniciativa ha partido del Servicio de Planeamiento Urbanístico en estrecha relación con los Servicios Económicos. El Ayuntamiento de Santiago de Compostela, que buscaba productos potentes y de alto rendimiento, escogió los productos Bentley después de una evaluación exhaustiva.*

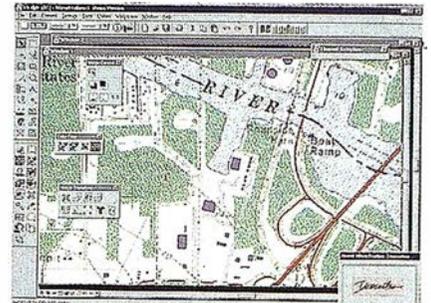
Dentro del proyecto que Bentley Systems Ibérica ha presentado al Ayuntamiento de Santiago de Compostela se incluye la compra e instalación de los siguientes productos:

Cuatro licencias del paquete MicroStation + MicroStation Geographics y dos licencias de MicroStation GeoOutlook como soluciones de Geoingeniería, y una licencia de Geopak Survey y GeoTerrain como productos de Ingeniería Civil.

**MicroStation Geographics** es una herramienta completa que integra perfectamente Soluciones de Diseño Asistido por Ordenador con entornos GIS que optimiza funcionalidades importantes como la posibilidad de crear mapas temáticos, conexión con bases de datos etc. Es una herramienta pensada desde un principio para desarrollar sobre ella, totalmente personalizable utilizando MDL, el lenguaje de programación de MicroStation.

**MicroStation GeoOutlook**, herramienta para el acceso y análisis de datos de geoingeniería. Es un sistema de bajo costo, fácil de usar y una herramienta móvil que le convierten en un producto que cubre perfectamente las necesidades de los proyectistas, directores de proyecto y responsables de toma de datos de campo que participan en proyectos de geoingeniería pero que no necesitan las capacidades de creación de datos de MicroStation Geographics.

**GeoTerrain y Geopak Survey** son las soluciones de Bentley Systems para el Modelado Digital del Terreno y el análisis de superficies del terreno orientado al área de cartografía.



Las nuevas soluciones se implementarán en todos los órganos del Ayuntamiento. Los usuarios que conocen el funcionamiento de estas herramientas opinan que proporcionan un aumento en la productividad de Proyectistas, Gerentes, trabajadores de campo, Ingenieros, Cartógrafos, etc.

La razón principal por la que el Ayuntamiento de Santiago se ha decidido por los productos Bentley ha sido la sencillez en la implementación y en la manejabilidad para el usuario, además, de la garantía que ofrece un líder como Bentley Systems, en este tipo de productos.

## Autodesk incorpora tecnología Java para ampliar la base de usuarios de sistemas de información geográfica

Autodesk ha anunciado que está utilizando Java para ampliar la base de usuarios potenciales de **Autodesk MapGuide** a los sistemas Macintosh y Sun Solaris. Gracias al lenguaje de programación multiplataforma Java, los usuarios de Apple Macintosh y Sun Solaris podrán acceder en vivo a mapas interactivos e información asociada a ellos a partir de la próxima versión **4.0** de **MapGuide**, que saldrá al mercado durante el primer trimestre de 1999. En la *Java Business Expo* celebrada recientemente en Nueva York pudo verse una primera demostración de este sistema de información geográfica (GIS) y cartografía.

Autodesk ha conseguido introducir en **MapGuide 4.0** funciones avanzadas para el entorno Java. También se están añadiendo nuevas prestaciones interactivas y el API (interfaz de programación) más completo e interactivo de la industria del GIS online. Estas y otras futuras novedades de **MapGuide 4.0** pueden verse en la web <http://www.autodesk.com/mapguide>.

Entre las innovaciones más populares de la nueva versión destacan la posibilidad de seleccionar información vectorial, imágenes raster, herramientas de análisis GIS, *Map-Tips* (que son *ToolTips* para objetos de mapa), además de más de 150 llamadas al API. Por su parte, los desarrolladores tendrán la misma sensación con el visor **Java Edition Viewer** que con los visores *ActiveX* y los *plug-ins*. También se beneficiarán de la posibilidad de reutilización de objetos del entorno de desarrollo Java.

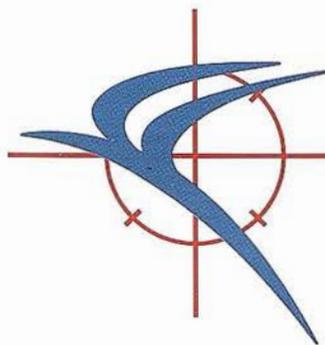
Según **Joe Astroth**, Vicepresidente de GIS en Autodesk, "Estamos cumpliendo el compromiso de independencia de plataforma que caracteriza a Java, a la vez que permitimos un acceso completo a GIS vectorial y raster desde un navegador. En Autodesk hemos optado por desarrollar primero una tecnología para los usuarios de PCs y luego ampliar nuestro público gracias al visor Java, un desarrollo nacido en respuesta a las exigencias de nuestros usuarios. Por el contrario, la competencia ha optado por dirigirse en primer

término a la máxima audiencia, habiendo sacrificado para ello las funcionalidades y la interactividad".

### MapGuide

Autodesk MapGuide ayuda a las organizaciones a sacar provecho competitivo gracias al aumento de la productividad y la mejora en la toma de decisiones. Este software incrementa el acceso a la información empresarial, organizando la información relevante mediante el uso de navegadores populares, así como desde aplicaciones Microsoft Office.

**Autodesk MapGuide** utiliza mapas inteligentes e interactivos mediante un interfaz fácil de entender que permite acceder y analizar información almacenada en múltiples bases de datos distribuidas. Es el único software GIS que proporciona tecnología Java para el trazado vectorial y rasterizado en vivo. También es el único sistema GIS diseñado para maximizar y aprovechar la arquitectura de la web.



**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

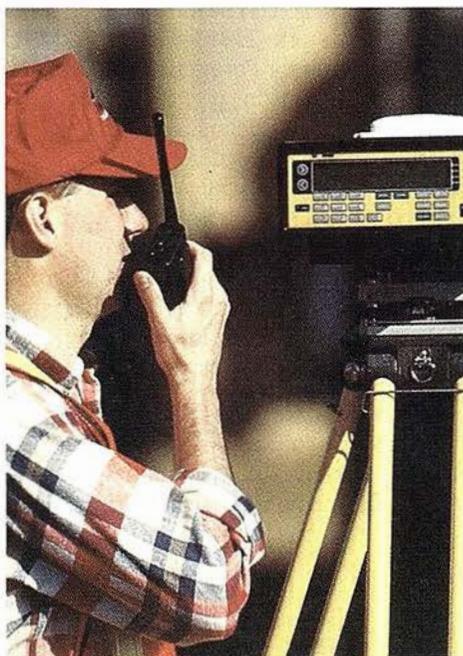
de AZIMUT S.A.

### 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**

# LA TRANSFORMACIÓN LINEAL DIRECTA: UN MÉTODO DE FOTOGRAMETRÍA CONVERGENTE DE BAJO COSTE

Cardenal Escarcena, F.Javier; García López, Santiago; Delgado García, Jorge y Romero Manchado, Antonio.

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría.

Escuela Politécnica Superior-Universidad de Jaén.

## RESUMEN

La Transformación Lineal Directa (DLT) es un método analítico desarrollado por Abdel-Aziz y Karara en la década de los 70 para la obtención de las coordenadas espaciales tridimensionales de un objeto a partir de varias fotografías convergentes del mismo, obtenidas con una cámara no métrica. Pese a su falta de rigurosidad matemática, es un método que puede llegar a proporcionar precisiones centimétricas cuando el control externo del objeto es suficiente y esta adecuadamente distribuido. En este trabajo, tras la exposición de los fundamentos del método y del proceso de trabajo, se presentan los resultados obtenidos en la restitución de un puente. Tanto en la medida de las fotografías como en el posterior tratamiento de la información se han empleado sistemas informáticos de bajo coste (tableta digitalizadora y ordenador PC), sin la utilización de sofisticado software de restitución. De hecho, el proceso de cálculo ha sido realizado mediante una sencilla rutina implementada en una hoja de cálculo de uso extendido. Las precisiones medias conseguidas en cada una de las coordenadas xyz se estiman en  $\pm 3$  cm. Los resultados obtenidos indican que la DLT es un método que puede resultar ventajoso en aplicaciones arquitectónicas, de obra civil, arqueológicas, etc., que no requieran precisiones muy elevadas.

## 1.- INTRODUCCIÓN

La Fotogrametría es una técnica muy extendida en el ámbito de la ingeniería civil. De todos es conocido que su principal utilidad consiste en la confección de mapas topográficos a diversas escalas. De hecho, en relación con la construcción de carreteras y otras obras públicas, es frecuente el levantamiento topográfico a escalas grandes (1/500-1/5000) mediante técnicas de fotogrametría aérea. Existen, sin embargo, otras aplicaciones donde la Fotogrametría puede ser empleada con muy buenos resultados (aplicaciones terrestres, por ejemplo) sin que hasta el momento, al menos en nuestro país, sea una herramienta habitual de trabajo. Ello es debido,

al menos en parte, al elevado coste que suponen los equipos de Fotogrametría (cámaras terrestres, restituidores, etc.), a la complejidad de las técnicas a emplear, a la falta de operadores y técnicos entrenados, pero también al desconocimiento generalizado de las posibilidades que la Fotogrametría ofrece como alternativa a otros sistemas de medida.

En el presente trabajo se presenta un sistema de bajo coste basado en los principios de la Fotogrametría Analítica Convergente. El método se basa en el empleo de una cámara convencional (no métrica) de pequeño formato (35 mm.), lo cual conlleva que puedan aprovecharse, por ejemplo, los reportajes fotográficos realizados en la obra civil (taludes, puentes, enlaces, etc.). En aquellos casos donde los requerimientos de precisión no sean muy exigentes, es una forma adecuada, relativamente sencilla y económica de extracción de datos métricos a partir de imágenes tomadas con equipos convencionales.

## 2.- METODOLOGÍA

El método propuesto en este trabajo es la Transformación Lineal Directa (DLT) desarrollado en 1971 por Abdel Aziz y Karara (in Karara, 1989). Este método inicialmente supuso una innovación en Fotogrametría al relacionar directamente las coordenadas de los puntos imagen, medidas en un comparador, con sus coordenadas espaciales, sin el paso previo de transformación a coordenadas fiduciales, por lo que no se requieren marcas fiduciales calibradas. Esto, junto a no requerir conocer la distancia principal de la cámara, hizo que este método fuera aplicable especialmente con cámaras no métricas. Posteriormente (1974), los autores incorporaron al modelo un término adicional para compensar los errores derivados de la distorsión del objetivo, lo que hace necesario incluir en las ecuaciones de la DLT las coordenadas del punto principal.

Las ecuaciones de la DLT provienen de las bien conocidas ecuaciones de colinealidad y relacionan las coordenadas imagen  $(x_a, y_a)$  con sus correspondientes coordenadas espaciales  $(X_A, Y_A, Z_A)$  mediante las expresiones:

$$x_a + (x_a - x_0)K_1r^2 = [L_1X_A + L_2Y_A + L_3Z_A + L_4] / [L_9X_A + L_{10}Y_A + L_{11}Z_A + 1] \quad (1a)$$

$$y_a + (y_a - y_0)K_1r^2 = [L_5X_A + L_6Y_A + L_7Z_A + L_8] / [L_9X_A + L_{10}Y_A + L_{11}Z_A + 1] \quad (1b)$$

Donde  $x_0$  e  $y_0$  son las coordenadas del punto principal (calculado según se indica mas adelante por intersección de

las diagonales);  $r$  es la distancia radial del punto al centro de la imagen ( $r^2 = (x_a - x_o)^2 + (y_a - y_o)^2$ );  $K_1$  es el coeficiente de distorsión radial simétrica (según los autores, un único coeficiente es suficiente para corregir la distorsión, sin que un aumento del número de coeficientes suponga una ganancia significativa de precisión);  $L_1, L_2, \dots, L_{11}$  son los coeficientes de la DLT. Las ecuaciones de la DLT se pueden reescribir (haciendo  $A = L_9 X_A + L_{10} Y_A + L_{11} Z_A + 1, x_o = 0, y_o = 0$ ):

(2a)

$$x_a = L_1 X_A + L_2 Y_A + L_3 Z_A + L_4 - x_a X_A L_9 - x_a Y_A L_{10} - x_a Z_A L_{11} - x_a K_1 r^2 A \quad (2b)$$

$$y_a = L_5 X_A + L_6 Y_A + L_7 Z_A + L_8 - y_a X_A L_9 - y_a Y_A L_{10} - y_a Z_A L_{11} - y_a K_1 r^2 A$$

Así, cada punto de control conocido permite escribir dos ecuaciones de DLT, por lo que son necesarios un mínimo de seis puntos de control para resolver las 12 incógnitas (11 parámetros DLT y un coeficiente  $K'_1$ , en donde  $K'_1 = K_1 A_i$ ). Es aconsejable, sin embargo, un control redundante y aplicar mínimos cuadrados para resolver el sistema de ecuaciones.

Una vez conocidos los coeficientes LDLT y  $K'_1$ , pueden reescribirse  $2n$  ecuaciones para cualquier punto "i" de coordenadas espaciales desconocidas (donde  $n$  es el número de fotografías en las que aparece el punto) y resolver las tres nuevas incógnitas ( $X_i, Y_i, Z_i$ ), esto es, calcular la intersección espacial de haces homólogos (figura 1). Las fórmulas para el cálculo de las coordenadas espaciales  $X_i, Y_i, Z_i$  se derivan de las expresiones básicas de la DLT (1a y b):

(3a)

$$(x_a + x_a r^2 K'_1) - L_4 = (L_1 - L_9 x_a) X_i + (L_2 - L_{10} x_a) Y_i + (L_3 - L_{11} x_a) Z_i$$

(3b)

$$(y_a + y_a r^2 K'_1) - L_8 = (L_5 - L_9 y_a) X_i + (L_6 - L_{10} y_a) Y_i + (L_7 - L_{11} y_a) Z_i$$

Los grados de libertad del sistema de ecuaciones 3a y 3b son  $2n-3$ , por lo que es factible aplicar un segundo ajuste por mínimos cuadrados para resolver las coordenadas espaciales del punto en cuestión. El mínimo número de fotografías en las que el punto debe de aparecer es de dos (cuatro ecuaciones con tres incógnitas), pero la precisión mejora sensiblemente si el punto aparece en tres o cuatro fotografías. Generalmente, aumentar el número de fotogra-

fías (mas de cinco) no mejora significativamente el resultado final. Por otra parte, la convergencia de los haces debe de proporcionar una buena geometría para el calculo de la intersección de los rayos homólogos. Cuanto mas próximo a  $90^\circ$  sea el ángulo de convergencia entre los ejes ópticos de dos tomas, mas favorable será esta geometría y, con ello, mayor la precisión obtenida en las coordenadas espaciales calculadas. Dado que la instrumentación empleada y los gastos de revelado no son elevados, se puede realizar un número suficiente de imágenes con distintas orientaciones y diversos puntos de vista, seleccionando posteriormente las mas adecuadas.

La principal ventaja de la Transformación Lineal Directa es su sencillez y fácil resolución, aunque es un método muy dependiente del control externo. Este control, además de ser redundante, debe estar bien distribuido alrededor del objeto a evaluar y en distintos planos a diferentes profundidades. Por otro lado, tal y como fue desarrollado por los autores (Abdel Aziz y Karara), este método presenta una grave incorrección matemática. En efecto, al proceder de las ecuaciones de colinealidad, donde nueve parámetros independientes representan los parámetros internos y externos de una cámara (distancia focal,  $x_o, y_o$ , coordenadas del punto de vista y tres giros en el espacio), las ecuaciones de la DLT amplían el número de parámetros. Existe, pues, cierta interdependencia entre los parámetros DLT que, en ocasiones, puede conducir a errores inadmisibles en la reconstrucción espacial de los haces. Un control abundante y adecuado puede evitar estos errores; asimismo se han desarrollado algunos procedimientos matemáticos que incluyen ecuaciones de condición no lineales entre los parámetros de la DLT (Karara, 1989).

En los últimos años, han sido desarrollados otros métodos de Fotogrametría Analítica que permiten una mayor independencia del control externo, o al menos, que no necesitan de numerosos puntos de apoyo. Estos métodos sólo requieren alguna medida de distancia dentro del objeto y también contemplan el empleo de equipos de adquisición no métricos. Tales procedimientos, entre los que destaca el ajuste simultáneo de haces y la autocalibración (Ghosh, 1987 y Karara, 1989) son mucho mas precisos y flexibles, pero mas complejos matemáticamente y requieren el empleo de software avanzado.

### 3. LA APLICACIÓN DEL MÉTODO A UN CASO REAL: EL PUENTE TABLAS (JAÉN)

Se ha utilizado el método DLT, desarrollado en paginas anteriores, en el levantamiento fotogramétrico del Puente Tablas. Esta construcción se sitúa sobre el río Guadalbullón a su paso por el término municipal de Jaén. A este puente, que en el pasado lejano constituyó una de los accesos principales a la ciudad de Jaén, se accede por la carretera vecinal JV-3012 que une Jaén con el núcleo urbano de Torrequebradilla.

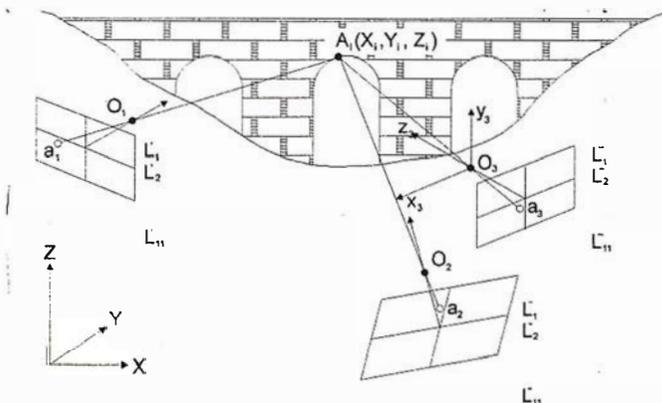


Figura 1.- Geometría de una red convergente de estaciones múltiples.

El apoyo topográfico para este trabajo fue llevado a cabo mediante un equipo *Sokisha TM6* con 20" de precisión angular. Se realizaron medidas de catorce puntos de control, cuyas coordenadas espaciales se calcularon por bisección espacial, con un error estimado de  $\pm 1$  cm. Los puntos de apoyo consistieron en puntos naturales del puente (esquinas, bordes de grietas, etc.), sin que hubiesen sido materializados previamente.

### 3.1. Adquisición de datos

Como en todo proceso fotogramétrico, la adquisición de los datos consta de dos fases diferenciadas: por un lado, la propia toma de las fotografías y, por otro, la realización de medidas sobre dichas fotografías. La obtención de las fotografías se llevó a cabo con una cámara no métrica de 35 mm. *Ricoh KRIOM* con un objetivo gran angular *Soligor* de 28 mm. (1:2.8), con la que se realizaron varias fotografías del puente desde distintos ángulos y distancias, entre 20 y 50 m (figura 2). Como ya se ha indicado, es necesario emplear una red de trabajo de estaciones múltiples de disparo con geometría convergente (figura 1). La calidad de esa red condiciona la mayor o menor precisión en el cálculo de las coordenadas espaciales del objeto a evaluar. La película usada fue

*Kodak Royal Gold 25*, cuya baja sensibilidad aseguró una nitidez óptima de las ampliaciones.

Una vez seleccionadas las imágenes, éstas pueden ser ampliadas a partir del negativo o bien transformadas a formato digital mediante un escáner de diapositivas. En nuestro caso fueron ampliadas con un factor aproximado de x9, con objeto de poder medir coordenadas  $xy$  de los puntos de interés mediante una tableta digitalizadora (o en su caso, si el formato es digital, coordenadas *pixel* con un programa apropiado de tratamiento de imágenes). Ciertamente, el error cometido con la tableta digitalizadora es mayor al obtenido con el uso de otros equipos fotogramétricos; de hecho, una tableta digitalizadora de calidad aceptable puede medir coordenadas con errores ( $\sigma_{xy}$ ) del orden de 0.1 mm. (Faig *et al.*, 1990) frente a 0.001-0.050 mm. que proporcionan equipos convencionales de fotogrametría (analógicos, analíticos o digitales), pero dado que la medida se hace sobre ampliaciones (habitualmente entre x4 y x10) el error a escala del original se reduce considerablemente. Las principales ventajas de emplear una tableta digitalizadora frente a equipos más sofisticados se pueden resumir en la reducción del coste de instrumentación, la realización del trabajo en un ambiente cómodo y el poder prescindir de la percepción estereoscópica. En este trabajo, las ampliaciones en papel se midieron con una tableta digita-

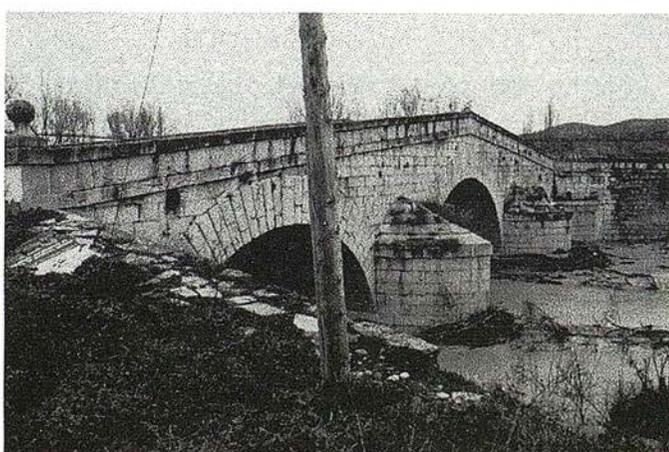
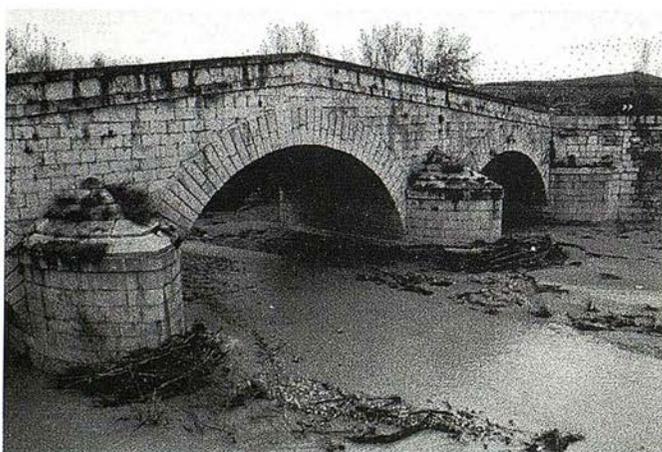
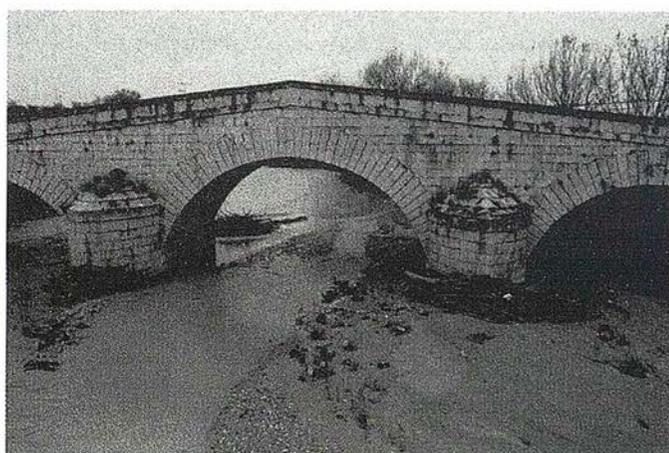
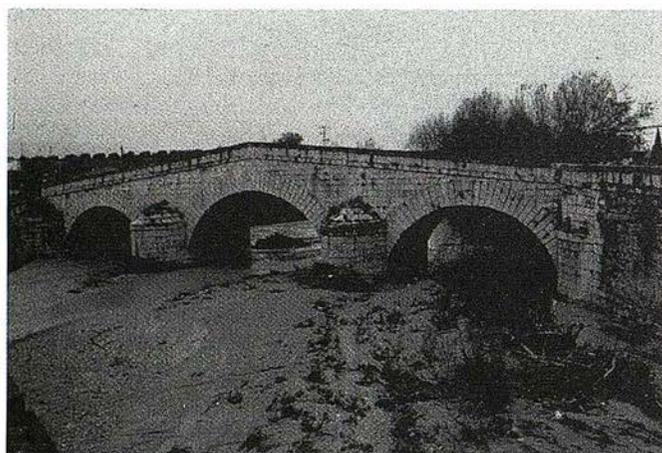


Figura 2.- Cuatro fotografías convergentes realizadas sobre el Puente Tablas utilizadas en este trabajo.

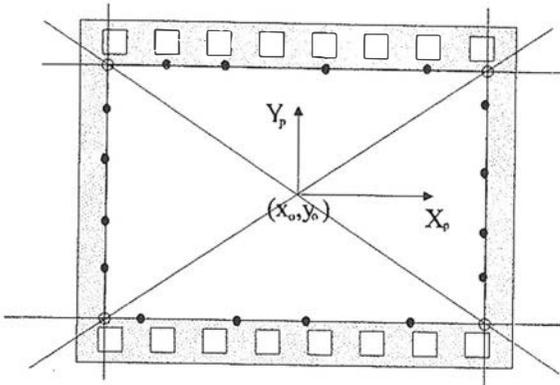


Figura 3.- Definición del sistema de coordenadas imagen mediante medidas de los bordes del formato. Una vez calculadas las esquinas de la película y definido el PPI  $(x_0, y_0)$ , por intersección de las diagonales, las coordenadas se centran en el PPI ( $x_0$  e  $y_0$  tendrán, pues, coordenadas 0,0).

lizadora convencional *HIPAD Plus<sup>TM</sup>* de *Houston Instrument*. Las coordenadas medidas en cada fotografía fueron almacenadas en un fichero DXF y extraídas de éste para su posterior tratamiento mediante un programa escrito en *FORTRAN* (Delgado, 1997).

Además de los propios errores de digitalización, se producen errores adicionales derivados de la ampliación fotográfica (distorsiones y falta de paralelismo entre el plano imagen y el plano de la ampliadora), errores que se pueden reducir con el empleo de un escáner de diapositivas (Warner, 1992). La distorsión de la ampliadora, junto a la producida por la cámara, puede ser corregida de forma efectiva mediante el uso de modelos matemáticos apropiadas. Sin embargo, la corrección de la deformación de la ampliación, en principio, requiere fotografías obtenidas con cámaras con marcas fiduciales o placa reticulada (*réseau*), cuyas coordenadas se conozcan por calibración del equipo. Dado que en este caso se empleó una cámara no métrica, se carecía de tales marcas, por lo que se optó por realizar ampliaciones de todo el formato original (marco incluido), realizando a continuación medidas de los bordes del fotograma que definen, por regresión lineal, las ecuaciones de las cuatro rectas que conforman el borde del formato (figura 3). A partir de tales ecuaciones se pueden obtener las coordenadas de las intersecciones (esquinas) y, con las diagonales resultantes, definir las coordenadas del centro de la imagen (Punto Principal Indicado).

Por otra parte, si se conoce el tamaño real del negativo (bien porque se ha medido el borde del negativo con un comparador o la apertura del formato en el cono interior de la cámara con un calibre), se pueden definir las coordenadas "calibradas" de las esquinas de la película. En nuestro caso, las coordenadas de las esquinas del formato de la cámara empleada fueron definidas previamente con medidas realizadas con el comparador de un restituidor analítico *Wild AP1* (perteneciente al Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría de la Universidad de Jaén). Aplicando una transformación de coordenadas bidimensional proyectiva (ec. 4a y b) se consigue la correc-

ción de la deformación producida por la ampliación y la consiguiente disminución del error de digitalización por reducción a la escala del negativo original.

$$x_f = (a_1 x_p + a_2 y_p + a_3) / (c_1 x_p + c_2 y_p + 1) \quad (4a)$$

$$y_f = (b_1 x_p + b_2 y_p + b_3) / (c_1 x_p + c_2 y_p + 1) \quad (4b)$$

En donde  $x_p$  e  $y_p$  son coordenadas de las esquinas de la película (calculadas por la intersección de rectas, figura 3);  $x_f$  e  $y_f$  son coordenadas calibradas de las esquinas del formato;  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2$  son coeficientes de ajuste. Las coordenadas de cualquier punto medido con la digitalizadora podrá ser transformado en el nuevo sistema de coordenadas y referido al PPI a través de los coeficientes de ajuste (transformación a fotocoordenadas).

### 3.2. Cálculo de coordenadas espaciales (intersección espacial)

Con las coordenadas fotográficas (fotocoordenadas) y espaciales de los puntos de apoyo se realizó un ajuste por mínimos cuadrados del sistema de ecuaciones 2a y b para cada fotografías. Una vez resueltos los coeficientes  $L_{DLT}$ , se aplicaron las ecuaciones 3a y b para resolver las coordenadas espaciales XYZ de los puntos de interés. En ambos casos, se implementó una rutina mediante una macro en un hoja de cálculo de amplia difusión (*QPRO*), para agilizar la resolución de los sistemas de ecuaciones planteados. Dado que se aplicaron mínimos cuadrados se ha analizado la matriz de varianza-covarianza con el fin de obtener los errores medios cuadráticos de las coordenadas espaciales calculadas.

Una vez obtenidas las coordenadas espaciales de un número suficiente de puntos, estos fueron introducidos en un programa de dibujo asistido por ordenador (CAD), con las consiguientes ventajas que ello conlleva de cara a la representación gráfica de los resultados (figura 4). En cualquier caso, las fotografías constituirán un registro permanente que podrá volverse a utilizar para obtener nuevas medidas, en caso de ser requeridas.

## 4. RESULTADOS

Las precisiones obtenidas se resumen en la tabla I (valores en mm.). El error cuadrático medio para las tres coordenadas

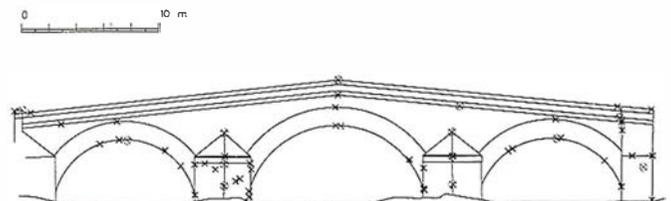


Figura 4.- Reconstrucción gráfica mediante CAD del Puente Tablas. Con círculos se señalan los puntos de apoyo (O) y con cruces (X) los puntos medidos.

XYZ ( $\sigma_{XYZ}$ ) en los 41 puntos medidos ha sido de 3 cm. Dado que, en el sistema de referencia empleado, el eje X es paralelo al puente, el eje Z es vertical y el eje Y marca la profundidad, el error mayor se ha producido según Y ( $\sigma_Y = 4$  cm.).

En la tabla I se ha desglosado, además, el error cuadrático producido según el número de fotografías en las que aparece cada punto. Así, se puede apreciar que no hay diferencias significativas en  $\sigma$  si el punto aparece en 4 ó 5 fotografías (lo cual significa 5 ó 7 grados de libertad del sistema de ecuaciones, respectivamente), pero el error medio cuadrático aumenta si el punto se calcula a partir de un número inferior de fotografías. Las condiciones más desfavorables se dan en puntos calculados a partir de sólo dos fotografías cuyo ángulo de convergencia sea, además, pequeño. En estas condiciones el error medio cuadrático puede aumentar hasta valores superiores a 10 cm.

N fot.	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_{XYZ}$	N ptos.
5	17	39	13	23	6
4	19	40	16	25	12
3	38	56	20	38	18
2	51	105	38	65	5
MEDIA	25	42	15	27	41

Tabla I. Errores cuadráticos medios ( $\sigma$ ) de las coordenadas espaciales calculadas (valores en mm.). N fot.: número de fotografías en las que aparece el punto; N ptos.: número de puntos medidos.

Finalmente, en relación a los errores cometidos, hay que indicar que cuando los puntos calculados están próximos a los puntos de apoyo,  $\sigma_{XYZ}$  es inferior a  $\pm 2$  cm. Una red de control externo adecuada es importante pues para unos resultados finales óptimos. Obviamente, el análisis realizado sólo afecta a los puntos discretos medidos, no a todo el gráfico representado en la figura 4, obtenido a partir de esos puntos y afectado, además, por la generalización realizada con el programa CAD que ha sido empleado.

## 5. CONCLUSIONES

El método fotogramétrico comentado tiene por objetivo obtener datos métricos a partir de fotografías realizadas con cámaras de bajo coste aprovechando, por ejemplo, los reportajes fotográficos realizados en una obra. Entre las ventajas del método cabe destacar la utilización de un modelo matemático sencillo, que el propio usuario puede desarrollar, incluso trabajando con *software* ampliamente difundido (una simple hoja de cálculo o una rutina de cálculo matemático convencional y un programa de diseño asistido). Asimismo, la instrumentación empleada en la medida de las fotografías permite su utilización por operadores no entrenados en técnicas fotogramétricas estereoscópicas. Existen en el mercado

equipos comerciales que aplican otras técnicas de fotogrametría convergente, bien con ampliaciones en papel o con fotografías digitalizadas. Sin embargo, éstos utilizan un *software* más complejo y sofisticado y requieren para la toma de fotografías de costosas cámaras métricas o semimétricas (preferentemente con placa reticulada).

Como principales desventajas del método se puede destacar, evidentemente, la menor precisión obtenida en relación a otros sistemas fotogramétricos y la necesidad de la reconstrucción espacial del objeto a partir de medidas de puntos discretos, al carecerse de visión estereoscópica. Además, cabría mencionar la necesidad de un control externo redundante (más de seis puntos, a ser posible entre doce y dieciocho) establecido por métodos topográficos clásicos. En la aplicación desarrollada en este trabajo, las precisiones medias obtenidas son del orden de  $\pm 3$  cm., suficientes para una gran variedad de estudios y proyectos, observándose una mayor imprecisión en la dirección de profundidad.

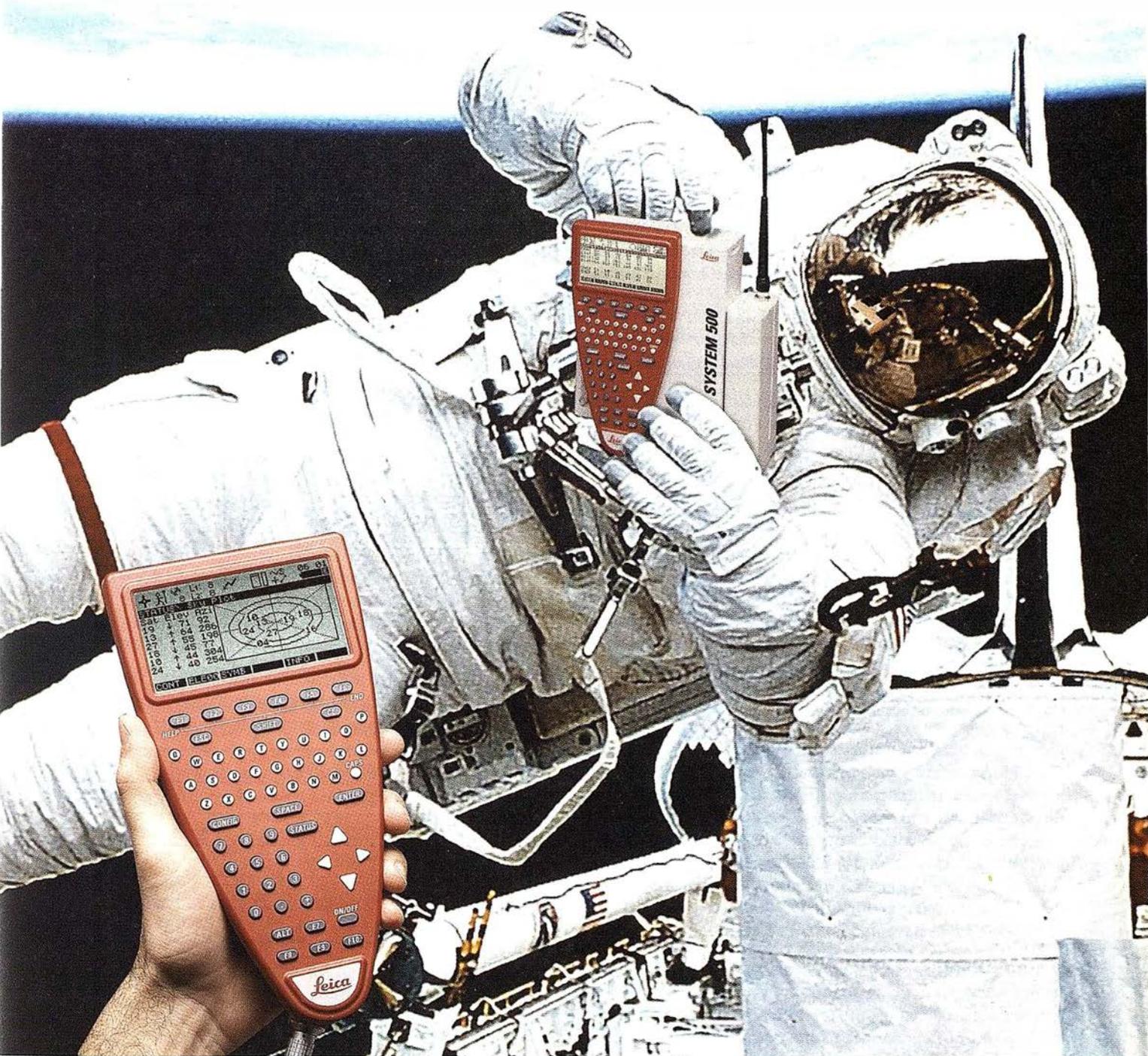
Para optimizar los resultados, el objeto a restituir debe de aparecer, al menos, en tres fotografías cuyos ángulos de convergencia convenga que sean elevados (mejor cuanto más próximos a  $90^\circ$ ), sin que se mejore significativamente la precisión final del método al emplear un número de fotografías superior a cuatro. Así mismo, se recomienda que los puntos de control están repartidos tanto alrededor del objeto como sobre su superficie, a fin de evitar áreas donde sea necesario extrapolar los coeficientes  $L_{DLT}$  calculados.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Delgado, J. (1997). Programa en FORTRAN para extraer coordenadas de un fichero DXF. Inédito.
- Faig, W., Shih, T. y Deng, G. (1990). The Enlarger-Digitizer Approach: Accuracy and Reliability. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, No.2, 243-246.
- Ghosh, S. (1987). *Analytical Photogrammetry*. 2ª ed. Pergamon Press, New York. 308 p.
- Karara, H.M. (ed.) (1989). *Non-Topographic Photogrammetry*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Virginia. 445 p.
- Warner, W.S. y Andersen, Ø. (1992). Consequences of Enlarging Small-Format Imagery with a Color Copier. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 58, No.3, 353-355.

30 40 50

**System 500... el amanecer de una nueva era**



GPS 01-99s

**«Un Pequeño Paso para el Hombre, Un Salto de Gigante para...»** Nuevo System 500 de Leica, el Nuevo Estándar Mundial en Topografía GPS. Con él, su trabajo se hará más fácil. El System 500 ha sido concebido para el más alto rendimiento, desde su reducido tamaño y bajo peso hasta su diseño modular, y a un precio que usted puede afrontar. Es la mejor solución GPS para cualquier aplicación, disponiendo

en un mismo equipo de dos configuraciones, todo en bastón o en mochila, ya sea en coche, barco o cualquier medio de transporte. No más barreras gracias a sus baterías fácilmente insertables y tarjetas PCMCIA de gran capacidad. Es un pequeño paso para el hombre, pero un salto de gigante para la topografía. Contacte con nosotros a través del +41 71 727 31 61 (Europa) o través de su representante local.

**Leica**

MADE TO MEASURE

# CARTOGRAFÍA DE SUELOS EN CASTILLA LA MANCHA A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE AVHRR

D. Miguel A. Bruña Guerra, Dña. Beatriz Gómez Tolón  
y D. Santiago Ormeño Villajos.

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica  
Topográfica (U.P.M.).

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio que a continuación se describe forma parte de un proyecto cuyo objetivo fundamental fue evaluar la potencialidad de las imágenes del sensor AVHRR en la discriminación de tipos de suelo. Dado que se pueden considerar como factores formadores del suelo la climatología, roca, geomorfología, vegetación y tiempo, en dicho proyecto se realizó un estudio individual de cada uno de los citados factores, obteniéndose los apartados de la vegetación y la litología a partir de imágenes AVHRR.

El proceso seguido comienza con la obtención de las imágenes, de este sensor, de la zona de estudio, derivando de ellas los documentos de *inercia térmica* para el estudio de la roca, el *índice de vegetación* para el estudio de la cobertura vegetal, y la *clasificación multibanda* para el intento de una discriminación aproximada de clases ocupacionales de suelos, con el fin de realizar un análisis interrelacionado entre todos ellos; incluyendo en este análisis el mapa de suelos, la finalidad última es llegar a unas conclusiones finales en las cuales se evaluará qué documento, derivado de las imágenes AVHRR, es más apropiado para la discriminación de suelos.

En este artículo se quiere destacar, más que la obtención de una cartografía de suelos propia de la zona de estudio, la metodología empleada para intentar discriminar tipos de suelos a partir de imágenes de satélite de gran cobertura terrestre.

## 2. NOAA Y EL SENSOR AVHRR

La empresa NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) depende directamente del Departamento de Comercio de Norte América. Surge a principios de los años 60 con la creación de unos satélites cuya finalidad era tener una cobertura total de la Tierra, regularidad en sus pasos, posibilidad de seguimiento de catástrofes y fenómenos naturales, para prevenir zonas que podría verse afectadas. No obstante, con el avance de la tecnología y la creación de nuevos sensores, se ha hecho posible que los satélites NOAA sean actualmente utilizados en una gran cantidad de aplicaciones ligadas a la superficie terrestre, aplicaciones tales

como hidrológicas, geológicas, climáticas, marítimas y riesgos naturales como incendios, inundaciones y contaminación.

La imagen que adquirimos para este estudio corresponde al satélite NOAA-14, cuyas características orbitales más importantes y dimensiones son:

Órbita Polar Síncrona Solar.  
Altitud : 833 – 870 km.  
Periodo de la órbita : 101,35 minutos.  
Inclinación : 98,7°  
Altura : 3,71 m.  
Diámetro : 1,88 m.  
Peso inicial : 1418 kg.  
Peso en órbita : 735 kg.

Este satélite lleva incorporado el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolución Radiometer) de tipo transversal, esto es, que registra la imagen mediante líneas de barrido perpendiculares a la dirección de navegación del satélite.

En la actualidad este sensor dispone de cinco bandas espectrales que van desde la región del Visible hasta el Infrarrojo Térmico, como se muestra en la siguiente tabla:

BANDA	AMPLITUD $\mu\text{m}$	REGION ESPECTRAL
1	0.58 - 0.68	ROJO
2	0.725 - 1.10	IR próximo
3	3.55 - 3.93	IR medio
4	10.3 - 11.3	IR térmico
5	11.5 - 12.5	IR térmico

Las principales características técnicas del sensor AVHRR son las siguientes:

- *Resolución espacial*: 1.1 km.
- *Resolución espectral*: 5 bandas.
- *Resolución radiométrica*: 10 bits ( $2^{10}$ , 1024 valores distintos)
- *Resolución temporal*: aproximadamente de 2 imágenes diarias por satélite.
- *IFOV*: 1,4 miliradianes.
- *Altitud*: 833 km.
- *Tamaño de la escena*: 6000x3000 km.
- *Velocidad de escaneado*: 360 líneas por minuto.

Este sensor ofrece diferentes tipos de imagen, atendiendo a su resolución espacial:

**LAC** (Local Area Coverage): estas imágenes tienen una resolución de 1,1 km y se graban a bordo del satélite.

**GAC** (Global Area Coverage): tienen una resolución de 4,4 km. Estas imágenes se basan en las anteriores, pero el sensor dispone de un dispositivo que es capaz de leer y grabar una fila de cada tres, resultando esta resolución espacial de 4,4 km.

**HRPT** (High Resolution Picture Transmission), tienen resolución de 1,1 km, pero a diferencia de las LAC no se graban a bordo, sino que se envían en tiempo real a las estaciones receptoras.

### 3. FUENTES DE INFORMACIÓN

#### 3.1. BASE CARTOGRÁFICA

La realización del estudio se inició con la obtención de la cartografía base para la representación de los datos estudiados. Dicha cartografía consta de dos ficheros vectoriales. El primer fichero contiene el límite del contorno peninsular, que será utilizado para la georreferenciación de las imágenes, y el segundo fichero contiene el límite del contorno de Castilla La Mancha, utilizado para el enmascaramiento de la zona de estudio. Ambos ficheros proceden de la digitización del Atlas Nacional de España a escala 1/2.000.000 en proyección Cónica Conforme de Lambert.

#### 3.2. MAPA DE SUELOS

Para su obtención se escaneó el mapa de suelos a escala 1/2.500.000 del Atlas de Castilla La Mancha, editado por su Junta de Comunidades en el año 1990.

Tras su visualización se comprobó la aparición de un moteado o speckle distribuido por toda la imagen debido al propio proceso de escaneado. Por este motivo se trató dicha imagen eliminando la información innecesaria con el fin de obtener los trece tipos de suelo que aparecían en la leyenda del mapa original.

Después de limpiar la imagen se georreferenció en Proyección Cónica Conforme de Lambert con un RMS=0,02 píxeles y utilizando un total de 97 puntos de control distribuidos homogéneamente a lo largo del límite de la comunidad.

Finalmente, se enmascaró la zona de estudio obteniendo un documento digital del mapa de suelos de Castilla La Mancha, en Proyección Cónica Conforme de Lambert y con las trece clases que aparecían en la leyenda.

#### 3.3. OBTENCIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS IMÁGENES NOAA

Las imágenes se obtuvieron a través del organismo SAA (Satellite Active Archive) que depende directamente de NOAA, el cual se encarga de archivar todas las imágenes diarias con cobertura total de los satélites NOAA-11, NOAA-12, NOAA-14 y NOAA-15 en los formatos GAC, LAC, y HRPT.

A la imagen de este estudio le corresponden los siguientes parámetros:

ID = AL14083097142044

- A = sensor AVHRR.
- L = formato de la imagen de resolución LAC (1,1 km).

- 14 = satélite que toma la imagen.
- 083097 = fecha de la toma de la imagen, 08 = mes, 30 = día, 97 = año.
- 142044 = hora de la toma de la imagen, 14 = hora, 20 = minutos, 44 = segundos.

La imagen obtenida por el sensor, viene afectada por una serie de deformaciones, además aparece invertida ya que en el momento de la toma el satélite se encontraba en posición ascendente. La finalidad de una corrección geométrica es eliminar dichas deformaciones y transformar los datos digitales registrados por el sensor a una proyección cartográfica, es decir, situar los elementos de la imagen en la misma posición que ocuparían en el terreno.

Esta corrección geométrica o georreferenciación se realiza mediante ecuaciones polinómicas. Se utilizó una ecuación polinómica de tercer grado con un total de 255 puntos de control distribuidos homogéneamente por toda la península. Una ecuación de tercer grado supone un mínimo de diez puntos de control, cifra ampliamente superada, por lo que se puede esperar un buen resultado en el ajuste siempre y cuando los puntos de control enviados por el satélite sean fiables, que sí lo son.

La imagen AVHRR se transformó geoméricamente a la proyección C.C. de Lambert, con el origen en el meridiano de Madrid y el paralelo 40°, todo ello trasladado 600 km hacia el Oeste y hacia el Sur para evitar coordenadas negativas. Se utilizó el método del *vecino más próximo* (Nearest Neighbor).

El error medio cuadrático (RMS) que se obtuvo de la georreferenciación fue de 0,607 píxeles lo que se puede considerar tolerable debido a que el error es inferior al tamaño del píxel. Se observa un resultado muy bueno en toda la península menos en la esquina NE, esto se debe a que de esta zona se disponían de pocos puntos de control, no obstante este estudio es únicamente de la zona de Castilla La Mancha, por lo que esta anomalía no va a suponer ningún tipo de inconveniente.

Una vez realizada la georreferenciación, se procede a ocultar todo aquello de la imagen que no sea necesario para su procesamiento digital, lo que se denomina enmascaramiento.

Se trata de dejar únicamente visible y con sus valores de gris originales aquella zona que se va a estudiar. Para enmascarar la imagen a la zona de estudio únicamente se necesita el fichero vectorial del límite del contorno de la comunidad, con el cual se realiza una imagen denominada "máscara", donde el interior del límite tiene valor uno, y el exterior valor cero, de tal forma que si se multiplica la imagen original georreferenciada y la imagen "máscara" se obtiene una nueva imagen en la cual Castilla La Mancha conserva el nivel de gris original de cada píxel y el resto aparece de color negro o lo que es lo mismo con valor cero.

Se ha resumido brevemente el procedimiento más adecuado mediante el cual, partiendo de una imagen LAC (1,1 km) de la península, tal y como la recibe el sensor, se obtiene una imagen de Castilla La Mancha en proyección C.C. de Lambert. A partir de ésta ya se puede empezar a operar para obtener los documentos derivados que se explicarán a continuación.

## 4. OBTENCIÓN DE LOS DOCUMENTOS DERIVADOS

### 4.1. N.D.V.I

Se han desarrollado diversas técnicas para estudiar cualitativa y cuantitativamente el estado de la vegetación a partir de medidas espectrales obtenidas por satélite.

Con el fin de reducir el número de dimensiones propias de las medidas multiespectrales a una sola dimensión, se han definido los índices de vegetación.

Todos los organismos fotosintéticos contienen uno o más pigmentos capaces de absorber la radiación visible que inicia las reacciones fotoquímicas y fotosintéticas.

Dos bandas del espectro, la azul (0,43  $\mu\text{m}$ ) y la roja (0,6  $\mu\text{m}$ ), muestran la calidad de energía absorbida por las plantas; en contraste, la banda de infrarrojo cercano es la diferencia espectral de la respuesta de toda la vegetación.

Basándose en la diferencia de reflectancia que la vegetación verde muestra en la banda visible de la región del espectro de las imágenes AVHRR se ha llegado al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada:

$$\text{NDVI} = (\text{IR próximo} - \text{Rojo}) / (\text{IR próximo} + \text{Rojo})$$

El intervalo de valores obtenidos del NDVI varía entre  $-1$  y  $+1$ . De ellos sólo los valores positivos corresponden a zonas de vegetación. Los valores negativos, generados por una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo, pertenecen a nubes, nieve, agua, zonas de suelo desnudo y rocas. El valor del NDVI puede variar en función del uso del suelo, estación fenológica, situación hídrica del suelo, territorio o debido al ambiente climático de la zona.

En nuestro caso, y una vez realizada la operación entre bandas:  $\text{NDVI} = (\text{B2} - \text{B1}) / (\text{B2} + \text{B1})$ , se obtuvo una nueva imagen en la que sus niveles de gris variaban entre  $(-0,406)$  y  $(+0,386)$ . A continuación, y para lograr un documento cartográfico del NDVI dividido en clases, se procedió a reescalar la nueva imagen de tal forma que sus valores estuvieran comprendidos entre el 0 y el 255 y se comprobó que su histograma se asemejaba a una distribución normal de media 156,231 y desviación estándar 22,920.

Para la diferenciación de clases se optó por establecer, a ambos lados de la media tres intervalos con una amplitud cada uno de ellos igual a la desviación estándar, reclasificando después dicha imagen para que cada uno de estos intervalos tuviera un único nivel de gris.

INTERVALOS	NIVEL DE GRIS	CLASES
0	0	NC
(1 - 110)	1	MUY BAJO
(110 - 133)	2	BAJO
(133 - 156)	3	MEDIO BAJO
(156 - 179)	4	MEDIO ALTO
(179 - 202)	5	ALTO
(202 - 255)	6	MUY ALTO

Finalmente se elaboró una paleta de colores para las diferentes clases en la que se asignaron tonalidades verdosas a las clases por encima de la media y tonalidades marrones a las clases por debajo de la media, visualizando de una forma adecuada el documento final del NDVI.

### 4.2. IMAGEN CLASIFICADA

En la clasificación de nuestra imagen LAC del sensor AVHRR rechazamos las bandas 4 y 5, pertenecientes al IR térmico, utilizándose solamente las bandas 1, 2 y 3.

A partir de estas tres bandas, por una lado se digitalizaron sobre la composición color RGB un total de 255 áreas de entrenamiento de las cuales se descartaron 93 por falta de homogeneidad, y por otro lado se realizó una transformación a componentes principales reductora de la dimensionalidad.

Sobre el gráfico de las dos primeras componentes principales se realizó un primer agrupamiento visual definiendo una serie de clases, que después comprobamos con las firmas espectrales de cada una sus áreas. Al final de este proceso, seguido para el total de las 162 áreas de entrenamiento, llegamos a un agrupamiento definitivo en 13 clases y se generó de cada una ellas su firma espectral.

Con la imagen original constituida por las tres primeras bandas y con las firmas espectrales de las trece clases definidas, se procedió a la asignación de los píxeles de dicha imagen a una de las clases establecidas, utilizando para ello el clasificador de máxima probabilidad. De este modo se obtuvo finalmente la imagen clasificada de Castilla La Mancha con un total de 13 clases espectrales.

Para la asignación de colores se tuvo en cuenta el cruce de tablas (explicado en el apartado 5) de la imagen clasificada contra el documento de NDVI, creando una paleta que pasa gradualmente de los verdes a los marrones dependiendo de la cantidad de vegetación que posea cada clase.

Por último y como comprobación de los resultados obtenidos con la clasificación, se calculó su matriz de confusión de la que derivamos el estadístico kappa ( $\kappa$ ) como medida de la evaluación global de la bondad de la clasificación. En nuestro caso el valor de kappa fue de 0,9021.

### 4.3. INERCIA TÉRMICA (I.T.)

Se define como "la medida de la respuesta de un material a los cambios de temperatura", este parámetro está directamente relacionado con la conductividad ( $k$ ), el calor específico ( $c$ ), y la densidad del material ( $D$ ), mediante la expresión:

$$IT = \sqrt{(D \cdot c \cdot k)} \text{ cal cm}^2 \text{ s}^{-1/2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

El sol provoca que durante el día incidan sus rayos la superficie terrestre, la cual absorbe parte de esa energía, mientras que de noche al no haber radiación solar la absorción es nula, creándose así un ciclo diario.

Los suelos arenosos y secos, con baja inercia térmica, ofrecen severos contrastes entre las temperaturas diurnas y nocturnas. En contraste, los suelos húmedos y arcillosos son mucho más resistentes al cambio y presentaran temperaturas diurnas inferiores y nocturnas superiores a los suelos secos. Resumiendo, aquellos materiales que experimentan un mayor incremento de temperatura tienen baja inercia térmica y los que apenas han variado su temperatura tendrán alta inercia térmica. Por esta razón la inercia térmica es más fácilmente detectable en los momentos de máxima y mínima insolación, aproximadamente a las 12 y 24 h. respectivamente.

El cálculo de los parámetros que definen la inercia térmica se realiza en laboratorio bajo condiciones controladas. No obstante existe otra magnitud, la Inercia Térmica Aparente, que si se puede obtener por Teledetección y que estima aceptablemente dicho fenómeno.

#### • Inercia Térmica Aparente (ITA) y su obtención.

Este término se calcula a partir de una estimación de su valor mediante la expresión:

$$ITA = (1 - a) / \Delta T \text{ unidades en } \% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

donde "a" es el albedo (reflectividad, porcentaje total de radiación incidente que es reflejada por una superficie bidimensional), y  $\Delta T$  es la diferencia temperatura.

Si un material presenta un valor grande de albedo quiere decir que ha reflejado la mayor parte de la energía que incidió sobre él, por lo tanto la energía absorbida ha sido pequeña con lo que el material apenas se calienta. Al llegar la noche la energía absorbida durante el día se pierde, pero al ser tan pequeña se produce un mínimo cambio de temperatura. Por el contrario, si el albedo es pequeño, la absorción ha sido importante y la pérdida final de energía será igualmente grande, lo que se traduce en una mayor variación de temperatura.

Cabe destacar la importancia de este documento para el estudio de la densidad de los materiales. Por ejemplo si un material es muy denso la diferencia entre la temperatura diurna y nocturna será mínima, siendo este el caso de suelos húmedos y arcillosos.

Los valores de albedo y temperatura pueden estimarse a partir de los datos del sensor AVHRR. El albedo se obtiene aplicando los datos de calibración al valor digital de la banda 1 correspondiente al visible (0,58-0,68  $\mu\text{m}$ ) y el incremento de temperaturas se calcula a partir de la banda 5 (perteneciente al Infrarrojo Térmico, (11,5 – 12,5  $\mu\text{m}$ ) de dos imágenes con 12 de horas de diferencia. Para la obtención del albedo se utilizaron dos imágenes GAC del mismo sensor AVHRR, por tanto con una resolución de 4,4 km. Esta pérdida de resolución no supuso ningún tipo de trastorno ya que se obtuvieron de igual modo unos resultados bastante satisfactorios. La obtención y tratamiento de las imágenes GAC es el mismo que se siguió para la imagen LAC.

Una vez conseguido este documento de ITA de Castilla La Mancha, se comprobaron los valores máximos y mínimos (min = 0,0359 y máx = 0,0970). Observándose que no era muy grande la diferencia, se optó por una reclasificación de la imagen en intervalos iguales, concretamente siete intervalos con un rango de 0,01.

Los fenómenos como la vegetación y la humedad influyen en los valores de inercia térmica. Durante el día el valor de la temperatura que más domina es el del suelo, mientras que por la noche es el de la vegetación. Esto provoca que el calor registrado por el sensor por la noche corresponda al de la vegetación (si la hay), cuyo valor es más grande que el del suelo. Al ser mayor esa temperatura, cuando se calcule el incremento respecto a las temperaturas diurnas se obtendrá un valor menor del que debería ser. Lo que supondrá entonces valores de inercia térmica aparente mayores, lo que puede dar a entender que se trate de una zona con materiales de gran densidad. Por lo tanto en las zonas con espesa vegetación y humedad el valor de la inercia térmica aparente no será real. Todo esto hay que tenerlo en cuenta si se quieren tener unos resultados fiables, por lo que para incluir este documento en el análisis interrelacionado posterior optamos por elaborar una máscara que eliminase las zonas de mayor vegetación.

## 5. ANÁLISIS INTERRELACIONADO Y CONCLUSIONES PARCIALES

La forma de relacionar todos los documentos obtenidos para intentar conseguir una buena cartografía de suelos de la zona de estudio, fue a través de lo que se denomina cruce de tablas.

El cruce de tablas consiste en un histograma bidimensional de dos documentos temáticos. Los elementos de dicha matriz representarán el número de pixels coincidentes para cada dos clases de ambas imágenes. En total realizamos cuatro cruces de tablas derivando de cada uno de ellos una serie de conclusiones parciales:

A partir de la observación de los histogramas se puede afirmar claramente las clases 1 y 2, por su alto valor de índice de vegetación, pertenecen a un tipo de cobertura vegetal específica.

Las demás clases con relación al índice de vegetación se pueden considerar como estados transicionales que pueden consistir en áreas con una considerable cobertura vegetal pero con poca concentración clorofílica o en áreas con poca vegetación. En ambos casos podríamos hablar de concentraciones de pigmentos clorofílicos por hectárea de carácter intermedio.

Se aprecia en general una clara correspondencia entre clases de ocupación y clases de vegetación. Es patente el predominio de una o a lo sumo dos clases de índice de vegetación diferenciadas para cada clase de ocupación.

Lo más importante a destacar en este cruce de tablas fue que se constató todo lo que se sabía de la Inercia Térmica Aparente:

– “Los valores de IT aumentan al aumentar la vegetación, ya que ésta actúa como un factor de resistencia a los cambios de temperatura”.

Por ejemplo en los histogramas de las clases 1 y 2, al igual que la clase 1 poseía mayor cantidad de vegetación que la clase ocupacional 2, también poseía mayor valor de inercia térmica.

– “La vegetación falsea los valores de ITA del suelo obtenidos por métodos de Teledetección”.

Fijándonos en los histogramas de las clases 2 (mayor vegetación) y 3 (menor vegetación que la clase 2) observamos que la clase 2 posee menor inercia térmica que la 3, al contrario de lo que debería suceder.

A la vista de estos últimos resultados elaboramos una **máscara** que aplicada sobre la imagen clasificada y el documento de inercia térmica nos permitió eliminar de ambos las zonas donde la vegetación era alta o muy alta.

Una vez eliminada la vegetación de estos documentos, el siguiente paso fue compararlos con el mapa de suelos para comprobar la importancia de la inercia térmica en la discriminación de suelos y ver si es mejor, para este fin en concreto, que la utilización de la imagen clasificada.

La numeración de las clases del mapa de suelos para realizar estos últimos análisis fue la siguiente:

Suelo tipo 8	Suelos aluviales, coluviales y transformados por el riego
Suelo tipo 13	Arenales
Suelo tipo 10	Suelos sobre materiales calizos
Suelo tipo 7	Suelos sobre materiales silíceos
Suelo tipo 4	Tierra parda húmeda
Suelo tipo 12	Tierra parda meridional
Suelo tipo 3	Suelos pardos
Suelo tipo 1	Suelos pardos calizos forestales
Suelo tipo 5	Suelos pardos y pardo rojizos calizos
Suelo tipo 6	Suelos rojos mediterráneos sobre materiales silíceos
Suelo tipo 11	Suelos rojos mediterráneos sobre materiales calizos
Suelo tipo 2	Suelos pardos no cálcicos
Suelo tipo 9	Litomorfos

Se aprecia en general la existencia de una clara correlación entre la IT y la clase edafológica, lo cual se manifiesta en el predominio de uno o dos intervalos bien diferenciados

de este parámetro físico para cada uno de los tipos de suelos. Pudiendo estimarse que el máximo de IT en cada tipo de suelo se situará en un valor de Inercia en función de la capacidad de cada suelo para variar su contenido calorífico, lo cual está directamente relacionado con sus características físicas, es por tanto lógica su correspondencia.

Por lo tanto se verifica la importancia de la IT para la discriminación de suelos.

Existe una mínima correlación aparente, dado que los histogramas de distribución de tipos de suelos para cada cubierta tienden a ser planos y/o presentan un carácter multimodal. Todo lo contrario a lo que ocurre en el caso de la inercia térmica.

Se aprecia entonces que una imagen clasificada no es un buen método para discriminar tipos de suelo.

## 6. CONCLUSIONES FINALES

La conclusión final del presente trabajo se refiere al hecho de que en el proceso de imágenes AVHRR para la discriminación de suelos es de gran utilidad la derivación del documento de Inercia Térmica, lo cual no sucede con la clasificación multispectral en el intervalo óptico.

En menor medida cabe destacar también la constatación de la correlación entre la IT y la vegetación, y el falseamiento de los valores de IT (obtenida por métodos de Teledetección) para elevados valores de vegetación.

Por último queremos resaltar la gran utilidad del documento de índice de vegetación para la identificación aproximada de clases ocupacionales de una imagen clasificada, hallando una correspondencia clara entre clases ocupacionales y coberturas vegetales.

## 7. MENCIÓN ESPECIAL

Queremos agradecer a D. Carlos Roquero de Laburu los útiles consejos que nos ha proporcionado para la redacción del presente trabajo. Le deseamos una pronta y total recuperación.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

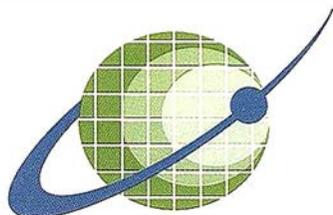
*Atlas Nacional de España.* Instituto Geográfico Nacional, 1996.

*Atlas de Castilla La Mancha.* Junta de Comunidades de Castilla La Mancha, 1990.

*Fundamentos Físicos de Teledetección.* E.U.I.T. Topográfica (U.P.M.), 1990. Santiago Ormeño Villajos.

*Teledetección Fundamental.* E.U.T. Topográfica (U.P.M.), 1993. Santiago Ormeño Villajos.

*Elementos de Teledetección.* Editorial RA-ma, 1995. Carlos Pinilla.



**IBERSAT S.A.**

*Pioneros en España en Teledetección*



**Distribuidores oficiales de ER Mapper**

e-mail: [ibersat@ibersat.com](mailto:ibersat@ibersat.com)

## La Nueva HP DesignJet Serie 1000, compañero integral del diseño para arquitectos, diseñadores, ingenieros y profesionales del GIS

**E**l mercado del diseño técnico sigue creciendo rápidamente y al mismo tiempo aumenta la demanda de los profesionales del diseño que exigen una impresora capaz de proporcionar rápidamente una reproducción visual fiel del desarrollo de sus conceptos en todas las fases del diseño. Así, la impresora se convierte en una herramienta crucial y en un colaborador del proceso de diseño.

La principal necesidad de los profesionales que utilizan software de diseño asistido por ordenador (*CAD*) es imprimir borradores y copias finales de su trabajo con mayor rapidez, manteniendo al mismo tiempo una elevada calidad de imagen y la seguridad de una salida impresa fiable.

Se están acortando los ciclos de vida de los productos. Las mejoras de innovación y la reducción de los plazos de lanzamiento de nuevos productos al mercado se están convirtiendo en una responsabilidad clave de arquitectos, ingenieros, diseñadores y profesionales usuarios de aplicaciones *GIS*. La capacidad para desarrollar mejores diseños con mayor frecuencia se convierte en la única manera de alcanzar el éxito en el actual mercado abierto y cada vez más global: la impresora tiene que imprimir correctamente a la primera.

### Mayor flexibilidad para los profesionales usuarios de aplicaciones *CAD*

Los avances que se han producido en los últimos años en el software y en la potencia de procesamiento han mejorado espectacularmente las posibilidades de diseño de los profesionales que utilizan aplicaciones de diseño asistido por ordenador. Ahora, los arquitectos y los inge-



nieros mecánicos, eléctricos y civiles son capaces de incorporar más colores, dimensiones y detalles a sus diseños, aportando al mismo tiempo un soporte adicional al proceso de fabricación.

Las aplicaciones de *CAD* mecánico representan el mayor sector del mercado *CAD* en su conjunto y abarcan actividades de diseño en las industrias aerospacial, de automoción, de construcción naval, de maquinaria industrial y de productos de consumo. Estos profesionales necesitan poder visualizar rápidamente sus diseños a lo largo del proceso creativo, compartir sus ideas con sus compañeros y crear un registro permanente del diseño en todas las etapas. La capacidad para reproducir un diseño en una impresión de gran formato permite a los diseñadores mostrar el tamaño real de los componentes en relación con el producto o proyecto en su conjunto, ayudándoles a explicar su diseño a sus compañeros ingenieros.

Una aplicación técnica en auge en el sector del *CAD* mecánico es la modela-

ción de cuerpos sólidos en 3D, un proceso mediante el cual los diseñadores pueden visualizar sus conceptos en tres dimensiones desde el principio del proceso de diseño. Tradicionalmente, los diseñadores habían trabajado inicialmente con un diseño en 2D en la pantalla y recurrían a un equipo de producción para convertir la imagen impresa en 2D en un modelo tridimensional. Ahora, utilizando potente software de diseño en 3D, un diseñador de automóviles, por ejemplo, puede desarrollar una imagen en 3D que muestre cómo se reflejará la luz en el capó de un vehículo, lo que se denomina *partes de mayor brillo*. El diseñador puede entregar una imagen impresa en 3D que permita al fabricante verificar el aspecto de esa reflexión a mayor escala.

Los profesionales usuarios de aplicaciones *CAD* esperan que su impresora produzca dibujos lineales de ingeniería, modelos de cuerpos sólidos en 3D y presentaciones gráficas de gran precisión. Una impresión más rápida es esencial para conseguir mayor productivi-

dad, pero una extraordinaria calidad de líneas e imágenes es igualmente importante para que los diseñadores puedan representar con precisión su diseño y conseguir la aprobación de su concepto.

Los arquitectos, ingenieros de construcción y aparejadores crean diseños para proyectos específicos, mostrando los detalles sutiles de cada concepto y utilizando cada diseño una sola vez. Para estos profesionales, su ordenador y su impresora de gran formato se han convertido en una herramienta de diseño esencial que sustituye el lápiz y el tablero de dibujo por una solución que aporta mayor precisión técnica y automatización al proceso de diseño.

Necesitan que la impresora produzca líneas nítidas y precisas, así como rellenos de áreas uniformes, para crear una representación, un plano de obra o una vista en alzado en 2D o 3D que ofrezca un realismo fotográfico. Los arquitectos han evolucionado considerablemente desde el dibujo lineal tradicional en 2D hasta la representación de un edificio futuro en una fotografía real del emplazamiento del inmueble, permitiendo así una visualización más realista de cómo encajará realmente el edificio en el entorno circundante.

Durante el proceso de diseño, estos profesionales necesitan poder imprimir sus conceptos en papel para comprobar que la imagen mostrada en la pantalla se representa con precisión en la imagen de la copia impresa en la que el contrastista de obras basará el proceso de construcción. Además, las versiones impresas de calidad profesional de los diseños son esenciales para cumplir los requisitos de aprobación de los organismos reglamentarios y los departamentos de construcción.

### Auge de las aplicaciones GIS

Las aplicaciones de sistemas de información geográfica (GIS) se han extendido más allá de su uso tradicional para fines de cartografía y representan en la actualidad el mayor potencial de crecimiento para la salida impresa de diseño técnico. Los urbanistas utilizan sistemas GIS para mejorar los servicios y la infraestructura de las comunidades.

Las empresas de servicios públicos utilizan los sistemas para hacer un uso más eficiente de sus activos y gestionar su compleja infraestructura. Las compañías de explotación forestal los utilizan para gestionar y conservar los recursos naturales. Y son indispensables para los servicios de protección civil, al ayudar a planificar supuestos hipotéticos y encontrar la solución más rápida a cualquier crisis.

Lo que caracteriza a todos estos usuarios es su necesidad de poder visualizar y representar rápidamente y con precisión enormes cantidades de datos en formato impreso, además de información espacial y facilita el análisis tanto de los detalles sutiles como de la visión general, permitiendo a los usuarios mantener un registro permanente de su trabajo.

Estos profesionales espera que su impresora produzca una calidad de imagen que permita representar de manera precisa y nítida incluso líneas finas y grandes rellenos de áreas. Además, los profesionales usuarios de aplicaciones GIS desean poner a prueba sus ideas y comparar supuestos hipotéticos con la mayor rapidez posible con el fin de poder actuar de inmediato sobre esos datos.

### HP DesignJet Serie 1000: máximo rendimiento y elevada calidad de líneas e imágenes

Las nuevas impresoras de gran formato HP DesignJet Serie 1000 satisfacen el principal requisito de los diseñadores profesionales usuarios de aplicaciones CAD y GIS, quienes necesitan copias impresas más rápidas tanto de borradores como de copias finales, y combinan esas mayores velocidades con una elevada calidad de líneas e imágenes.

Las impresoras ofrecen velocidades revolucionarias que permiten al diseñador imprimir un plano de ingeniería de tamaño A1/D en menos de un minuto, hasta seis veces más rápido que las impresoras HP DesignJet 750+C, siendo la opción más rápida de su categoría disponible en el mercado. El diseñador

puede así verificar rápidamente sus diseños y discutirlos con sus compañeros, realizando revisiones en el acto si es necesario.

Estas mayores velocidades se consiguen al tiempo que se mantiene la excelente calidad y precisión de la imagen impresa. Además de color real a 600 ppp, las impresoras ofrecen una resolución máxima de 1.200 x 600 ppp para impresiones en negro, satisfaciendo los requisitos de representación precisa de líneas de las aplicaciones de ingeniería y cartografía.

En respuesta a la necesidad de una impresión desatendida, que es característica de los diseñadores, las impresoras HP DesignJet Serie 1000 ofrecen un sistema modular de tinta que consta de cartuchos de tinta con una capacidad de hasta 350 cc. Los chips inteligentes incorporados a los cabezales de impresión y los cartuchos de tinta informan continuamente sobre el nivel de los suministros de tinta y el grado de desgaste de los cabezales de impresión y los cartuchos de tinta. Los cabezales de impresión y los cartuchos de tinta se pueden sustituir independientemente, prolongando así la vida útil de los cabezales de impresión.

Las impresoras admiten numerosos soportes HP, incluido el nuevo papel blanco brillante HP para inyección de tinta disponible en prácticos rollos de 91 metros y el papel fotográfico satinado HP, que ofrece imágenes de calidad cuasifotográfica. Además, un sistema de doble alimentación de papel permite a los usuarios imprimir en una hoja suelta sin necesidad de descargar manualmente el rollo de soporte, con el consiguiente ahorro de tiempo.

Las impresoras HP DesignJet Serie 1000, el material de impresión HP y los sistemas de tinta constituyen una solución de impresión completa para arquitectos, diseñadores, ingenieros y profesionales usuarios de aplicaciones GIS, que proporciona la velocidad, calidad de imagen y funcionamiento desatendido necesarios para asegurar que puedan centrar su atención en el trabajo en curso y desarrollar un concepto satisfactorio.

## Noticias Ashtech [Navegación]

### PRUEBA DE LOS LÍMITES EXTERIORES DE LA TECNOLOGÍA

La historia referente al Vuelo Mundial '97 contiene todos los ingredientes de un serial de éxito mundial - misterio, intriga, potente tecnología y drama sin pausa que discurre a lo largo de medio siglo. Pero la historia real del Vuelo Mundial '97 implica coraje, tenacidad y el poder de una avanzada tecnología de navegación dirigida por Ashtech GPS.

#### *Un poco de Historia*

El Vuelo Mundial '97 comienza en 1921 cuando Amelia Earhart recibe su primera lección de vuelo y, un año más tarde, logra el primero de sus muchos records de su carrera volando a la altura record de 14.000 pies en su nuevo y reciente Kinner Airster. Un año más tarde alcanza el record mundial femenino de velocidad de vuelo, a 181,18 mph. En 1931, completa el primer vuelo transcontinental de retorno femenino, en solitario, solidificando su lugar como piloto de primera categoría y como mujer de excepcional entereza.

En 1932 recrea el histórico cruce transatlántico de Charles Lindbergh, recibiendo la Cruz de la Legión de Honor de Francia, la Cruz de Vuelos Distinguidos del Cuerpo de Aviación del Ejército de los EE.UU. y una serie de otros honores. En 1933 mejora su propio record de velocidad transcontinental de Norteamérica con un tiempo de vuelo de 17 horas y 7 minutos y, dos años más tarde, se convierte en la primera persona que vuela en solitario a través del Océano Pacífico desde California a Hawaii. Finalmente, en 1937, Amelia Earhart anuncia su aventura final: un ambicioso vuelo alrededor del mundo con principio y fin en Oakland, California.

En su Lockheed Electra 10E, Amelia Earhart completó 22.000 millas y 28 de las 31 etapas de su viaje de 25.000 millas antes de desaparecer cerca de la isla de Howland en 1937. Sesenta años más tarde, aún no está claro si la desaparición de Amelia Earhart fue causada por una mala tecnología, un fallo humano, o una combinación de ambos. Trocitos de metal y un viejo zapato arrojados a la orilla no han sofocado aún nuestra intriga con uno de los más célebres misterios de la aviación.

Su presunta muerte ha contribuido poco a través de los años a mitigar el interés mundial en su vida, sus ideales y su dedicación al desarrollo de la aviación moderna. A lo largo de su existencia, Linda Finch ha vivido de acuerdo con los principios de Amelia Earhart. Una aviadora consumada que nunca se ha conformado con ser mediocre, Linda Finch puso su anhelo en reavivar la energía del vuelo original y aportar un nuevo interés a la aviación, su historia, y la idea de alcanzar los propio ideales. El proceso le costaría una gran cantidad de tiempo, esfuerzo y simple trabajo duro, pero al final Linda Finch completó satisfactoriamente el malogrado vuelo de Amelia Earhart alrededor del mundo, visitando dos docenas de países.

#### *El Lockheed Electra 10E*

Impulsado por dos motores Pratt & Whitney S3H-1 de 550 caballos de vapor, el Electra era el único avión capaz de transportar el combustible necesario para largos vuelos sobre el mar y disponer todavía de potencia suficiente para despegar desde pistas de hierba muy cortas. Era el primer monoplano bimotor todo metálico, producido por Lockheed, y el avión lógico de elección para el vuelo mundial de Amelia Earhart.

Sesenta años más tarde, con sólo dos de los Electras 15 en existencia, la adquisición de uno de ellos fue un verdadero reto en el que Linda persuadió a un dueño para que vendiera. El proceso de restauración convirtió al dilapidado Electra en un fulgurante duplicado

del avión de Amelia hasta en el diseño de los remaches. Igual que Amelia, Linda instaló seis depósitos de combustible fabricados a medida, en la parte del fuselaje donde hubieran estado los asientos de los pasajeros, para complementar el combustible en los seis depósitos de las alas. El avión contenía un total de 1.150 galones de combustible - tres veces su capacidad normal, pero necesarios para las largas etapas sobre el mar del viaje. Pratt & Whitney accedieron a apadrinar el Vuelo Mundial '97 en un esfuerzo por reavivar el espíritu de sus primeros días y la energía que expandió la industria aeronáutica.

#### *Ashtech GPS incluido*

Aunque estaba decidida a restaurar su avión tan auténticamente como le fuera posible a su modelo, el Electra de Amelia Earhart, Linda hizo ciertas concesiones a la seguridad. Mientras que Amelia navegó mediante las estrellas, una radio renqueante y los hitos del terreno, Linda se benefició del uso de la navegación apoyada en satélites. Un refinado sistema de gestión de vuelo diseñado por Universal Avionics, el UNS-1M permitió a Linda volar alrededor del mundo con una precisión basada en los datos de posición derivados de la tecnología GPS. El UNS-1M, instrumento de navegación todo en uno, incorpora un receptor GPS Ashtech Sensor II<sup>TM</sup>, junto con las funciones de control y presentación, todo en una unidad compacta y liviana que se puede montar directamente en el panel o pedestal de instrumentos de un avión. El sistema proporciona en tiempo real un posicionamiento de precisión a la vez que la supervisión de la integridad autónoma del receptor (RAIM) para garantizar la integridad del sistema durante todas las fases del vuelo. El UNS-1M lleva incluidos en su base de datos tanto datos como plantillas de aproximación GPS, procedimientos de aproximación transitorios y fallidos, y provee también la planificación del vuelo, la navegación en ruta y el interfaz con los sensores externos de navegación, datos sobre el aire y combustible, así como al piloto automático y a los sistemas de guía al vuelo.

Mediante la utilización del UNS-1M, Linda podía, no sólo aterrizar con confianza en aeropuertos de denso tráfico, sino que también podía identificar continuamente su posición precisa, incluso sobrevolando los océanos. La tecnología GPS se mostró también especialmente útil para volar el Electra porque el avión no estaba presurizado, es decir, que no estaba equipado para bombear aire exterior al interior del avión para facilitar la respiración a altitudes elevadas. Por lo tanto, el Electra debía volar alrededor de las tormentas o esperara que pasaran. El conocimiento exacto de la posición del avión en todo momento se hizo crítico para el éxito del Vuelo Mundial.

#### *Una feliz aventura*

Con la excepción de unas pocas localizaciones que hubieron de cambiarse a lugares alternativos, el Vuelo Mundial '97 siguió estrictamente la ruta original de Amelia Earhart. Linda Finch completó con éxito, en junio, su viaje de 10 semana, 26.000 millas, llegando a Oakland donde se le tributó un jubilante recibimiento muy similar al que George Putman, publicista y representante de Amelia Earhart, había planeado para el retorno de Amelia.

Amelia Earhart había tenido la esperanza de que a la conclusión de su viaje alrededor del globo, podría asentarse para disfrutar de su familia y amigos y continuar su trabajo en la Universidad de Purdue, donde ayudaba a las mujeres a proseguir una carrera orientada a la mecánica, animándolas a perseguir sus sueños y hacer de cada día una "feliz aventura" en la exploración. Con la conclusión del Vuelo Mundial '97, el refrescante espíritu del mensaje original de Amelia Earhart sigue intacto.

---

## STRATEGIC GRAPHIC SYSTEMS, S.L.

SGSmap es una empresa creada con la voluntad de prestar servicios profesionales independientes en el ámbito de las tecnologías de la información referenciada al territorio (GIS). El equipo humano de SGSmap lo componen un conjunto coordinado de consultores y técnicos en las áreas de ingeniería, topografía, tecnologías de la información y gestión empresarial, que aportan un enfoque integrado, multi-disciplinar a la gestión de la información referenciada al territorio.

En la actualidad SGSmap es integrador de soluciones y distribuidor autorizado de los productos GIS de Autodesk, MapInfo y Smallworld Systems.

Y ofrece un amplio abanico de servicios especializados en las áreas de Cartografía Digital, Sistemas de Información Geográfica y *Facilities Management*.

SGSmap disfruta actualmente de un reconocido prestigio en el campo de aplicación de la tecnología GIS. Desde su creación SGSmap ha mantenido firme compromiso de innovar e incorporar a sus productos y servicios los avances tecnológicos más recientes. Este compromiso se manifiesta en la dedicación de una parte sustancial de sus recursos al continuo desarrollo de nuevos productos y servicios. La formación continuada de su personal y actualización de sus recursos informáticos permite a SGSmap anticiparse a las necesidades de sus clientes.

Las colaboraciones profesionales más relevantes de SGSMAP:

- **Administración Pública:**  
*Diputación Foral de Bizkaia, Gobierno Vasco*
- **Administración Local:**  
*Ayuntamientos de Logroño, Orío, Rentería*
- **Redes de servicio:**  
*DonostiGas y empresas filiales (Tolosa Gas, Gas Hernani, Gas Pasaia, Ayto. Astigarraga)*
- **Geo-marketing:**  
*Caja Guipuzcoa-Gipuzkoa Kutxa, Caja Laboral-Euskadiko Kutxa, Seguros LagunAro*

**Gestión de CU-1**

**Datos de Identificación y Control**  
 Gerencia: Madrid-Provincia  
 Municipio: Los Molinos

**Referencia Catastral**  
 Manzana: 92748 Parcela: 01 Plano: VL00975

Acceptar Salir

Manzana	Parcela	Plano	Dirección
00001	01	0000001	CL ANTONIO GAUDI 0015 C
00004	04	0000004	CL BELLAS VISTAS 0127 B
91757	02	VL0097N	CL CALVARIO 0007
91745	01	VL0097S	CL DIECIOCHO DE JULIO 0003
00001	01	VL0097S	CL DOCE DE OCTUBRE 0012
91745	07	VL0097S	CL GUADALAJARA 0005
91749	02	VL0097S	CL GUADALAJARA 0008
92748	01	1111111	CL MOLINO CRUZ 0002
92748	01	VL0097S	CL MOLINO CRUZ 0002
91757	03	VL0097N	CL OLIVAR 0004 B

Referencia Catastral (Filtro): Manzana Parcela Plano Dirección (Filtro): Calle Ordenar por:  Referencia  Calle

genéricos de la parcela (código y nombre de gerencia y municipio, referencia catastral, vía pública y dirección, linderos, escala de captura, ...).

2. **Planta general:** es la representación, dentro de la línea perimetral de la parcela, de los recintos de las distintas subparcelas o áreas de diferente grado o tipo de edificación que la componen, es decir, la proyección sobre un plano de la parcela. Los datos de ésta que se requieren son tanto gráficos como alfanuméricos.

- Datos gráficos: línea perimetral (contorno exterior cerrado que delimita la parcela), líneas interiores (delimitan interiormente los recintos de las subparcelas), flecha indicadora del acceso a la finca, centroides de las sub-

# Apuntes para la Administración

parcelas (especifican su volumen), superficie de las subparcelas y acotaciones de la línea perimetral.

- Datos alfanuméricos: superficie total, bajo y sobre rasante, y total construida de la parcela, calculadas a partir de los centroides de volumen especificados en cada una de las subparcelas.
3. **Planta significativa:** es la representación singular de una o varias plantas reales de un edificio que tengan iguales características. Para cada una de ellas también se requieren datos gráficos y alfanuméricos.
- Datos gráficos: línea perimetral (delimita externa e internamente las áreas edificadas a la altura de la/s planta/s reales que simboliza la significativa), líneas interiores (delimitan los distintos recintos en que se divide la planta correspondientes a locales u otras áreas), centroides de los recintos (especifican su uso), superficie de los recintos y acotaciones de la línea perimetral.
  - Datos alfanuméricos: número de plantas significativas. Para cada una de ellas el número de plantas reales que simboliza, el nombre de la planta, el número de usos registrados, y para cada uno de los usos el código del uso y la superficie dedicada a ese uso en la planta.

Toda esta información se tiene que entregar a la DGC en un formato binario definido por ellos, y la parte gráfica, además, en formato papel.

## OBJETIVOS PRINCIPALES

Algunas de las consideraciones que un ayuntamiento debería plantearse a la hora de elegir un sistema informático para la elaboración de las hojas CU-1 de una parcela, en función de los requisitos de información requeridos por la DGC especificados anteriormente, son:

1. La integración de la elaboración de las hojas CU-1 con el mantenimiento de la cartografía digital. Dado que en los ayuntamientos acostumbra a existir una base de datos cartográfica y que el CU-1 complementa dicha información, es muy interesante que ambos sistemas estén integrados para poder lograr la alimentación de información en ambas direcciones. Es decir, a la hora de crear el CU-1 de una parcela, partir de la información catastral existente de la misma, y tener la posibilidad de exportar las modificaciones realizadas en el CU-1 de una parcela sobre la cartografía.

2. Que el sistema proporcione un entorno de trabajo para poder tratar tanto la información gráfica como la alfanumérica. El entorno de la aplicación debería estar integrado en el sistema de información existente en el ayuntamiento.
3. Que la aplicación proporcione todas las herramientas necesarias para la introducción de la información necesaria descrita anteriormente, automatizando las operaciones posibles para conseguir la máxima eficiencia y seguridad en la entrada de datos.
4. Dado que la información generada en la elaboración de las hojas CU-1 de las parcelas urbanas puede llegar a ser de gran volumen, es importante considerar un sistema de gestión de información óptimo.

## APLICACION ABSCU-1

**ABSCU-1** es una aplicación informática desarrollada por **ABS INFORMÁTICA, S.L.** en colaboración con **SILinka Informática, S.L.** para la entrada y mantenimiento de información gráfica y alfanumérica correspondiente a las modificaciones realizadas sobre el parcelario urbano siguiendo la normativa de la DGC.

La aplicación se ha desarrollado utilizando el siguiente software de base: como paquete de CAD **MicroStation** y como paquete de SIG **MicroStation Geographics**, que nos proporcionan un entorno de desarrollo específico (MDL) que permite la implementación de herramientas totalmente integradas en el entorno gráfico, lo que implica que el usuario puede utilizar todas las herramientas que proporciona el software de base y percibirá las utilidades propias del CU-1 como parte del sistema.

A continuación se detalla las principales características de ABSCU-1:

1. **Digitalización:** ABSCU-1 proporciona las utilidades necesarias para asistir a la digitalización de las entidades propias de la visión CU-1 de la parcela, integrándose perfectamente en el entorno de trabajo de **MicroStation**, de forma que dichas utilidades amplían las capacidades de éste sin modificar los hábitos de trabajo propios de cada usuario concreto. En las ayudas a la digitalización están definidas todas las entidades que forman parte de la información Cu-1 de la parcela (según normativa vigente), con lo que el usuario sólo debe dejarse guiar por ellas y no preocuparse más que de dibujar correctamente, ya que la aplicación controlará las características gráficas de cada elemento, como su nivel, color, estilo y grosor. Todas

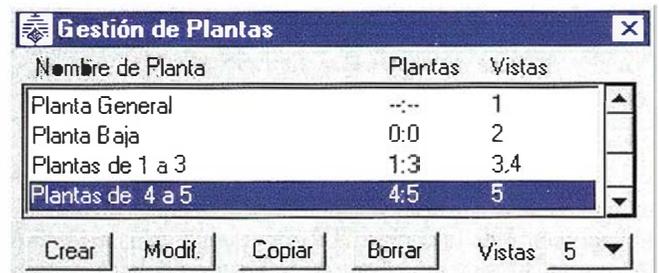
# Apuntes para la Administración

las plantas del Cu-1 se tienen que codificar, es decir poner centroides en todos los polígonos existentes: volúmenes (alturas) en la Planta General y usos en las plantas significativas. Para este propósito se suministran las herramientas necesarias para una codificación rápida y correcta.

2. Corrección topológica: usando las funciones de **MicroStation Geographics**, se ofrecen también utilidades destinadas a la detección y corrección de posibles errores introducidos involuntariamente por el usuario durante el proceso de digitalización. Estas utilidades de corrección topológica se proporcionan a nivel lineal (líneas que se cruzan pero no tiene punto de corte, tramos que sobran, líneas terminan en un punto libre, ...), y a nivel poligonal (polígonos que no cierran, polígonos que no tienen centroide,...). Gracias a estas herramientas la digitalización será mucho más rápida, ya que el usuario no debe preocuparse en el momento de dibujar de mantener la topología de los elementos. El usuario debe reflejar fielmente el croquis de la parcela, y la aplicación dotará de corrección topológica a los elementos gráficos introducidos.
3. Vínculo con la cartografía digital: uno de los aspectos más importantes de ABSCU-1 radica en la posibilidad de poder tener la hoja CU-1 de la parcela ligada a la visión cartográfica de la misma. Para lograr esta vinculación es imprescindible disponer de la aplicación **PARCEL-CAD** de ABSIS que gestiona la cartografía digital. Esta funcionalidad nos permite aprovechar la información introducida en cualquiera de los dos entornos, de tal forma que se logra la máxima actualización y fiabilidad de los datos. De esta manera, si disponemos de una parcela en la cartografía digital, podemos aprovechar dicha información (tanto gráfica como alfanumérica) para dar de alta la parcela en el entorno CU-1. Si posteriormente la parcela sufre alteraciones en este entorno, podemos actualizar la cartografía digital exportando los datos desde el CU-1. Conseguimos de esta manera que los dos entornos se alimenten mutuamente, con las grandes ventajas que ello supone.
4. Gestión de la información de las hojas CU-1: la gran cantidad de información generada por todas las hojas CU-1 de un municipio, hace que su gestión sea un punto importante a considerar. A tal propósito ABSCU-1 suministra una funcionalidad de gestión de parcelas CU-1 existentes, donde el usuario puede realizar búsquedas y filtros por referencia catastral y dirección, para poder localizar parcelas de una forma cómoda y rápida, sin tener que conocer la ubicación física de estas. En esta

misma utilidad, también se dispone de la posibilidad de visualizar e imprimir la información gráfica y alfanumérica. De hecho esta utilidad está integrada en el entorno ABSCU-1, pero puede ser usada independientemente como una aplicación de consulta e impresión de hojas CU-1, sin herramientas de edición.

5. Gestión de plantas: la información gráfica de cada parcela está contenida en un solo fichero gráfico (dgn). Ahora bien, el Cu-1 de una parcela está formado por la Planta General, y tantas plantas significativas como se precisen. Los elementos gráficos correspondientes a cada una de las plantas se distribuyen de forma uniforme en el fichero de diseño, y esto es transparente al usuario ya que se le proporciona la herramienta para poder navegar entre plantas, de manera que pese a ser un único fichero gráfico el usuario percibe cada una de las plantas como una unidad independiente. Aprovechando que **MicroStation** tiene la posibilidad de tener hasta ocho vistas abiertas simultáneamente, y las herramientas de la aplicación, se podrán ver a la vez un máximo de ocho plantas distintas, una en cada una de las vistas. Esta gestión de la visualización de plantas permite percibir cada planta como una unidad independiente dentro de un solo fichero gráfico, con todas las ventajas que ello supone. También se proporcionan las herramientas necesarias para crear, modificar y borrar plantas.



6. Herencia de información: se ofrecen utilidades automáticas para el aprovechamiento de información entre las distintas plantas de una parcela, dado que existen puntos y líneas coincidentes entre plantas. Con esta utilidad logramos optimizar al máximo el tiempo de digitalización.
7. Superficiación automática: herramienta para calcular las superficies de todos de los polígonos de cada una de las plantas de la parcela, generar una leyenda con las superficies calculadas, y corregir posibles errores de codificación. Todos estos datos superficiales se guardan en la Base de Datos, y el usuario tiene la posibilidad



## Apuntes para la Administración

**Copia de Información gráfica entre plantas**

Nombre (Planta destino) P. Inicial P. Final

Planta 8 | 8 | 8

Planta fuente Plantas de 4 a 5

Entidad Sel.

250101	Línea perimetral P.S.	No
250102	Código de uso y destino P.S.	No
250103	Línea interior P.S.	No
250104	Línea de acotación P.S.	No
250105	Distancia de acotación P.S.	No

de visualizarlos y modificarlos. En planta general los cálculos tienen en cuenta los códigos introducidos como centroides de cara a calcular los valores reales de superficie construida (aplicando el valor de las alturas que el código de volumen representa). En las plantas significativas la superficies se agrupan por código de uso identificado por los centroides.

**Superficieación**

Planta: Planta General Superficiar Borrar Ver/Mod

Crear al superficial / Elementos a borrar

Superficies  Leyenda  Marcas Error Dist. Sup. a código 2.000

**Leyenda de Superficies**

Superficie de Parcela (m2)	Superficie construida (m2)	
Cubierta: 905	Sobre Rasante: 4333	<input type="button" value="Grabar"/>
Descubierta: 0	Bajo Rasante: 905	<input type="button" value="Cancelar"/>
Otros: 0	Otros: 0	
Solar: 905	Total: 5238	

Superficie gráfica de parcela (m2): 904.955

Planta: Planta Sotano

Uso	Sup. (m2)	Modif.	Superficie Total Planta (m2)
Industria, Serv. Uso Propio	875	Si	Cubierta: 905
Sanidad, Benef. Uso Propio	30	No	Descubierta: 0
			Otros: 0
			Total: 905

875

8. Acotación automática: se proporcionan herramientas de acotación automática de los segmentos que determinan la superficie de la parcela, tanto en planta general como en plantas significativas, dando al usuario la posibilidad de parametrizar el ángulo y la distancia mínima de acotación a fin de obtener las cotas deseadas.

**Acotación automática**

Distancia mínima de Acotación (m) 2.000000

Angulo mínimo de Acotación (grados) 1.000000

Planta: Planta General

9. Impresión o ploteo: esta utilidad permite la impresión de las hojas CU-1 de una parcela según el formato especificado por la DGC. El usuario solo debe decidir si quiere imprimir una o todas las plantas y es el sistema el encargado de realizar todas las operaciones necesarias: giro de la parcela en función de la puerta principal, ubicación de la foto y datos alfanuméricos requeridos incluida la leyenda de superficies y la carátula, y cálculo de la escala correcta.

En resumen ABCU-1 asiste con sus herramientas al usuario en todas las tareas que este tiene que realizar: digitalización de las diferentes entidades (incluidas utilidades de codificación: volúmenes en el caso de Planta General y Usos en el de Plantas Significativas), detección y asistentes a la corrección de los posibles errores introducidos en la digitalización (tanto a nivel lineal como poligonal), cálculo automático de superficies (tanto de Planta General como de las diferentes Plantas Significativas) con la posibilidad de ser modificadas por el usuario, acotación automática de los límites de parcela, acotación manual para que el usuario pueda acotar lo que desee, impresión automática (bien de todas las plantas, bien de una en concreto), exportación tanto gráfica como alfanumérica para la DGC, almacenamiento en Base de Datos de la información propia de cada parcela, así como de las superficies calculadas.

Asimismo ABCU-1 proporciona herramientas para navegar tanto por los ficheros gráficos correspondientes a cada una de las parcelas, como por las plantas general y significativas de cada una de las plantas de una parcela en concreto. Con esto queremos decir que existen utilidades para que el usuario pueda acceder a los ficheros gráficos de cada una de las parcelas sin saber su ubicación física, sino conociendo o bien su referencia catastral (Manzana/Parcela/Plano) o bien conociendo su dirección. También existe un gestor de plantas que permitirá a los usuarios ubicar cada una de las plantas (general y significativas) en las vistas que desee, de forma que aunque cada parcela se represente en un solo fichero gráfico, el usuario percibirá cada planta como una entidad diferenciada. Por último, destacar la gran ventaja que supone el poder tener ligadas las visiones CU-1 y cartográfica de una parcela.

# Apuntes para la Administración

# FRIEDRICH ROBERT HELMERT

## Comentarios sobre su vida y obra

Esther González Higuera.

E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Granada.

Mónica Ruiz Bustos.

Instituto Geográfico Nacional. Madrid

### RESUMEN

*La figura de F.R. Helmert fue crucial para afianzar la hegemonía que había alcanzado la geodesia alemana, gracias a los trabajos de Bessel y Gauss principalmente. Es muy conocido su importante tratado de geodesia, en dos tomos, titulado *Teorías matemáticas y físicas de la Geodesia Superior*, el cual sigue siendo un texto de obligada referencia. No obstante no están suficientemente divulgadas otras de sus singulares aportaciones. Con el presente trabajo se intenta, en cierta medida, subsanar esa carencia al mismo tiempo que se señalan las etapas básicas de su vida profesional. Los comentarios sobre sus contribuciones científicas se han agrupado en cuatro grandes áreas: compensación geodésica, geometría del elipsoide, gravimetría y práctica de la topografía. Con el fin de mostrar que fue autor prolífico se añaden, en forma de anexo, sus publicaciones más sobresalientes, ordenadas cronológicamente y traducidas al castellano.*

### INTRODUCCIÓN

Es sabido que el merecido protagonismo que tuvo Francia en el campo de la Geodesia durante todo el siglo XVIII, fue desplazándose paulatinamente hacia la actual Alemania por las singulares y continuadas aportaciones de Bessel y, sobre todo, de Gauss. El desarrollo que experimentó tanto la teoría como la práctica de las observaciones de campo en los diferentes reinos alemanes se mantuvo y enriqueció gracias a los importantes estudios realizados por otro geodesta excepcional y figura clave en la historia de esta ciencia, Friedrich Robert Helmert (1843-1917). Su obra sintetiza y formaliza, por primera vez y de manera rigurosa, los fundamentos matemáticos y físicos de la Geodesia, marcando igualmente el inicio de las concepciones más modernas.

### BIOGRAFÍA

J.F. Helmert cursó los primeros estudios en su Freiberg natal (31.7.1843), pasando a continuación, con catorce años, al Instituto St. Anne de Dresden. Dos años después ingresó en la Escuela Politécnica de dicha ciudad, en donde permanecería hasta el año 1863. Su estancia en Dresden y la tutoría de A. Nagel, Jefe del Departamento de Geodesia, fue fundamental para su posterior formación geodésica, también impulsada desde sus inicios por el análisis de los trabajos de Gauss. Finalizados sus estudios



colaboró durante tres años con su profesor A. Nagel, participando al mismo tiempo en la triangulación que se realizó en Sajonia, relacionada con la medición del desarrollo de un arco de meridiano. En el año 1866, a instancias de A. Nagel, se trasladó a la Universidad de Leipzig para completar allí sus conocimientos físico-matemáticos. Terminó su estancia universitaria con la lectura y defensa del tema *Estudios sobre la Medición Racional en Areas de la Geodesia Aplicada*. Una brillante aportación en la que a las observaciones rigurosas añade el tratamiento probalístico de las mediciones realizadas, influenciado muy probablemente por su familiaridad con las investigaciones geodésicas de Gauss. Gracias a la relación que había mantenido, entretanto, con los astrónomos del Observatorio de Hamburgo, pudo comenzar en él su etapa de observador astronómico durante el año 1869, centrandose básicamente su atención sobre el enjambre estelar de la constelación del escudo.

Sin embargo el verdadero comienzo de su carrera científica debe situarse en el año 1870, con su incorporación a la docencia de la Geodesia en la recién creada Escuela Politécnica de Aachen<sup>1</sup>, más tarde Escuela Técnica Superior, llegando a catedrático dos años después. Fue precisamente en ese

año, 1872, cuando apareció publicada su primera gran obra, titulada *Cálculo de la compensación mediante el método de los mínimos cuadrados con aplicación a la Geodesia y Teoría de los instrumentos de medida*, que pronto se convertiría en un verdadero manual para los profesionales de la Geodesia. No obstante su publicación más sobresaliente es el conocido tratado *Teorías matemáticas y físicas de la Geodesia superior* (Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie) un texto básico en el estudio de la Geodesia que estructuró en dos tomos. El primero dedicado al fundamento matemático, apareció en Octubre de 1880, y el segundo en Septiembre de 1884. Ambos los fechó Helmert en Aachen aunque fueron editados en Leipzig. Las dos publicaciones anteriores aportaron soluciones totalmente novedosas a los problemas geodésicos propios de la época y, en gran medida, establecieron la pauta para actuaciones posteriores. De su transcendencia puede dar idea la nueva edición que se realizó de sus dos tomos en el año 1963.

El prestigio alcanzado por Helmert fue en aumento a partir del año 1872. Entre 1875 y 1883 colaboró con W. Jordan<sup>2</sup> en la secretaría de la revista para Geómetras, participando también en la Asociación Alemana de los mismos (en el año 1884 sería nombrado miembro honorario). A partir de 1887 entró a formar parte de la Comisión de Contrastación de Prusia. Por sus repercusiones ulteriores debe destacarse su integración en el Consejo Científico del Instituto Geodésico de Prusia, que había fundado en Berlín J.J. Baeyer<sup>3</sup>. Fallecido el fundador en 1885, fue nombrado Helmert director provisional (1886), pasando a definitivo un año más tarde. La creación, por aquel entonces, de una nueva cátedra de Geodesia Superior en la Universidad de Berlín (Facultad de Filosofía) y su adjudicación a Helmert, hizo que se decidiera a dejar la docencia en Aachen para instalarse definitivamente en Berlín.

Entre las misiones prioritarias del Instituto Prusiano figuraban las relacionadas con la medición del grado, ya que dentro del propio Instituto se encontraba la Oficina Central de la Asociación para la medición de Arco de Europa, creada por Baeyer en 1864 y germen de la ahora denominada Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG). Bajo la dirección de Helmert el Instituto de Berlín alcanzó una fama mundialmente reconocida. Dentro de sus sucesivos planes de trabajo contempló la solución final del problema que se planteaba al pretender dimensionar el elipsoide terrestre, pasando de los estudios lineales (localistas) y clásicos presentes al medir el desarrollo del arco de meridiano o de paralelo, a los métodos zonales referidos a regiones de gran extensión y considerados novedosos por apoyarse en observaciones gravimétricas, además de en las geométricas convenciones. De esa manera pasó a ser Helmert el principal impulsor del método de las áreas, aplicado después con tanto éxito: primero

por el americano J.F. Hayford (1868, 1925) y más adelante por el ruso T.N. Krasovsky (1878, 1948) en sus respectivos países.

Una vez nombrado director del Instituto Geodésico decidió renovar y ampliar su sede, eligiendo para ello la zona del Observatorio de Postdam (Monte del Telégrafo). Gracias a su tesón pudieron utilizarse los nuevos locales en 1892, en los cuales desarrollaría Helmert su fructífera investigación, dirigiendo un notable equipo de colaboradores. El reconocimiento consecuente que recibió discursó paralelo a su trabajo: Consejero Privado del Gobierno (desde 1893), Miembro Oficial de la Academia Prusiana de las Ciencias (1900), Doctor Honoris Causa por la Universidad de Aachen (1902). En el año 1912 se le concedió la gran medalla de la Ciencia, el mayor honor a que podía aspirar un científico de la época. Asimismo recibió numerosas condecoraciones y varios nombramientos como miembro correspondiente de otras tantas Academias extranjeras. Existe una placa conmemorativa en su casa natal (Calle de las Monjas nº 17) de Freiberg, que fue colocada en 1913 y renovada en 1967, la cual rinde justo homenaje al gran maestro de la Geodesia.

Al parecer el estallido de la primera guerra mundial (1.8.1914) afectó profundamente a Helmert, quien vio frustrarse dramáticamente toda la cooperación internacional a la que tanto contribuyó. En el año 1916 sufrió un infarto de miocardio, por cuyas secuelas falleció, en Postdam, el día 15 de Junio de 1917.

## LA OBRA CIENTIFICA DE HELMERT

Los comentarios sobre la obra científica de Helmert han de ser necesariamente breves, no solo por efectuarse en el presente contexto sino también porque al tratarse de un investigador tan prolífico (se acompaña anexo con su producción bibliográfica) parece conveniente mencionar, aunque sea de pasada, las que realizó en campos tan importantes como la compensación geodésica, la geometría del elipsoide, la gravimetría y la práctica de la Topografía.

## EL PROBLEMA DE LA COMPENSACIÓN

Ya en su disertación de Leipzig (1868) sobre la Medición Racional, analiza el tema de la optimización, tan actual en nuestros días, estudiando los residuos en relación con las incógnitas presentes y sentando las bases de la programación lineal. En el prólogo de su publicación de 1872, ya citada, concibe la compensación como parte esencial de las tareas geodésicas con el fin último de medir y representar la super-

1 También conocida como Aquisgrán o Aix L'Chapelle.

2 W. Jordan fue profesor en la Escuela Técnica Superior de Hannover y autor, entre otras muchas publicaciones, de un Tratado general de Topografía. Su versión española, por el Ingeniero Geógrafo J.M. Mantero (varias veces reeditada) es muy conocida entre el colectivo de Ingenieros Técnicos en Topografía.

3 El general y geodesta J.J. Baeyer era gran conocedor de los proyectos geodésicos de España. En relación con el del Mapa Topográfico Nacional, auspiciado por C. Ibáñez de Ibero, manifestó "España tiene planteado un proyecto de trabajos tal que, de realizarse, obscurecería todo cuanto en el dominio de la Geodesia se había proyectado en el continente".

ficie terrestre. Generaliza el empleo de las ecuaciones condicionadas como método (modelo de Gauss-Helmert) para obtener los valores más probables de una serie de incógnitas. En 1876 estudia la función de densidad asociada a la suma de los cuadrados de los residuos, denominada después  $\chi^2$  de Pearson. También propuso en 1907 un método simplificado para la detección de grandes fallos apoyándose en la distribución normal. En ese mismo año muestra un método para mejorar las asignaciones de los pesos mediante el empleo de los residuos. A Helmert se debe un tratamiento especial de los sistemas de ecuaciones normales reducidas, expuesto por primera vez en 1880 como el método ideal para compensar rigurosamente la red triangular europea. Precisamente fue su método el elegido, entre 1955 y 1987, para compensar la Red Geodésica Europea (RETRIG). Asimismo fue adoptado en EE.UU., con la denominación *Helmert - Blocking*, y empleado para compensar su red entre 1974 y 1986. Suya fue la idea de sustituir una cadena triangular encuadrada por la línea geodésica que une los extremos de la misma (1893), como medio de facilitar la compensación de una red triangular; dicho procedimiento sería empleado años después (1930-1932) por Krásovsky para compensar los primeros nueve polígonos de la triangulación principal de la desaparecida URSS. Helmert elaboró, en fin, un método global para compensar la red astrogeodésica, incluyendo a la vez la nivelación y la deducción de los parámetros más probables (dimensiones y orientación) del elipsoide terrestre.

## LA GEOMETRÍA DEL ELIPSOIDE

Helmert se decantó pronto<sup>4</sup> por el elipsoide de revolución como la superficie matemática de mejor ajuste para la Tierra, afirmando que debería ser esta la representada sobre el plano del mapa. A él se debe precisamente la denominación actual de elipsoide terrestre. Al estudio de la geometría de ese elipsoide dedica la mayoría de los capítulos del primer tomo de su tratado *Teorías matemáticas y físicas de la Geodesia Superior*. Su tratamiento del triángulo geodésico es en cierto modo una incursión en el espacio tridimensional, del cual se mantiene alejado probablemente por la imposibilidad de cuantificar adecuadamente la refracción. Aplicando el método de los arcos, con el fin de hallar los parámetros elipsoídicos, demostró que el semieje ecuatorial dado por Bessel era demasiado pequeño, al contrario de lo sucedido con el valor aportado por Clarke que resultaba demasiado grande. Los resultados dados a conocer por él en 1907 fueron

$$a = 6378200 \text{ ms} \quad \text{y} \quad \alpha = 1/298.3$$

si bien el aplastamiento lo modificaría ocho años más tarde,  $\alpha = 1/296.7$ , atendiendo a sus investigaciones gravimétricas, que se comentarán más adelante. La magnitud del radio ecuatorial también la modificó por esas fechas, en función del promedio de las seis obtenidas gracias a las medidas de los arcos realizadas en Europa, Asia y Africa, así llegó al valor

$$a = 6378192 \pm 94 \text{ ms.}$$

Helmert introdujo, por otra parte, el llamado esferoide o elipsoide normal, una simplificación del geoide, obtenida al truncar el desarrollo del potencial de la gravedad (plenamente desarrollado en el tomo segundo de su tratado); aún así se trata de una superficie algebraica bastante complicada pues su grado es 22. Aunque reconoce la importancia de la ondulación del geoide (de hecho la ilustra con toda claridad en la página 519 del primer tomo) con relación al elipsoide, propugna que las reducciones de las medidas no deben hacerse referidas a él sino al geoide. Finalizamos este apartado señalando que Helmert abordó también el estudio de la representación plana del elipsoide de revolución, como evidencia su publicación del año 1876 *Näherungsformeln für die Gauss' schprojektion der Hannoverschen Landesvermessung*, en la que analiza con detalle la proyección de Gauss; un desarrollo cilíndrico elíptico y transverso, que en su aplicación universal y recordando a Mercator es más conocida por las siglas U.T.M. (iniciales de su denominación en lengua inglesa).

## APORTACIONES GRAVIMÉTRICAS

Siendo consciente Helmert de las limitaciones que tenían los métodos exclusivamente geométricos para determinar el aplastamiento polar, propuso la proliferación de las observaciones gravimétricas. Con él se inicia verdaderamente el desarrollo imparable de la Gravimetría como parte consubstancial de la Geodesia. El tomo que dedicó al fundamento físico de esa ciencia, puede también catalogarse como un libro de Gravimetría o si se prefiere como un libro de Geodesia Física, y desde luego como el primero en que se abordan sistemáticamente y con la extensión debida el estudio de sus conceptos básicos. Los trabajos gravimétricos realizados por Helmert aparecen en sus inicios asociados a los equipos pendulares del general austriaco R. Von Sterneck y a las numerosas medidas de la gravedad que efectuó con su propio péndulo en los Alpes tiroleses. Los cálculos hicieron intervenir los datos de 37 estaciones situadas a lo largo de una línea de 356 kms. envolviendo los macizos de Oetzthal y Stubai, teniendo gran repercusión cuando aparecieron publicados en 1890 (*Die Schwerkraft im Hochgebirge insbesondere, in den Tyroler Alpen, in geodätischer und geologischer Beziehung. A.I.G. Berlin. 1890*), ya que volvían a evidenciar los déficits máxicos observados años atrás por Pratt, al obtener desviaciones de la vertical inferiores a las previstas. La justificación del fenómeno dada por Helmert era análoga a la defendida por el geólogo americano Dutton: el antepaís se hunde y las montañas se elevan. Poco después el proceso designado por Dutton con el nombre de isostasia, encontró una acogida muy favorable en los EE.UU. influenciada, quizás, por los trabajos que publicó al efecto Hayford: *The Geodetic Evidence of Isostasy* (1906). Helmert fue también, en 1901, uno de los primeros geodestas en aplicar las relaciones de Clairaut para determinar gravimétrica-

4 Incluso llega a calificar como del todo inútil al elipsoide triaxial o al de revolución con eje inclinado, con relación al polar.

mente el elipsoide, utilizando para ello alrededor de 1500 valores de la gravedad, previamente corregidos por la reducción al aire libre<sup>5</sup>. Así dedujo para la gravedad teórica la fórmula

$$g = 978.046 (1 + 0.005302 \sin^2 \varphi - 0.000007 \sin^2 2\varphi) \text{ gals,}$$

aunque más tarde (1915) la modificara

$$g = 978.052 (1 + 0.005285 \sin^2 \varphi - 0.000007 \sin^2 2\varphi) \text{ gals,}$$

esta última la dio a conocer en el transcurso de una conferencia que pronunció ante la Academia prusiana de las Ciencias.

Helmert y su equipo de colaboradores efectuaron medidas relativas, como las que se acaban de citar referidas a los Alpes, y absolutas de la gravedad. F. Kühnen y F. Furtwangler determinaron bajo su dirección, entre 1898 y 1904, el valor patrón de Postdam. Usaron para ello cinco péndulos reversibles, cuya teoría había publicado Helmert en 1898, e hicieron 192 determinaciones, deduciendo finalmente el valor absoluto siguiente

$$g = 981274 \pm 3 \text{ mgal}^6$$

O. Kecker, otro de los colaboradores de Helmert, realizó a instancias suyas, medidas de la gravedad en el Océano Atlántico durante el año 1901, y siete años más tarde en el Indico y en el Pacífico, usando en estas ocasiones como accesorios termómetros hipsométricos y barómetros de Mercurio con registros fotográficos. Otros trabajos dirigidos por Helmert fueron las observaciones que hicieron con una balanza de torsión<sup>7</sup> mejorada, primero el mencionado Kecker (1910) y luego Schweydar.

Los estudios geodésicos de Helmert se refirieron además a la determinación de los parámetros del elipsoide terrestre mediante métodos astronómicos. Basándose en las perturbaciones del movimiento de la Luna en latitud y longitud (un método ideado por Laplace) corrigió el resultado que había dado su compatriota Hansen para el aplastamiento (1/300) obteniendo el valor  $1/298.8 \pm 2.2$ . Señalemos asimismo que a través de la medida de la paralaje lunar, y supuesta una cierta magnitud para el citado achatamiento, puede calcularse el semieje mayor del elipsoide. Siguiendo ese procedimiento obtuvo Helmert los valores siguientes:

$$a = 6378830 \text{ metros, con } \alpha = 1/299.26$$

$$a = 6381360 \text{ metros, con } \alpha = 1/289.76$$

Sin embargo las cantidades encontradas diferían demasiado de las que se obtenían por el método de los arcos, para que esa vía pudiese considerarse precisa. En todo caso si se introducen las correcciones relativas al aplastamiento y a las desviaciones de la vertical, dependientes a su vez de las hipótesis isostáticas adoptadas, podrían encontrarse valores próximos a los hallados en su momento (1909) por Hayford.

Si bien el vocablo geoide fue acuñado en 1873 por J.B. Listing<sup>8</sup>, profesor de física en la Universidad de Göttingen, es previo el comentario que hizo Gauss: *lo que llamamos la superficie de la Tierra en el sentido geométrico no es más que esa superficie que intersecta en todos lados la dirección de la gravedad en ángulos rectos, y parte de la cual coincide con la superficie de los océanos*,<sup>9</sup> la primera y quizás más clara y sucinta definición del geoide. Naturalmente Helmert no permaneció ajeno a su estudio, de hecho en el segundo tomo de su libro de Geodesia consagra los capítulos 3<sup>o</sup> y 4<sup>o</sup> al mismo, tras analizar en los dos primeros lo que ahora se conoce como teoría de campos. Refiere con todo detalle la fórmula de Stokes, las relaciones de Clairaut, el desarrollo del potencial normal, el perturbador, la fórmula de Bruns..., llegando incluso a presentar al final del volumen una imagen global del geoide como complemento al capítulo cuarto. Helmert relacionó de forma magistral la superficie física del geoide con el modelo matemático elipsoidal, al definir el elipsoide terrestre como la superficie matemática que mejor se adapta al geoide. A dicho elipsoide le impuso las condiciones siguientes: *tener el mismo volumen y eje de rotación que el geoide, coincidir su centro geométrico con el de gravedad de la Tierra y, por último, ser mínima la suma de los cuadrados de las distancias entre cada uno de los puntos de la superficie del geoide y el correspondiente al elipsoide*. Esa última condición se expresa en la actualidad mediante la integral de superficie

$$\iint N^2 d\sigma = \text{mínimo,}$$

siendo N la ondulación del geoide. N fue también el símbolo empleado por Helmert para identificar la separación entre ambas superficies.

5 Al igual que hizo Faye, Helmert propuso modificar la fórmula de Bouguer (o de Young) y publicó varios trabajos sobre las anomalías de la gravedad en los años 1908, 1909 y 1912. En el capítulo 3<sup>o</sup> del segundo tomo, varias veces citado, da su propia fórmula de reducción

$$\left(1 + \frac{5H}{4R}\right)g.$$

6 Según los datos más recientes el valor de la aceleración de la gravedad en Postdam es igual a 981.3 gals 14 mgal.

7 La balanza de torsión fue ideada por el húngaro Eötvös en 1896.

8 Johann Benedikt Listing (1808, 1882) inició, junto a Fischer y Bruns, las teorías sobre la ondulación del geoide, fijando entre 800 ms. y 1 km. la separación máxima entre él y el elipsoide. Unas magnitudes que no serían fiablemente revisadas hasta el desarrollo de la geodesia espacial. Hoy día se admite que la altura máxima del geoide es próxima a los 100 metros.

9 La descripción de Gauss apareció en su publicación Determinación de la diferencia de latitud entre los Observatorios de Göttingen y Altona (1828).

Así surgió un método novedoso ideado por Helmert (1880) para determinar el geoide y que se conoce con el nombre de Nivelación Astronómica o Astrogeodésica, que como es notorio permite obtener perfiles del mismo y dibujarlo mediante curvas de nivel sobre el elipsoide que se considere. En su proyecto de red astrogeodésica centroeuropea incluyó 26 puntos de Laplace y 72 estaciones de desviación de la vertical. En relación con dicho proyecto aparecieron las publicaciones *Desviaciones de la vertical (I a V)*, entre 1886 y 1916, con la firma de Helmert y de sus colaboradores; en el ajuste de tales redes y en la elección del elipsoide más probable se empleó su propio método de compensación, el ya citado de 1893. Los primeros resultados concretos del geoide se obtuvieron para la región alemana de Harz, por parte de A. Galle (1914), bajo la dirección de Helmert, quien había demostrado en el año 1899 que las repetidas ondulaciones del geoide con relación al elipsoide eran menores de 100 metros.

Fue fundamental su aportación en el campo de la Geodinámica, concretada en el estudio de la variación de la latitud, debiéndose a Helmert el Servicio Internacional creado al efecto. En 1883 se recomendó a los astrónomos, por iniciativa del alemán, establecer un programa de observaciones concertadas para estudiar la posible variación de la latitud. Al año siguiente F. Küstner ya anunció la existencia de una variación anual. Las experiencias se repitieron entre 1891 y 1892 desde estaciones situadas en Berlín y Honolulu, separadas en una longitud próxima a los 180°. Así constató que las variaciones de latitud eran concomitantes, mientras que una disminuía la otra aumentaba, de modo que el eje de rotación terrestre no era fijo con relación a la Tierra. Años más tarde (1899) se creó el Servicio Internacional de Latitudes para estudiar la polodia, la decisión fue de la Unión Geodésica Internacional, cuya oficina central dirigía el propio Helmert. Sobre él, a través del Instituto Geodésico de Prusia, recayó la obligación de valorar las observaciones realizadas en la red mundial de observatorios diseñadas al efecto. También trató Helmert de las variaciones temporales del campo gravitatorio terrestre, analizando las mareas lunisulares en el capítulo quinto del segundo tomo varias veces citado.

## HELMERT Y LA PRÁCTICA DE LA TOPOGRAFÍA

Helmert unía a su condición de geodesta eminente la de profundo conocedor de la Topografía en sus dos vertientes: teoría y práctica. Fueron muchas sus aportaciones en el campo de los métodos (Planimétricos y Altimétricos) y en el de sus aplicaciones, debiendo resaltar en este último aspecto las aparecidas en el área de la Topometría Urbana. Efectivamente, en el primer grupo pueden encuadrarse su estudio sobre los

errores cometidos al determinar un punto por intersección inversa o su procedimiento para elegir de modo preciso los puntos definitivos en los polígonos de error, propios de las soluciones gráficas para las intersecciones. Ambos fueron desarrollados en sendas publicaciones aparecidas en el año 1868. La nivelación geométrica fue también objeto de atención de Helmert, tanto al estudiar el error de cierre en función de las longitudes de los lados y altitudes del itinerario, como al incluir en su tratado de Geodesia el análisis de la falta de paralelismo de las superficies de nivel. Más amplio es su desarrollo de la nivelación trigonométrica, incluyendo una fórmula teórica para el coeficiente de refracción en la página 577 del repetido segundo tomo<sup>10</sup>. Esos estudios los complementaría años más tarde al determinar la altitud de la isla Wangeroog<sup>11</sup> en el año 1888 y el coeficiente de refracción en las proximidades de la superficie del mar (1908). A su extenso análisis de la nivelación barométrica, han de añadirse sus trabajos sobre taquimetría, como el efecto de la inclinación de la mira en la medición de las distancias. Especial mención merecen sus aportaciones puntuales al replanteo de curvas (1875), en las que aborda la cuestión de modo que los inevitables errores que se producen en la operación causen el menor efecto posible sobre el trazado. Durante su estancia en la ciudad de Aachen (1872) publica el trabajo *Curvas de paso en las vías férreas*, incluyendo las clotoides como curvas de enlace entre las alineaciones rectas y circulares. En el año 1876 discute los errores de observación en el trazado del eje del túnel de San Gotardo<sup>12</sup>.

## CONSIDERACIONES FINALES

Helmert recibió en su madurez la consideración más distinguida de la comunidad científica internacional y los honores consecuentes, algunos de los cuales ya han sido citados en las páginas anteriores. La importancia de su Tratado de Geodesia para la consolidación de la misma como una disciplina científica de primera magnitud es del todo evidente. Esa circunstancia y lo sobresaliente de la mayoría de sus aportaciones propiciaron que su nombre aparezca hoy día en la literatura geodésica asociado a diferentes conceptos. Sirvan de ejemplo los siguientes: *Proyección de Helmert*, para referirse al pie de la perpendicular trazada al elipsoide desde un punto de la superficie terrestre; *la reducción de Helmert*, según la cual la superficie topográfica se condensa para formar una capa superficial sobre el geoide con una densidad tal que la masa total permanezca invariable (puede considerarse como el caso límite de la reducción isostática del sistema Pratt-Hayford) y finalmente *la transformación de Helmert*,<sup>13</sup> que permite, como es notorio, relacionar las coordenadas de puntos referidas a sistemas de referencia diferentes. A Friedrich Robert Helmert le corresponde con toda justicia un

10 En dicho tomo (página 590) cita los estudios realizados al respecto por Ibáñez de Ibero en el año 1864 en clara referencia a su publicación *Estudios sobre Nivelación Geodésica* aparecida en Madrid durante ese año. Asimismo resalta Helmert la aportación española en la Comisión Europea para la Medición del Grado, celebrada en París en 1875.

11 En dicha isla (al norte de Alemania) había un vértice de primer orden perteneciente a la Red Geodésica de Hannover, diseñada por Gauss.

12 El túnel de San Gotardo, con cerca de 15 kms, unió la ciudad suiza de Göschenen y la italiana de Airolo en el año 1880.

13 Dicha transformación, de tanta utilidad en las ciencias geográficas, fue usada con profusión en el Servicio de Fotogrametría del Instituto Geográfico Nacional, mediante el desarrollo recogido en el impreso que se adjunta como ilustración.

lugar privilegiado en la historia de la geodesia. En decenios que resultaron decisivos para la misma, y gracias a sus ideas y liderazgo, sentó las bases y las estructuras sobre las que se levantaría luego el edificio de la geodesia moderna. Una construcción que con autores como Hopffner (1949), Hotine (1969), Heitz (1990) y Moritz (1993), entre otros, ha seguido desarrollándose hacia una concepción global que incluye tanto la teoría de la relatividad como la mecánica cuántica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HELMERT F.R. (1880, 1884): *Mathematischen and Physikalischen theorieen der Höheren Geodäsie*. V.G.G. Teubner. Leipzig.

JORDAN W. (1978): *Tratado General de Topografía*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona.

LEVALLOIS J.J. (1988): *Mesurer la Terres*. Presses de l'école national des ponts et chaussés. París.

PERRIER G. (1939): *Petite Histoire de la Géodésie, comment l'homme a mesuré et pesé la Terre*. Presses Universitaires de France. París.

RUIZBUSTOS M., M. RUIZ MORALES (1998): *El Devenir de la Geodesia*. Proyecto Sur de Ediciones (en prensa). Armilla. Granada.

SUESS E. (1918): *La Face de la Terre*. Ed. A. Colin. París.

TORGE W. (1980): *Geodesy*. Ed. W. de Gruyter. Berlín.

ZAKATOV P.S. (1981): *Curso de Geodesia Superior*. Ed. Mir. Moscú.

## ANEXO

Principales publicaciones de Friedrich Robert Helmert

1872. *Estudios sobre medición racional en campos de la geodesia aplicada*. Revista para matemáticos y físicos. p.p. 73-120, 163-186.

*Cálculo de la compensación según el método de los mínimos cuadrados con aplicación a la geodesia y a la teoría de los instrumentos de medida*. Leipzig.

*Las curvas de transición para el trazado ferroviario con ejemplos de cálculo y tablas*.

1874. *El enjambre estelar del escudo*. Observatorio astronómico de Hamburgo.

1876. *Investigaciones sobre la influencia del error de colimación en la nivelación geométrica*. Revista para Arquitectos e Ingenieros de Hannover.

*Sobre la elección óptima de los puntos básicos en la cobertura de un trazado*. Revista para Arquitectos e Ingenieros de Hannover. Pp. 338-347.

*Sobre la probabilidad de la suma de potencias de residuos en las observaciones y otras cuestiones al respecto*. Revista para matemáticos y físicos. pág. 192 y siguientes.

1877. *La medida de grados danesa*. Sociedad Astronómica. Pp. 184-239.

1878. *La medida de grados danesa*. Sociedad Astronómica. Pp. 57-80.

*El Teorema de Clairaut*. Revista de Topografía. Pp. 121-145.

*Nota para el cálculo de la desviación de la vertical por la Luna*. Noticias de Astronomía. Pp. 235-236.

1880. *Las teorías matemáticas y físicas de la geodesia aplicada. Parte I*. Leipzig.

1884. *Las teorías matemáticas y físicas de la geodesia aplicada. Parte II*. Leipzig.

1885. *Comentario sobre la desviación al sur de un cuerpo en caída libre*. Revista para Meteorólogos. Berlín. Pág. 312.

1886. *Visión general de los trabajos del Real Instituto Geodésico bajo la dirección del Dr. Baeyer a través del plan decenal de trabajo*. Berlín.

*Desviaciones de la vertical. Cuaderno I. Fórmulas y tablas, así como resultados numéricos para el Norte de Alemania*. Real Instituto Geodésico Prusiano. Berlín.

1889. *Comunicado sobre la intención de organizar la cooperación de varios observatorios astronómicos alemanes en relación con la investigación de pequeños movimientos del eje terrestre*. Noticias de Astronomía Pp. 225-230.

1890. *Importante cambio en la latitud geográfica durante la segunda mitad del año 1889 para Berlín, Praga y Estrasburgo*. Noticias de Astronomía. Pp. 225-230.

*Explicación de las observaciones de cambios de latitud*. Noticias de Astronomía. Pp. 225-230.

*La fuerza de la gravedad en grandes cadenas montañosas, en especial en los Alpes Tiroleses en el contexto geodésico y geológico*. Real Instituto Geodésico Prusiano y Asociación Internacional de Geómetras. Berlín.

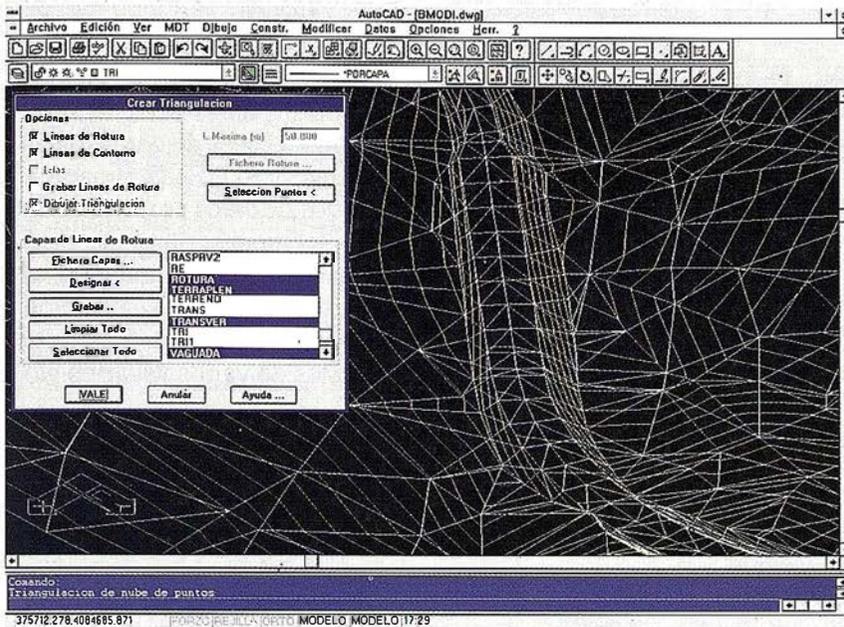
1893. *La medida de grados europea a 52° de latitud desde Greenwich a Varsovia. Primer Cuaderno.* Real Instituto Geodésico Prusiano y Asociación Internacional de Geómetras. Berlín.
1894. *Observaciones al escrito "La investigación de la intensidad de la gravedad en relación a la tectónica terrestre".* Real Instituto Geodésico Prusiano y Asociación Internacional de Geómetras. Berlín.
- Observaciones al problema de la compensación en la demostración del verdadero movimiento del Polo Norte del eje terrestre.* Asociación Internacional de Geodesia. Innsbruck.
1896. *Resultados de mediciones de la intensidad de la fuerza de la gravedad en la línea Colberg-Schneekoppe.* Real Instituto de la Ciencia prusiano.
1897. *La influencia de la elasticidad del péndulo en las determinaciones de la gravedad.* Noticias de Astronomía. Pp. 345-354.
1898. *Aportaciones a la teoría del péndulo reversible.* Real Instituto Geodésico prusiano. Volumen 6. Berlín.
- Discurso de apertura.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp. 698-704. Berlín.
- Sobre la determinación de pequeños fragmentos de superficie del geoide a partir de las desviaciones de la vertical considerando la curvatura de la misma.* Primer comunicado. Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Clase fisicomatemática. Pp. 964-975. Berlín.
- La parte normal de la fuerza de la gravedad al nivel del mar.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp. 328-336 Berlín.
1902. *La determinación de la fuerza de la gravedad sobre el Océano Atlántico por el Dr. Hecker.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. PP. 126-128. Berlín.
- Sobre la reducción de las aceleraciones de la gravedad observadas sobre la superficie física de la Tierra al mismo nivel.* Primer Comunicado. Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. PP. 843-855. Berlín.
1903. *Sobre la reducción de las aceleraciones de la gravedad observadas sobre la superficie física de la Tierra al mismo nivel.* Segundo comunicado. Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp. 650-667. Berlín.
1904. *Sobre la demostración de la fórmula de C.F. Gauss para el error medio en la observación y exactitud de la misma.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp. 950-964. Berlín.
1905. *Sobre la exactitud de los criterios de azar en las series de observaciones.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp. 594-612. Berlín.
1906. *El tamaño de la Tierra.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp. 525-537. Berlín.
1907. *Cálculo de la compensación según el método de los mínimos cuadrados con aplicación a la geodesia y a la teoría de los instrumentos de medida.* Segunda edición. Leipzig.
- Determinación de la altitud de la isla Wangeroog a través de mediciones trigonométricas en el año 1888.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp. 766-791. Berlín.
1908. *Nivelación trigonométrica y coeficientes de refracción en las proximidades de la superficie del mar.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp. 492-511. Berlín.
- Imperfecciones en el estado de equilibrio de la corteza terrestre.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp. 1058-1068. Berlín.
1909. *La profundidad de la superficie de compensación en la hipótesis de Pratt para el equilibrio de la corteza terrestre y el desarrollo de la perturbación de la gravedad desde el interior de los continentes y océanos hasta las costas.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp.- 1192-1198. Berlín.
- Sobre flujos elásticos del cuerpo terrestre.* Revista alemana. Pp. 1-7. Stuttgart.
1910. *La fuerza de la gravedad y la distribución de las masas de la Tierra.* Enciclopedia de la Ciencia Matemática Tomo VI. 1B. Pp. 85-177. Leipzig.
1911. *Sobre la exactitud de las dimensiones del elipsoide de Hayford.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp. 10-19. Berlín.
1912. *Las bases empíricas de la enseñanza de los estados generales de equilibrio de las masas de la corteza terrestre.* Conferencias de la Red prusiana de las Ciencias. Pp. 308-332. Berlín.
1913. *La determinación del geoide en la región del Harz.* Conferencias de la Real Academia prusiana de las Ciencias. Pp. 550-560. Berlín.
- Geoide y elipsoide terrestre.* Revista de la Sociedad de Geógrafos. Pp. 17-34. Berlín.

# TCP – Modelo Digital del Terreno

## Soluciones para Topografía, Ingeniería Civil y Construcción en AutoCAD

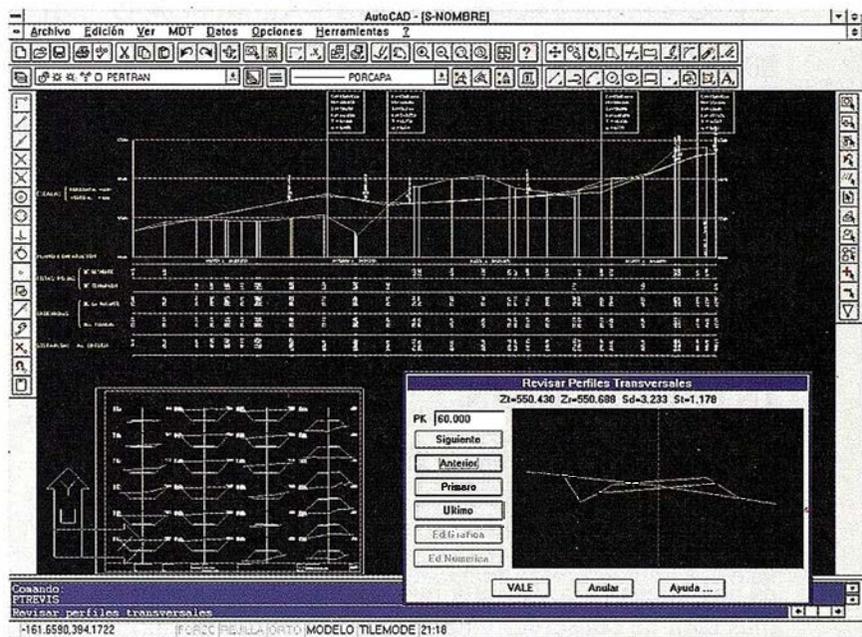
El programa ideal para profesionales de la Topografía, empresas constructoras, estudios de ingeniería, canteras, minas, etc.

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.

# Bases de datos relacionales disponibles para Datos GIS-T Espaciales<sup>1</sup>

Paul Scarponcini, PE., Ph.D.  
Bentley Systems, Inc.

## RESUMEN

Los Sistemas de Gestión de Bases de Datos Relacionales (Relational Database Management Systems, RDBMS) se han convertido en las principales herramientas para el almacenamiento de información no espacial, incluidos los datos numéricos y las cadenas de caracteres. Por desgracia, los RDBMS de SQL2 han carecido de los tipos de datos, las funciones de manipulación y los niveles de integridad necesarios para soportar debidamente el requisito de información espacial para las aplicaciones GIS in Transportation (GIS-T). Los intentos realizados para aumentar RDBMS con códigos BLOB han sido deficientes por lo que respecta a la integridad, estandarización y "apertura". Actualmente los fabricantes de RDBMS se hacen cargo de la gestión de datos espaciales al nivel de las bases de datos, garantizando su integridad y seguridad, así como una interfaz SQL abierta tanto a los datos espaciales como a los no espaciales tradicionales. Como precursoras de los Tipos de Datos Abstractos SQL3, estas ampliaciones espaciales constituyen un fundamento sólido para las aplicaciones GIS-T y para unos Sistemas de Información de Transporte Integrados (Integrated Transportation Information Systems, ITIS) consistentes.

## INTRODUCCIÓN

Cuando se desarrolla un único programa de aplicaciones para un solo usuario, el almacenamiento de datos persistentes en un archivo específico para dicho programa no plantea ningún problema (Figura 1a). De hecho, es una buena idea. Resulta más sencillo de desarrollar, más fácil de conservar y de optimizar su rendimiento y cuesta menos mantener la integridad de sus datos. La complejidad surge cuando la aplicación debe soportar a varios usuarios al mismo tiempo, cada uno de los cuales necesita acceder y, potencialmente, actualizar los mismos datos persistentes. Se suscitan problemas semejantes cuando otras aplicaciones tienen que compartir estos datos persistentes (Figura 1b).

Una solución viable es rediseñar las aplicaciones de forma que se interconecten con sus datos persistentes a través de un sistema de gestión de bases de datos (database management system, DBMS). El DBMS almacena los datos en sus propios archivos de datos propietarios y gestiona las operaciones de lectura/escritura de bajo nivel basándose en estos datos. De esta manera, el DBMS suministra a las aplicaciones una visualización más sencilla de los datos (Figura 1c). El DBMS permite el acceso concurrente a los datos de varios usuarios y/o aplicaciones.

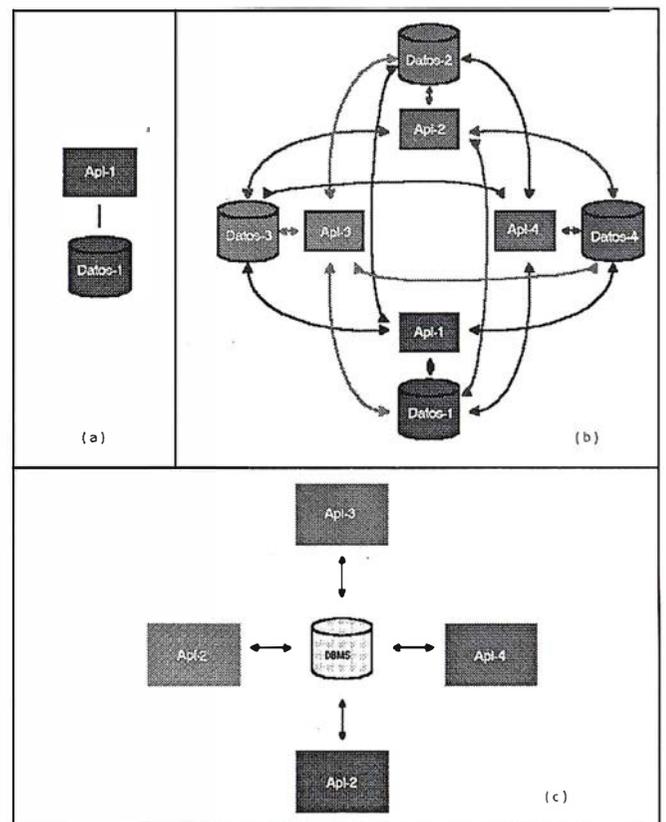


Figura 1. Arquitecturas de aplicaciones: (a) usuario único, aplicación única; (b) compartición de datos por varios usuarios y/o varias aplicaciones; (c) Integración de aplicaciones DBMS

Los DBMSs pueden ser de varias clases, según sus tipos de datos, sus funciones y los mecanismos de integración que proporcionan. El DBMS relacional

(RDBMS) es el más habitual para el desarrollo de aplicaciones nuevas. Gran parte de los datos sigue residiendo en bases de datos heredadas (de legado) jerárquicas y de redes. Los DBMSs orientados a objetos (ODBMS) se están imponiendo de forma creciente, ya que son sistemas de gestión de bases de datos relacionales de objetos (ORDBMS). Claro está que una gran cantidad de los datos siguen manteniéndose en archivos o incluso en papel.

En un RDBMS, la forma más “simple” de visualizar los datos persistentes presentados a la aplicación es en forma de tablas (Figura 2). Cada tabla contiene información sobre un tipo de entidad particular, como carretera o contratista. Una tabla se define como un grupo de columnas, cada una de las cuales representa un atributo de la entidad que se va a almacenar en la tabla. La tabla está llena de filas de información. Cada fila representa un ejemplo único de una entidad, como una carretera o un contratista particulares. En cada fila, se almacena el valor de los atributos definidos por las columnas. El valor de algunas de las columnas correspondientes a una fila determinada puede estar en blanco si dicho valor se desconoce.

		COLUMNAS			
		atributo	atributo	atributo	atributo
FILAS	valor	valor	valor	valor	valor
	valor	valor	valor		valor
	valor	valor	valor	valor	valor
	valor	valor	valor	valor	valor

Figura 2. Visualización lógica de un RDBMS representado como una tabla de atributos de columna con filas de valores de atributos atómicos.

Se dice que los valores de la intersección de una fila y una columna determinadas son “atómicos”. Esto significa que están en el nivel más bajo de gestionabilidad por parte del RDBMS. Conforme al actual estándar SQL’92 para RDBMSs, los tipos de datos atómicos autorizados incluyen números (enteros y reales), cadenas de caracteres y fechas. La funcionalidad de las bases de datos, definida por el lenguaje SQL, está limitada por el tratamiento preceptivo de estos tipos de datos.

Esta limitación de atomicidad es uno de los principales obstáculos para el almacenamiento de información espacial en un RDBMS. Además de números, caracteres

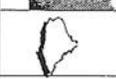
		COLUMNAS				
		[car]	[punto]	[línea]	[polilínea]	[imagen]
FILAS	Faro		(x,y)			
	Puente			(x1,y1),(x2,y2),(x3,y3)		
	Maine				(x1,y1),(x2,y2),(x3,y3),(x4,y4)	
	Maine 2				11,12,13,14	

Figura 3. Información espacial en una tabla RDBMS.

y fechas, en los RDBMS quisiéramos almacenar puntos, líneas, polígonos e imágenes, como en la Figura 3.

Como puede verse en esta figura, se relacionan datos espaciales con tipos de datos de lista y de matriz. El punto que representa la ubicación del faro es una lista de dos coordenadas (x e y). La ubicación lineal del puente es una lista de vértices, siendo cada uno, a su vez, una lista de coordenadas. La demarcación poligonal del estado de Maine puede ser también una lista de vértices. De forma alternativa, la geometría de Maine podría definirse como una lista de los segmentos demarcadores que se han almacenado previamente como líneas. Los datos de imágenes pueden incluir mapas o imágenes ráster. Una imagen es grupo de pixels basado en un formato de imagen determinado.

SQL’92 no soporta listas ni matrices. No hay tipos de datos de lista para las columnas de una tabla. No hay funcionalidad de procesamiento en las operaciones de insertar y actualizar suministradas para introducir y editar datos en una tabla. Por ejemplo, no es posible utilizar SQL para eliminar el segundo punto de una línea ni para añadir un punto nuevo a la demarcación de un polígono. No existen exigencias de integridad basados en listas. No es posible especificar con SQL que los segmentos demarcadores utilizados para definir un polígono (11, 12, 13, 14 de la Figura 3) deben existir previamente en la base de datos como líneas. No hay exigencias de integridad espacial como, por ejemplo, que estos segmentos no puedan cruzarse unos con otros.

Así que, ¿para qué almacenar datos en un RDBMS? Dada la necesidad de soportar varios usuarios y aplicaciones, almacenar datos espaciales en un DBMS resulta lógico. Los DBMSs jerárquicos y de redes están anticuados, los DBMSs de objetos son demasiado nuevos y las bases de datos relacionales de objetos todavía no están todavía disponibles. Los RDBMSs son los DBMS ele-

gidos para muchos otros tipos de aplicaciones y datos. Los usuarios desean almacenar datos espaciales en el mismo lugar que estos otros datos para unificarlos más fácilmente en aplicaciones que requieren tanto datos espaciales como no espaciales. Los RDBMSs ofrecen un diseño sencillo y una base matemática sólida, integridad, seguridad, distribución y capacidad de recuperación.

Por todo ello, tiene sentido explorar la posibilidad de almacenar información espacial en un RDBMS. Tenemos que hallar la manera de afrontar las limitaciones de atomicidad del modelo RDBMS y de los actuales tipos de datos, la funcionalidad y las exigencias de integridad definidos por el lenguaje SQL'92.

### ADAPTACIÓN A LAS LIMITACIONES DE LOS RDBMSs

Se han adoptado diversos enfoques para incorporar datos espaciales en un RDBMS:

1. tablas plenamente normalizadas
2. codificación BLOB (Binary Large Object)
3. tipos de datos definidos por el usuario
4. RDBMS ampliado espacialmente.

#### Tablas plenamente normalizadas

Al diseñar una base de datos RDBMS, debe tenerse en cuenta el concepto de normalización de datos. Hay varios niveles de normalización: las Formas Normales Primera, Segunda, Tercera, Boyce-Codd, Cuarta y Quinta, en ese orden. Los formas son progresivas: para llegar a la Forma Normal Tercera, es necesario haber alcanzado antes la Segunda, además de algunos requisitos adicionales. En una base de datos debidamente diseñada, es aconsejable llegar al menos a la Forma Normal Tercera.

Para estar en la Forma Normal Primera, cada atributo debe ser atómico. Para estar en la Segunda, cada atributo debe ser atómico y funcionalmente dependiente del identificador único de la fila. Para alcanzar la Tercera, ningún atributo puede depender de otro salvo los que contienen el identificador único. Por lo tanto, en una tabla única CARRETERA, no puede haber una columna "contratista" que contenga una lista de contratistas ni otras columnas que definan más atributos de los contratistas, como sus números de teléfono. Esta información debe esparcirse por varias tablas, como CARRETERA, CONTRATISTA y CARRETERA-CONTRATISTA. Un RDBMS le permite unir estas tablas normalizadas a fin de determinar los

#### SEGMENTO DE CARRETERA

ID DE SEGMENTO	GEOMETRÍA CENTRO DE LÍNEA	LONGITUD	OTROS ATRIBUTOS SEGMENTO			
1001	L1	2.47				
2072	L42	3.5				

#### VÉRTICE

ID DE LÍNEA	SECUENCIA DE VÉRTICES	ID DE PUNTO	FINALIDAD	OTROS ATRIBUTOS VÉRTICES			
L1	1	P103	POB				
L1	3	P207	P.T.				
L1	2	P100	P.C.				
L42	1	P207					

#### PUNTO

ID DE PUNTO	X	Y	Z	FINALIDAD	OTROS ATRIBUTOS DE PUNTO			
P103				esquina sección				
P100								
P207				monumento				

Figura 4. Datos espaciales normalizados para carreteras en un RDBMS.

números de teléfonos de todos los contratistas que trabajaron en la C-301.

Normalizar información puede ser una tarea ardua. Es posible generar muchas tablas para una aplicación determinada, tal vez cientos para una sola base de datos. Las consultas SQL resultantes necesarias para unificar esta información pueden ser bastante complejas. La Figura 4 muestra un posible diseño normalizado para almacenar información especial sobre carreteras.

La información sobre segmentos de carreteras, como la longitud real, se almacena en la tabla SEGMENTOS DE CARRETERA. La geometría asociada a la línea central del segmento de la carretera se menciona aquí, pero se define en la tabla VÉRTICES. La geometría de la línea central del segmento de carretera 1001 se define mediante la línea L1. La tabla VÉRTICES muestra qué puntos se utilizan como vértices para definir la línea L1 y suministra información sobre el uso de estos puntos en conjunción con esta línea. Por ejemplo, el punto P207 es un punto de tangencia para la línea L1.

El punto P207 es un vértice para las líneas L1 y L42. El almacenamiento de sus coordenadas en ambas filas

## LOS SERVICIOS

Agricultura

Obras Públicas

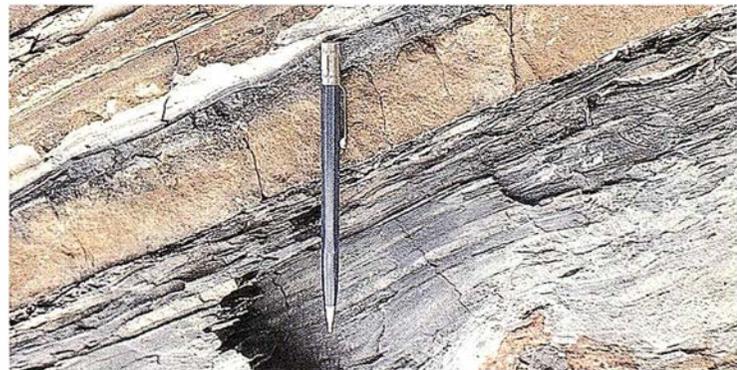
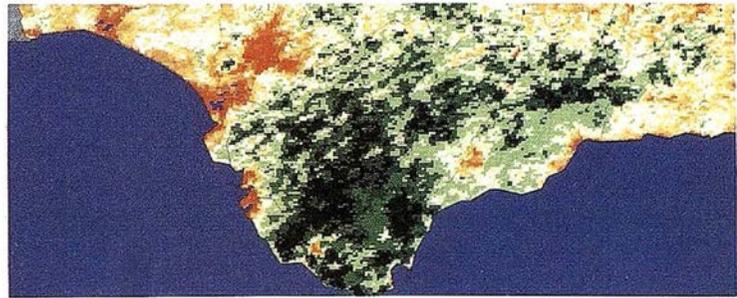
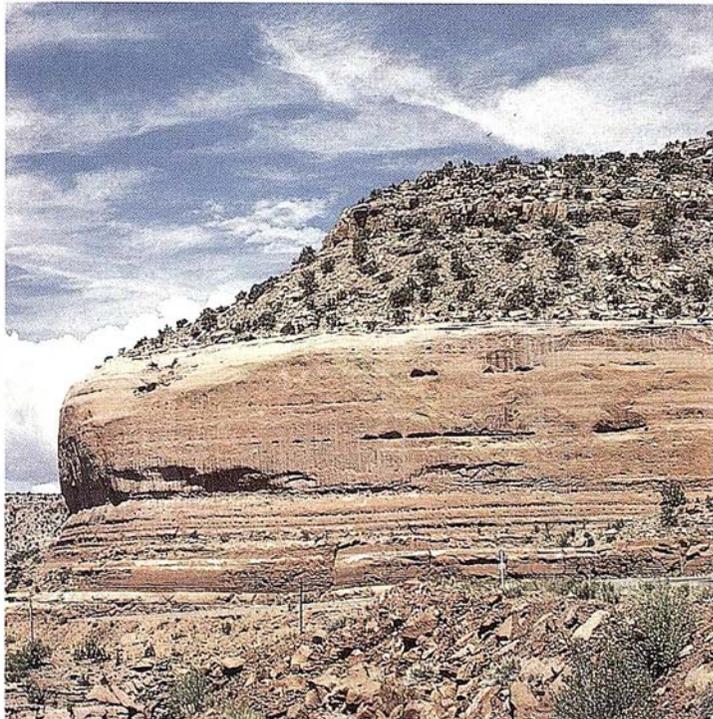
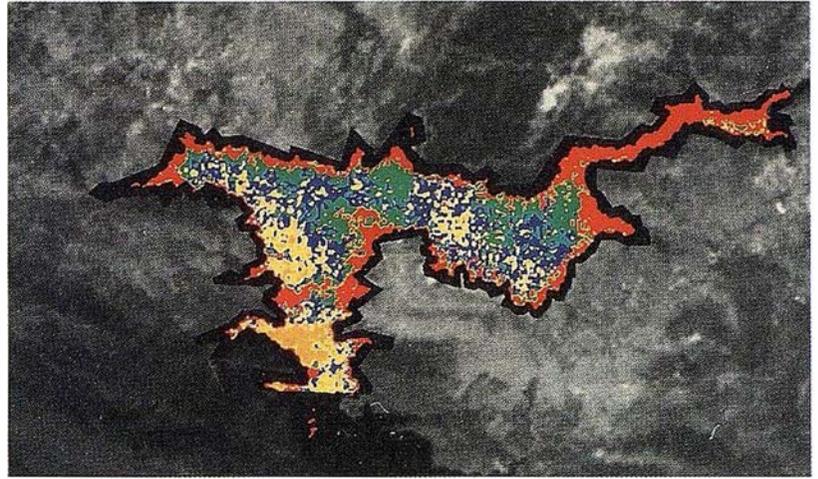
Ingeniería geológica

Ingeniería medioambiental

Investigación minera y petrolera

Hidrogeología

Teledetección



## LOS PRODUCTOS

Estimación de superficies agrícolas: marco de áreas

Estudio de impacto de la sequía

Cartografía de usos del suelo

Cartografía de riesgos geológicos

Restauración de espacios alterados

Gestión del territorio: condicionantes al uso del suelo y subsuelo

Sistemas de caracterización de emplazamientos de depósitos de residuos tóxicos y radiactivos

Proyectos multidisciplinarios en prospección minera y petrolera

Selección de trazados para obras lineales

de la tabla VÉRTICES sería redundante, supondría un derroche de espacio y podría ocasionar problemas de coherencia si se actualizaran cambios de coordenadas en una fila pero no en la siguiente. Tampoco habría espacio para almacenar las coordenadas de un punto a menos que se utilizara como vértice de una línea. Las coordenadas no dependen del vértice de la línea, sino del punto que se utiliza como vértice. Por lo tanto, se normalizan en la tabla PUNTOS.

Dado que una tabla es un conjunto (no una lista) de filas, no existe un orden implícito en la tabla VÉRTICES. Por consiguiente, debe introducirse una columna de secuencias de vértices para que comunique al sistema que la línea L1 pasa por los puntos P103, P100 y P207, en ese orden. El punto P207 es el último vértice de la línea L1 y el primer vértice de la línea L42.

Esta base de datos puede ampliarse rápidamente con tablas adicionales si se va a implementar un diseño plenamente normalizado. Para especificar qué rutas utilizan los segmentos de carretera, se necesita una tabla RUTAS (véase la Figura 5). La normalización le permite especificar que tanto la C-301 como la N-1 utilizan el mismo segmento de carretera, 1001. Los atributos almacenados en relación con los segmentos serán aplicables a todas las rutas que utilicen los segmentos.

Este enfoque normalizado resuelve el problema de limitación de atomicidad en el almacenamiento de datos. No aborda cuestiones como la funcionalidad o la integridad. En SQL no existe la función de procesamiento de listas para añadir otro vértice a la línea L2 entre los dos primeros vértices existentes, garantizar que el nuevo vértice se encuentra en una ubicación distinta de P103 y

#### RUTA

ID DE RUTA	ID DE SEGMENTO	CLASE	OTROS ATRIBUTOS DE RUTA			
C-301	1001	comarcal				
N-1	1001	nacional				
C-301	2073	comarcal				

#### ATRIBUCIÓN DE SEGMENTOS

ID DE SEGMENTO	ATRIBUTO	VALOR	DE	A
1001	límite velocidad	65	0	
1001	firme	asfalto	0	0.5
2073	firme	hormigón	0.5	

Figura 5. Adición de rutas y atribución de segmentos.

de P100, actualizar los números de secuencia de vértices para todos los vértices subsiguientes de la línea y garantizar que la nueva línea no se interseca consigo misma. Esta funcionalidad debería suministrarse en todas las aplicaciones que utilicen estos datos.

### Codificación BLOB

Un método alternativo para almacenar datos espaciales en un RDBMS es codificarlo en cadenas de bits (largas cadenas de ceros y unos). Esto es muy semejante al almacenamiento de archivos propietarios con formato comunes a la mayoría de los Sistemas de Información Geográfica (Geographic Information Systems GIS) independientes. Estos sistemas suscitan la cuestión de la "apertura", que constituye uno de los motivos principales para optar por los RDBMSs.

Con este enfoque se solucionan algunos problemas. El acceso simultáneo mejora al cambiar el bloqueo al nivel de los archivos por el bloqueo al nivel de las filas (entidades). Se eliminan las discontinuidades de las rígidas demarcaciones de mosaicos (archivos). Las ventajas derivadas del aspecto relacional, como la seguridad, la capacidad de recuperación y la distribución están ahora disponibles para los datos espaciales que se almacenarán en la misma base de datos que los no espaciales.

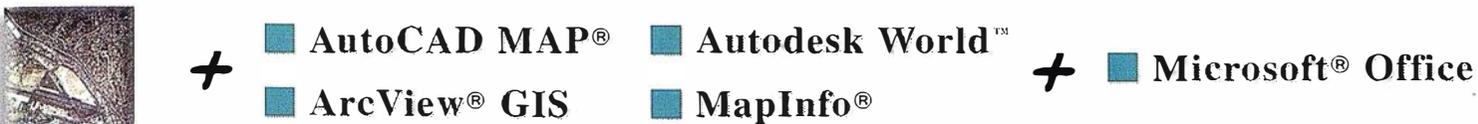
No existe un procedimiento estándar para convertir los datos espaciales en cadenas de bits. Ni siquiera los BLOB son tipos de datos estándar en SQL'92. En consecuencia, los datos no son transportables entre las instalaciones. Todas las aplicaciones que accedan a los datos espaciales deben utilizar el software de codificación para guardar o actualizar los datos espaciales. ES necesario un software de descodificación para todas las aplicaciones que lean estos datos. Si no se aplican las debidas normas de seguridad, los métodos de acceso de los RDBMS nativos pueden eludir el software de codificación/descodificación y corromper la base de datos. Además, al igual que con el procedimiento de normalización, todas las exigencias relativas al procesamiento de listas y a la funcionalidad e integridad deben incluirse en todas las aplicaciones.

### Tipos de datos definidos por el usuario

La próxima generación de RDBMSs basados en SQL (a.k.a. SQL'98), incluirá un juego de tipos de datos más sólido que el que actualmente está disponible con los RDBMSs de SQL'92. Si bien los BLOBs se incluyen en la mayor parte de los RDBMSs que hoy pueden adquirirse, no se van a estandarizar hasta que salga la versión SQL'98. Se ofrecerá un tipo de datos de matriz de longitud variable como solución provisional para los

# ER Mapper 6.0 - Imágenes para su SIG

## La solución "Imágenes para todos"

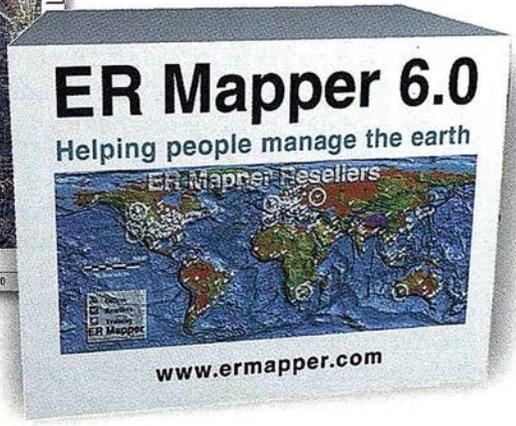


Use archivos de imágenes de cualquier tamaño en su SIG

Dote a su SIG de la ventaja única de los algoritmos de ER Mapper.

Los algoritmos de ER Mapper procesan y muestran su imagen, sin usar el valioso espacio en disco.

Ahora, con ER Mapper 6.0, la potencia de proceso de imágenes de su SIG no tiene límite.



Use imágenes ER Mapper directamente en su SIG con estos "plugins" gratuitos:

- ✓ AutoCAD MAP® Release 3
- ✓ ArcView® GIS Versión 3.1
- ✓ MapInfo v4.5 y v5.0®
- ✓ ER Viewer (visualice imágenes en programas de Microsoft® Office tales como Word y Excel)
- ✓ Autodesk World 2.0™ ("plugin" incorporado)

- ✓ "Plugins" gratis con ER Mapper 6.0 - Los usuarios de SIG/CAD/Office NO necesitan adquirir costosos módulos para visualizar imágenes
- ✓ Distribuya los "plugins" con sus datos - envíe los "plugins" con sus datos para facilitar su visualización
- ✓ Toda la potencia de proceso - cada "plugin" incorpora el "motor" de proceso de ER Mapper completo
- ✓ Sin límite en el tamaño de archivos - visualice el área completa del proyecto en una imagen de alta resolución
- ✓ Distribuya algoritmos de ER Mapper - distribuya imágenes inteligentes para ser vistas con los "plugins"

Descargue hoy estos "plugins" gratuitos de nuestra web

[www.ermapper.com](http://www.ermapper.com)

ER Mapper está soportado por 510 distribuidores en todo el mundo.

No todas las funciones están disponibles en todas las plataformas. Especificaciones de producto sujetas a cambio sin previo aviso.  
Todas las marcas, nombres de compañías y productos son marcas registradas de sus respectivos propietarios y no tienen relación alguna con Earth Resource Mapping Pty. Ltd.

**ER Mapper 6.0**  
Helping people manage the earth  
[www.ermapper-spain.com](http://www.ermapper-spain.com)

Oficina Regional para el Mediterráneo  
Earth Resource Mapping Spain S.L.  
Bailen, 1 - 28280 El Escorial, España  
Teléfono/Fax: +34 91 896 0379  
Email: [Info@ermapper-spain.com](mailto:Info@ermapper-spain.com)

tipos de recopilación de listas, conjuntos de datos y conjuntos múltiples de datos, más sólidos, que se aplazarán hasta la versión SQL4. Gran importancia tendrá la adición de tipos de datos definidos por el usuario, entre ellos los que hasta hace poco se han denominado Tipos de Datos Abstractos (Abstract Data Types, ADTs). Aquí, el usuario puede definir sus propios tipos de datos junto con la funcionalidad asociada a ellos.

Los tipos de datos definidos por el usuario se suministran como ampliaciones de objetos de RDBMS, lo que los convierte en una especie de ORDBMS. Parece como si esta funcionalidad pudiera ser opcional, de forma que no todos los RDBMSs que se ajustan a SQL'98 deben soportar esta funcionalidad adicional de objetos. Para los que sí la soportan, una norma ISO adicional denominada SQL/MM Spatial prescribirá tipos de datos espaciales, como puntos, líneas y polígonos. Incluido en el tipo de datos líneas figurará la funcionalidad necesaria para añadir un vértice intermedio, así como para garantizar la consistencia e integridad espacial resultantes.

Con los tipos y matrices definidas por el usuario, ya no es necesario que la aplicación gestione la codificación/descodificación ni la funcionalidad espacial y ni las ampliaciones de integridad. Se introducen en el sistema de gestión de la base de datos donde no pueden eludirse y donde se consigue un rendimiento óptimo. Las sólidas interfaces SQL/MM Spatial permitirán la transportabilidad de aplicaciones entre productos RDBMS y GIS heterogéneos.

### RDBMS ampliado espacialmente

Hasta que estén disponibles los productos RDBMS y GIS de SQL'98 y SQL/MM Spatial, es posible emplear otro procedimiento para almacenar datos espaciales en un RDBMS. Dado que utiliza tipos de datos SQL'92 estándar, es más abierto que el procedimiento de codificación BLOB. Se basa en ampliaciones del RDBMS subyacente, en lugar de añadir toda la funcionalidad espacial a un nivel situado por encima del RDBMS, mejorando la integridad, la seguridad, el rendimiento y la transportabilidad.

Estas ampliaciones de productos RDBMS existentes se denominan de diversas maneras. Oracle las llama "cartuchos" (cartridges), Informix "palas de datos" (data blades) y para IBM DB2, son "alargadores" (extenders). El concepto es similar: reunir varios tipos y funciones de RDBMS existentes para crear tipos de niveles supe-

riores con la funcionalidad específica para una necesidad particular. Para Oracle, el "Cartucho Espacial" (a.k.a. Spatial Data Option o SDO), permite el almacenamiento de puntos, líneas y polígonos en un RDBMS de Oracle 7.3 o posterior.

Oracle proporciona la definición esquemática para crear tablas necesarias para almacenar datos geométricos del tipo de puntos, líneas y polígonos y para unificar estos datos con los no espaciales que también se guardan en las tablas RDBMS. Oracle también suministra funcionalidad espacial e indexación para manipular la información unificada. La función `SDO_GEOM.ADD_NODES`, por ejemplo, almacena puntos en una tabla geométrica. `SDO_GEOM.RELATE()` determina la relación espacial entre dos elementos geométricos, por ejemplo, si se tocan, superponen o si uno de ellos contiene al otro.

## SERVIDORES DE APLICACIONES

¿Son los "cartuchos", "alargadores" y "palas" suficientes para las aplicaciones GIS-T (GIS in Transportation)? Aunque los RDBMSs ampliados espacialmente constituyen un paso importante en la solución del problema del almacenamiento de datos espaciales en un RDBMS, aún existe una funcionalidad adicional. Esta funcionalidad es independiente del tipo de almacenamiento permanente y del software de cliente de usuario final que se seleccione. Al suministrar esta funcionalidad a un nivel intermedio, de servidor de aplicaciones, puede utilizarse para unir almacenes y clientes dispares.

Un buen ejemplo de tal funcionalidad es el Flow Network Server. El procedimiento tradicional consiste en convertir a la red en un almacén permanente. El problema que esto plantea es que cada aplicación particular puede necesitar un modelo de red distinto para su utilización. Un simple modelo de vínculo/nodo de las principales intersecciones puede bastar para algunas de las aplicaciones de ruta más breve. Pero es probable que una aplicación de permisos y encañamiento necesite saber más de las rampas de cada intercambio para desviar el tráfico conforme a restricciones de carga o tamaño. Es probable que una aplicación de optimización de encañamiento tenga que operar al nivel máximo para determinar las rutas óptimas que minimizan la sobrecarga. Un nivel de aplicación Flow Network Server puede

# SYSIMAGE Y TIN/CIP

Ortofoto e Interpolación  
de curvas

## DiAP

Restituidor Digital

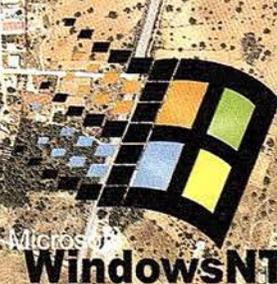
Más de 40  
Restituidores Digitales  
instalados en España

## ATM

Módulo de  
Aerotriangulación

## XL VISION

Escáner Fotogramétrico



IsmEurope S.A  
Passeig Fabra i Puig, 46  
08030 Barcelona  
www.ismeurope.com

Tel : 34 3 274 27 31  
Fax: 34 3 274 07 05  
Email: sales@ismeurope.com



Figura 6. Los servidores al nivel de las aplicaciones soportan la integración del ciclo vital de la utilidad Transporte (Transportation Facility)

generar la red necesaria para un almacenamiento exhaustivo, basado en las necesidades específicas de los clientes.

El producto Bentley Model Server Continuum™ es otro ejemplo de RDBMS ampliado espacialmente. A los datos espaciales que se almacenan utilizando el Cartucho Espacial de Oracle se accede mediante la capa Continuum y se convierte rápidamente en varios formatos de cliente, incluidos los productos MicroStation™ de Bentley, ESRI ArcView y los navegadores de Web Netscape.

Los Sistemas de Información de Transporte Integrados (Integrated Transportation Information Systems, ITIS) proporcionarán los medios para integrar las diversas fases del ciclo vital de la utilidad: planificación, diseño, construcción, funcionamiento, mantenimiento y retirada (véase la Figura 6). Los RDBMSs espacialmente ampliados y aumentados con servidores de aplicaciones como Flow Network Generator y ModelServer Continuum constituyen la base para un ITIS.

## CONCLUSIONES

Durante mucho tiempo los datos espaciales han estado recluidos en archivos de propietarios pertenecientes a diversos productos GIS. A medida que estos datos se ven afectados por la corriente dominante de la tecnología de la información, se hace necesario abrir estos datos para unificarlos con datos no espaciales y para someter-

los a la gestión de un DBMS. Como parece que, al menos por el momento, el modelo preferido de DBMS es el RDBMS, se hace necesario diseñar métodos para almacenar información espacial en un modelo de datos hasta el momento insuficientemente equipado para tal fin.

La utilización de un RDBMS SQL'92 en bruto con tablas plenamente normalizadas exige que las aplicaciones suministren funcionalidad espacial y gestión de la integridad. La ocultación de datos espaciales en BLOBs tiene un inconveniente similar, además de exigir una capa de software inconsistente y probablemente eludible de codificación/descodificación para interpretar cómo se han almacenado los datos. Los tipos definidos por el usuario de SQL'98 mediante SQL/MM Spatial proporcionarán funcionalidad espacial dentro del RDBMS donde mejor puede aprovecharse y controlarse.

Por el momento, las ampliaciones de datos espaciales que se ofrecen con los productos RDBMS, como el Cartucho Espacial de Oracle, suministran ese tipo de funcionalidad dentro de las limitaciones de SQL'92 pero con un enfoque progresivamente compatible. Cuando se aumentan mediante productos de servidores de aplicaciones, estos RDBMSs espacialmente ampliados proporcionan una sólida base para los Sistemas de Información de Transporte Integrados que pueden permitir la integración del método del ciclo vital de la utilidad de transporte.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ashworth, M. (ed.), (ISO Committee Draft) SQL Multimedia and Application Packages (SQL/MM) - Part 3: Spatial, ISO/IEC JTC1 WG3, 1997.
- Bentley, Technology and the Transportation Facility Life Cycle Approach, Highway Engineering Exchange Program (HEEP) Area I presentation, Bentley Systems, Inc., Exton, PA, 1997.
- Goode, L y P. Scarponcini, ModelServer Continuum: Unified Data Storage in a Spatially Extended RDBMS, Bentley Systems, Inc., Exton, PA, 1997.
- Melton, J. (ed.), (ISO Committee Draft) Database Language SQL - Part 2: Foundation (SQL/Foundation), ISO/IEC JTC1 WG3, 1997.
- Oracle, Oracle7 Spatial Data Option User's Guide and Reference, Oracle Corporation, Redwood City, CA, 1997.

# APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL DE ALTA RESOLUCIÓN A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

**Manuel Campomanes Camino.**

**Ingeniero Agrónomo. Sistemas e Instrumentación. DRAGADOS INDUSTRIAL.**

## Introducción

Si una imagen vale más que mil palabras, ¿Qué se puede decir de 600 imágenes tomadas diariamente desde 600 Km de altitud, con una resolución espacial de un metro, que cubren áreas de la superficie terrestre de 400 Km<sup>2</sup>, actualizadas cada uno o dos días, con capacidad estereoscópica y multiespectral?

Esta es la pregunta que nos va a tocar responder en los próximos años si finalmente se ponen en órbita los satélites comerciales de observación cuyo lanzamiento está programado para antes del año 2000.

Con el levantamiento de las restricciones a la teledetección comercial, tres empresas privadas norteamericanas, a las que seguramente se unirán otras más a partir del año 2000, están compitiendo en esta carrera espacial por conquistar el mercado de la información geográfica. Un mercado que mueve más de 2.000 millones de dólares anuales y cuya tasa de crecimiento se sitúa en torno al 20% anual (1).

En el sector se espera con expectativa la aparición de estos productos. Para los usuarios de Sistemas de Información Geográfica la integración de imágenes obtenidas por teledetección supone grandes ventajas porque incrementan la utilidad de la información proporcionada por un mapa vectorial clásico.

## El camino hacia la integración

Desde la aparición del primer Sistema de Información Geográfica, hace treinta años en Canadá, cada nuevo desarrollo y cada nuevo avance tecnológi-

co han significado un aumento del número de aplicaciones realizadas por estas herramientas de gestión y análisis de datos espaciales.

La teledetección espacial y los Sistemas de Información Geográfica han tenido un desarrollo paralelo: Ambas técnicas surgieron en los años 60 con una orientación medioambiental. A partir de los años 70 se difunden las imágenes del satélite Landsat, y se empiezan a utilizar como un apoyo auxiliar a los SIG, tanto por el aporte de información espacial, como por su no menos valiosa capacidad de proporcionar información espectral.

En la última década han empezado a utilizarse términos como Sistemas de Información Integrados (Wilkinson y Fischer, 1987) y Análisis Espacial Integrado (Davis y Simonett, 1991) para referirse a herramientas comunes de análisis espacial capaces de recibir de forma directa los datos procedentes de sensores remotos.



Fuente: Kevin P. Corbley. Corbley Communications

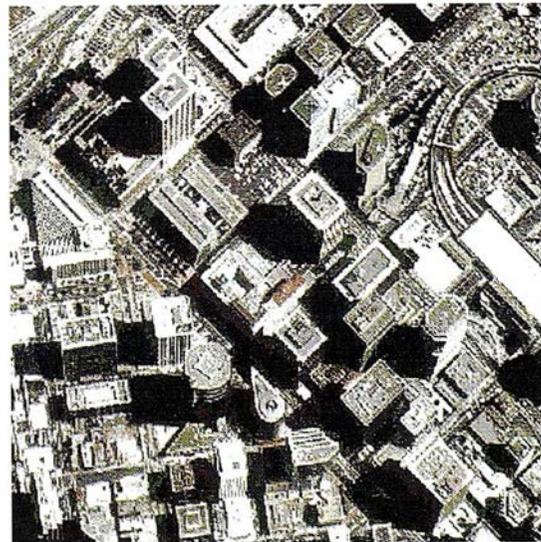


Imagen de 1 m de resolución del centro de S. Francisco (EEUU). Fuente: Space Imaging

En un SIG se pueden añadir sobre un mapa base, muchas capas de información de diferente origen, almacenarlas y mostrarlas según nuestra necesidad. La información que nos ofrece una imagen digital tomada desde un satélite puede integrarse directamente en un SIG para incluir una nueva capa de información.

La naturaleza intuitiva de las imágenes espaciales de 1 metro de resolución y su cobertura global y periódica, combinada con la precisión de un mapa vectorial y la flexibilidad de los formatos digitales presenta grandes ventajas para la explotación de un SIG.

## Requisitos de la teledetección comercial

El uso de imágenes de satélites para el desarrollo de un SIG presentan una serie de problemas que han dificultado su difusión:

- ▣ Baja resolución espacial.
- ▣ Periodos entre obtención de imágenes demasiado largos.
- ▣ Ausencia de capacidad estereoscópica.
- ▣ Dificultad en el manejo de formatos.
- ▣ Coste elevado.
- ▣ Difícil acceso.

En los próximos años, varios satélites de observación van a ser puestos en órbita para capturar imágenes espaciales de alta resolución con fines comerciales. Algunos de estos satélites se lanzarán dentro de pocos meses.

Los nuevos sensores han sido diseñados para mejorar la resolución espacial y temporal de las imágenes tomadas, se sitúan en órbitas de baja altitud y aseguran resoluciones de 1 metro. Muchos de ellos proporcionarán fotos estereoscópicas y también multi-espectrales.

Para que los nuevos sistemas espaciales tengan éxito deberán combinar las ventajas de los medios actuales, junto con una mayor calidad y facilidad de manejo y así conseguir que los usuarios trabajen mejor, alcancen sus objetivos más rápido y con un menor coste.

### Resolución

La resolución espacial esperada es de 1 metro, en imágenes en blanco y negro, y 4 metros para las imágenes multis-

pectrales (color). Recogerán datos en el espectro visible e infrarrojo próximo, tomando varias bandas.

A este nivel de resolución se pueden conseguir distinguir carreteras, casas, calles y automóviles. Por primera vez sensores espaciales, con fines comerciales, podrán capturar imágenes con una resolución comparable a la de una fotografía aérea.

### Intervalo entre imágenes

Las órbitas seguidas por estos satélites les permitirán cruzar el planeta aproximadamente cada 3 horas, descargando cientos de imágenes al día, con un intervalo entre imágenes de entre 12 a 72 horas.

El tiempo de entrega de estas imágenes dependerá en gran medida del número de estaciones de operación de que dispongan las empresas proveedoras, la velocidad de los procesadores de imágenes y su red comercial. Sin duda, los servicios de Internet facilitarían este trabajo.

### Coste

La comercialización de las imágenes de alta resolución debe tender a ofrecer unidades de pequeño tamaño, con menor requerimiento de hardware y, por consiguiente, más económicas y manejables.

## Acceso a la alta resolución espacial

Durante la pasada década y hasta el momento, elegir qué tipo de imágenes de

satélite vamos a utilizar es una decisión simple y clara: ¿Landsat o SPOT?. La respuesta suele basarse en qué es más importante para nuestra aplicación, detalles espaciales o información espectral.

La elección de las imágenes de satélite puede resultar más complicada a partir del año próximo.

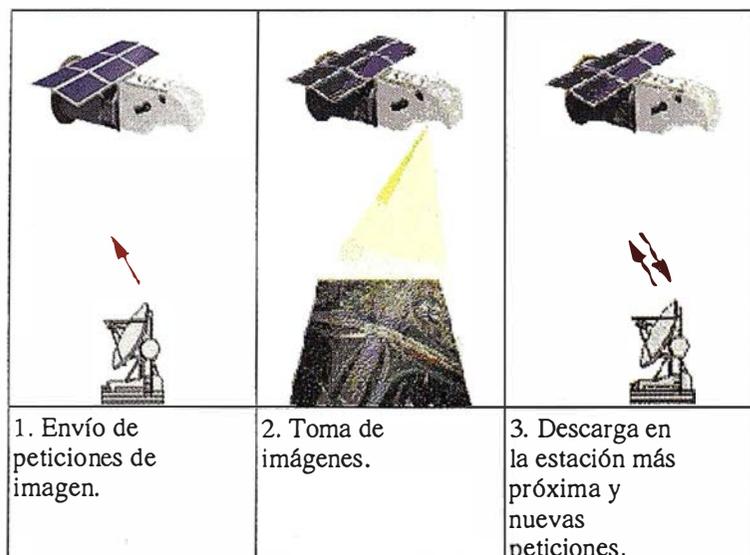
Desde hace tan solo cuatro años, con la eliminación de las restricciones a la teledetección comercial, varias empresas privadas están compitiendo en la carrera espacial de los satélites de órbita baja.

Este tipo de satélites de observación se fabrican con fines comerciales y gracias a su bajo coste, en comparación con los satélites de las grandes agencias espaciales, alta resolución y cortos intervalos entre muestreos, van a acaparar la atención del mercado de los Sistemas de Información Geográfica en los próximos años.

Las tres empresas que van en cabeza de esta carrera son norteamericanas: EarthWatch (Longmont, Colorado), Space Imaging (Thornton, Colorado) y Orbimage (Dulles, Virginia).

### EarthWatch

Fundada en 1995, por WorldView Imaging y Ball Aerospace & Technologies Corp., es la primera empresa que obtuvo el permiso del gobierno americano para construir y operar un sistema de observación de la Tierra desde el espacio



Fuente: DigitalGlobe (EarthWatch)

obteniendo imágenes digitales de alta resolución.

El 24 de diciembre de 1997 puso en órbita el satélite EarlyBird, primer satélite comercial de observación de alta resolución (3 m pancromática y 15 m multiespectral). Además fue el primera satélite comercial lanzado desde el cosmódromo de Svobodny (Rusia) utilizando misiles balísticos intercontinentales reciclados para uso civil. Sin embargo diversas anomalías en su sistema de alimentación provocaron fallos de comunicación y su pérdida definitiva en Marzo de este año.

Actualmente EarthWatch ultima la construcción del primero de los dos satélites QuickBird, cuyo lanzamiento esta programado para el año próximo, que suministrarán imágenes en blanco y negro (pancromáticas) de 1 m de resolución y en color (multiespectrales) de 4 m mediante sus tres estaciones de operación situadas en Alaska, Noruega y EEUU, para enviar ordenes a los satélites y recibir las imágenes después de cada órbita.

La comercialización de imágenes se realizara de tres formas:

- ☐ Directamente en EEUU
- ☐ A través de sus distribuidores en el resto del mundo
- ☐ En Internet por medio de un catalogo electrónico.

#### **Space Imaging**

Se formó en 1994 para comercializar tecnologías de observación de la Tierra. En 1996 adquirió la empresa Earth Observation Satellite (EOSAT) que comercializaba el famoso programa espacial Landsat del Gobierno norteamericano. EOSAT ha estado ofreciendo durante una década imágenes espaciales de alta calidad al mercado mundial.

Cuenta con dos satélites gemelos de alta resolución, IKONOS-1 e IKONOS-2, en construcción. El primero esta diseñado para tomar imágenes en blanco y negro con un metro de resolución e imágenes multiespectrales (color) con cuatro metros de resolución. IKONOS-2, su satélite gemelo, estará preparado para el año próximo.

Los usuarios podremos acceder a estas imágenes utilizando el archivo di-

gital de la empresa, una colección de imágenes recogida regularmente, o bien, hacer pedidos especiales directamente al satélite, a través de un centro de operación, para que recoja imágenes personalizadas.

La distribución mundial se realiza en cuatro estaciones de operación: Norman (EEUU), Shadnagar (India), Neustrelitz (Alemania) y Chung-Li (Taiwan). Recientemente se ha formado Space Imaging Europe, S.A., con sede en Atenas (Grecia), para dar servicio al mercado europeo.

#### **Orbimage**

Filial de Orbital Sciences Corporation, es una empresa especializada en el suministro de tecnología, productos, sistemas y servicios de información geográfica. Esta empresa tiene actualmente dos satélites en órbita:

OrbView-1, satélite meteorológico lanzado en 1995, y OrbView-2 que desde el año pasado suministra imágenes multi-espectrales (color) tanto de la superficie terrestre como de los océanos.

En los próximos dos años tienen previsto poner en órbita otros dos satélites: OrbView-3, previsto para 1999, ofrecerá imágenes de alta resolución, 1 m pancromática y 4 m multiespectral y OrbView-4 cuyo lanzamiento esta previsto para el año 2000. Además de las características de su inmediato antecesor, proporcionará también imágenes digitales hiperespectrales.

Desde cualquier lugar del mundo se pueden obtener estas imágenes de tres formas distintas:

- ☐ Descargándolas en tiempo real de su red de estaciones.
- ☐ A partir de los distribuidores autorizados.
- ☐ Imágenes individuales del servicio "on-line".

#### **Programa Cosmos de la Agencia Espacial Rusa**

Es el único programa público que comercializa imágenes espaciales con una resolución de 1 metro. Aunque originariamente el programa Cosmos (1987) fue exclusivamente militar, y por tanto mucha de la información es confidencial, hoy en día se pueden adquirir imágenes de archivo e incluso existe la po-

sibilidad de obtener servicios bajo demanda.

## **Impacto en los Sistemas de Información Geográfica**

Para los usuarios de SIG una mayor resolución se traduce en mayor nivel de detalle y mayor información, resultando un incremento en la utilización de estas imágenes en todas las áreas de aplicación.

Con el lanzamiento de esta nueva generación de satélites el volumen y la calidad de información derivada de las imágenes espaciales se incrementará sustancialmente y proporcionarán la base geográfica para muchos SIG existentes y otros de nueva aplicación.

#### **Cartografía Digital y Catastro**

Las imágenes de satélites que, por sus imprecisiones, no solían ajustarse a las necesidades de este sector, van a poder ser utilizadas gracias a los nuevos sensores. Estos sistemas consiguen eliminar los errores visibles en la posición absoluta de los detalles recogidos para crear mapas precisos y con gran riqueza de contenido. La combinación de mapas catastrales con imágenes espaciales da lugar a lo que algunos especialistas llaman "mapas de imágenes" que podrían utilizarse para sustituir o complementar a mapas de escala 1:50.000 y 1:10.000.

#### **Medio ambiente**

La disponibilidad en el mercado de imágenes espaciales precisas es una herramienta importante para hacer un seguimiento de los fenómenos de erosión, deforestación, lluvia ácida, vertidos tóxicos, derrames de crudo y fugas incontroladas etc., y determinar su impacto a largo plazo sobre la vida salvaje y la vegetación.

#### **Gestión de Recursos Naturales**

En contraste con los métodos aéreos convencionales, los sistemas espaciales cubren áreas más extensas y con una frecuencia superior. Las imágenes de alta resolución crearán archivos de información, consistente y precisos.

Para las empresas dedicadas al suministro de agua, por ejemplo, la disponibilidad de imágenes comerciales de

alta resolución y capacidad multiespectral les va a suponer un mayor nivel de definición y detalle. Hasta el momento se han utilizado imágenes del satélite Landsat TM que sirven para identificar grandes áreas como regadíos, campos de golf, parques, etc. Con imágenes de mayor resolución se pueden superponer mapas vectoriales para identificar parcelas y asociar bases de datos de usuarios o de registros históricos climáticos.

### **Desarrollo Local y Urbanismo**

Los nuevos satélites permitirán hacer una evaluación continua de las infraestructuras locales y regionales, el crecimiento urbano, el retroceso de los hábitat naturales, las transformaciones agrarias o la necesidad de nuevas vías de comunicación. Si las imágenes actuales nos permiten identificar las áreas sometidas a proceso de cambio, con las imágenes de alta resolución se podrán identificar las causas del cambio.

Con un metro de resolución los urbanistas podrán distinguir casas, calles, marquesinas de autobuses, paseos, canales, e incluso podrán determinar el estado de un pavimento o las plazas de estacionamiento disponibles.

### **Agricultura**

El término precisión se ha unido en los últimos años al de la agricultura, una actividad que recientemente ha incluido entre sus medios productivos los Sistemas de Información Geográfica, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y las imágenes de satélites para mejorar su eficiencia en la aplicación de fertilizantes, fitosanitarios y agua.

Los agricultores deben tener información sobre las condiciones del suelo y de sus cultivos para poder planificar sus labores. Con imágenes espaciales de un metro de resolución tendrán una nueva ayuda para aplicar la correcta cantidad de productos ahorrando dinero y mejorando sus tierras.

### **Obras Públicas y Servicios**

Entre las aplicaciones específicas en el sector de la construcción se encuentran todas las referentes a ingeniería y gestión de vertederos, tendidos eléctricos, vías férreas, carreteras, oleoductos, ga-



Fuente: Kevin P. Corbley. Corbley Communications

seoductos, conducciones de agua y a todo tipo de instalaciones.

### **Telecomunicaciones**

La precisión espacial es un elemento crítico en el diseño, planificación y construcción de las redes de telecomunicaciones. En los próximos años las empresas del sector instalarán en España varias redes celulares de telefonía móvil y cientos de kilómetros de cables de fibra óptica y coaxiales para llevar las comunicaciones a los hogares y oficinas de sus clientes suministrando servicios de telefonía, televisión por cable, Internet, correo electrónico, videoconferencia, comercio electrónico, etc.

Para Sean Curry, director de la empresa Pacific Bell, operadora global de comunicaciones en California, las imágenes espaciales de alta resolución son una fuente de datos menos costosa que las utilizadas en actualidad para la ingeniería de redes -"Con imágenes de un metro de resolución se podría reducir el coste de adquisición y preparación de datos, así como las horas de ingeniería de campo empleadas"-.

Actualmente Pacific Bell, al igual que otros operadores de telecomunicaciones, utilizan SIG con parcelarios digitalizados para diseñar y gestionar sus redes urbanas. Pacific Bell está elaborando un proyecto piloto que combina imágenes de satélites de alta resolución y mapas vectoriales para elaborar su base de datos. El objetivo es proporcio-

nar mayor información a los operarios de mantenimiento para que puedan localizar más fácilmente los lugares en que tienen que intervenir y se disminuya el tiempo empleado en estas operaciones.

### **Transportes**

Gestión de flotas, planificación de rutas, logística de la distribución, son actividades en las que la utilización de un SIG resulta muy útil y, por tanto, la disponibilidad de imágenes espaciales de alta resolución será beneficiosa.

Entre otras aplicaciones interesantes también se encuentra: Planificación de Servicios de Emergencia y Protección Civil, Geomarketing, Educación, Turismo, Ocio, Servicios Inmobiliarios, Simulación y Visualización, Medios de comunicación, Publicidad, etc.

## **Referencias**

- Corbley, Kevin P. "One-Meter Satellites: Expanding Imagery for GIS". Corbley Communications
- Chuvieco, Emilio. "Teledetección Espacial y SIG: Una conexión necesaria". Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá de Henares.
- Green, Kass. "Panacea or Pandoras Box?. How New Satellites Will Affect Our View of the World". Pacific Meridian Resources.
- Nale, David K. and Thurgood, Jolyon D. "Integrating Space-Based Imagery With GIS Land Base Data Sets". GIS World v. 9, nº 6, pag. 58-60.
- Short, Nicholas M. "Commercialization of Space Remote Sensing". Goddard Space Flight Center. NASA.
- Stoney, William E. "Land Sensing Satellites in the Year 2000". International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). August 7, 1997.

(1) GIS Strategies, Vol. 3, nº 2.

**Este artículo es un extracto del Proyecto fin de Máster SIG II de Ciberanos Consulting S.A. (97-98) realizado por el autor.**

# EVOLUCIÓN DEL USO DE LA TIERRA E IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE CONFLICTO EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE, MUNICIPIO DE UBATUBA, S.P., BRASIL

Beatriz Costa Gorriz.  
Unidad de Ecología Funcional, Facultad de Ciencias,  
Universidad de la República, Uruguay.

Daysi Vilamajó Alberdi. Centro Nacional de  
Biodiversidad. Instituto de Ecología y Sistemática.

Silvana Amaral. DPI - INPE  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

## RESUMEN

El Municipio de Ubatuba, en el estado de São Paulo, posee el 85% de su territorio comprendido dentro del "Parque Estadual Serra do Mar" con el fin de lograr la conservación de los últimos remanentes de la Mata Atlántica. Sin embargo, los usos inadecuados del suelo, debido principalmente a la expansión urbana, ponen en riesgo el mantenimiento de la Mata Atlántica y sus ecosistemas asociados. El objetivo del presente trabajo fue realizar una evaluación de la cobertura vegetal y usos del suelo en el período 1992, 1994 y 1995, determinar los cambios ocurridos en este período e identificar las áreas con conflicto de uso en la Cuenca del Río Grande con especial énfasis en la pérdida de la Mata Atlántica. Esto se realizó mediante el uso de técnicas de sensores remotos y la integración y manejo de datos en el Sistema de Información Geográfica Spring. Utilizando las imágenes Landsat TM clasificadas, de los años 1992 y 1994 y 1995, se realizó el análisis multitemporal; para identificar espacial y cuantitativamente los cambios en la cobertura vegetal y usos del suelo en este período. Mediante el uso de operaciones booleanas y cruzamientos entre los planos de información correspondientes a los cambios del uso del suelo, a la topografía y red de drenaje generados, se identificaron las áreas cuyo uso no se corresponde con el establecido por la normativa vigente. De esta forma, la metodología utilizada permitió discriminar de modo satisfactorio los cambios de cobertura vegetal y usos del suelo. Posibilitó también determinar su evolución en el período de estudio e identificar las áreas cuyos usos no se corresponden con la normativa vigente, atendiendo entonces contra los objetivos de conservación del ecosistema en estudio.

## INTRODUCCIÓN

A principios del siglo, la Mata Atlántica y sus ecosistemas asociados cubrían alrededor del 12% del territorio brasileño, pero actualmente solo cubre el 8,81% de su superficie original (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 1993). Esta situación refuerza

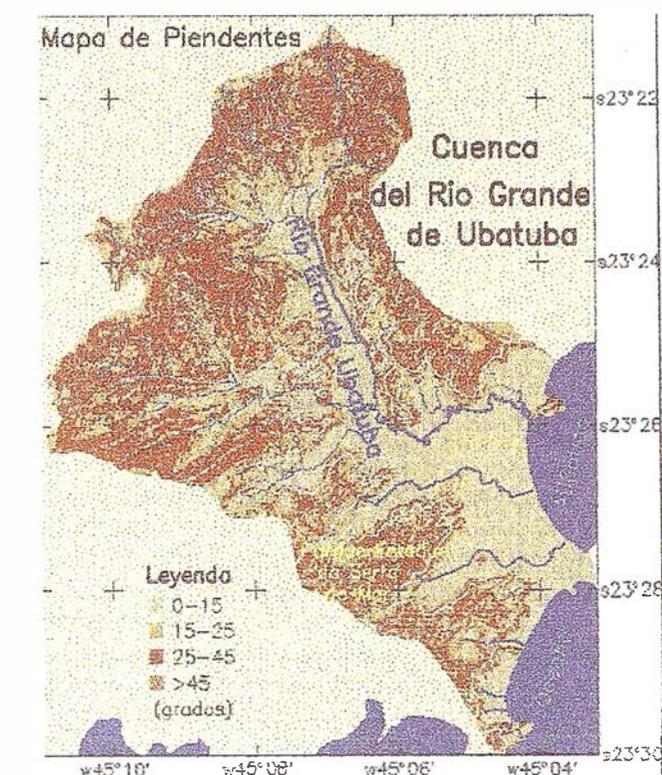


Figura 1 - Mapa de pendientes de la cuenca del Río Grande - Ubatuba.

za la necesidad de una política de conservación de este importante ecosistema boscoso.

Con el objetivo de lograr la conservación de los remanentes forestales de la Mata Atlántica, fue creado por el Gobierno del Estado de São Paulo, el "Parque Estadual da Serra do Mar", delimitado a partir de la cota altimétrica de 100 m (Decreto Estadual no. 10.251, de 20/08/1977), complementado por el Código Forestal (Ley 4771/65), en que se regulan entre otros, la franja de vegetación que debe ser conservada en la ribera de los ríos.

El Municipio de Ubatuba - S.P., posee alrededor del 85% de su territorio comprendido en el área del Parque. Sin embargo, la gran expansión urbana del municipio (Vieira, 1992) y los usos inadecuados que ésta genera (SEADE, 1988), son factores que ponen en riesgo los objetivos de conservación del Parque Estadual, así como el mantenimiento de este y otros ecosistemas fuera de sus límites. En este contexto, el conocimiento y monitoreo de la cobertura vegetal, uso de la tierra y tendencias actuales de cambio, son de fundamental importancia para determinar las estrategias de conservación.

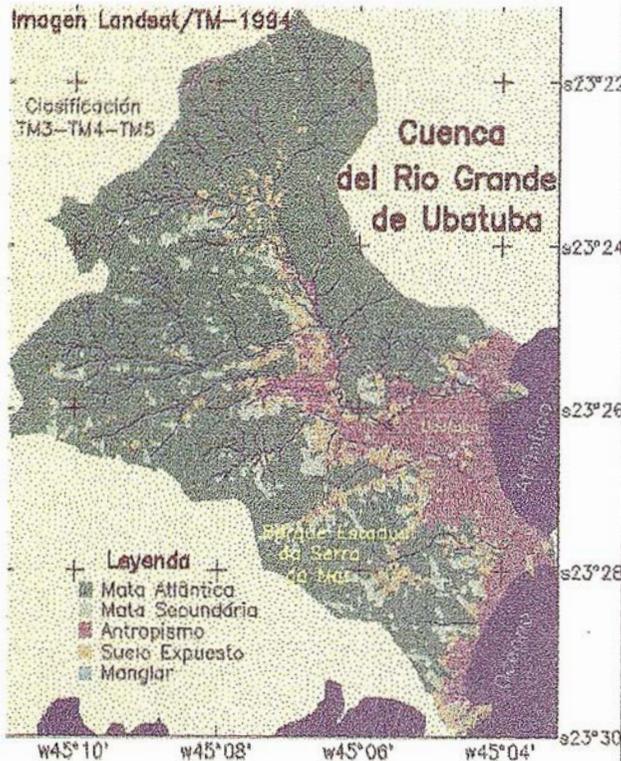


Figura 2 - Clasificación de usos del suelo. 1994.

El objetivo de este trabajo es presentar la metodología y los resultados de un ejercicio de monitoreo de la cobertura vegetal y uso de la tierra en la cuenca del Río Grande, Municipio de Ubatuba. Para esto se propone el uso de técnicas de sensores remotos y la integración de datos al Sistema de Información Geográfica para determinar la evolución de uso de la tierra.

Como objetivo específico, se determinó la evolución de uso de la tierra cuantitativa y espacialmente, con especial énfasis en la pérdida de Mata Atlántica en el período 1992-1995. Se identificaron las áreas con conflicto de uso en función de la normativa vigente.

### ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el Municipio de Ubatuba (S.P.) y se extiende entre las coordenadas: 45o 10' y 45 o 02' de longitud oeste y 23 o 31' y 23 o 21 de latitud sur.

El área seleccionada se encuentra comprendida en la cuenca hidrográfica del Río Grande y la cota altimétrica máxima alcanza los 1074m. Esta región presenta un relieve con grandes diferencias altimétricas y laderas con pendientes muy pronunciadas. Los ríos son cortos, angostos y de caudal torrencioso, en general no desarrollan planicies litoráneas. El ecosistema dominante es la Mata Atlántica y queda comprendido dentro del Parque Estadual a partir de la cota altimétrica de 100 m (Donzeli et al 1992).

### MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron utilizadas como base cartográfica las Cartas Topográficas del Estado de São Paulo, en la escala de 1:10.000, (1978), Instituto Geográfico y Cartográfico (IGC), CAR/SEP-

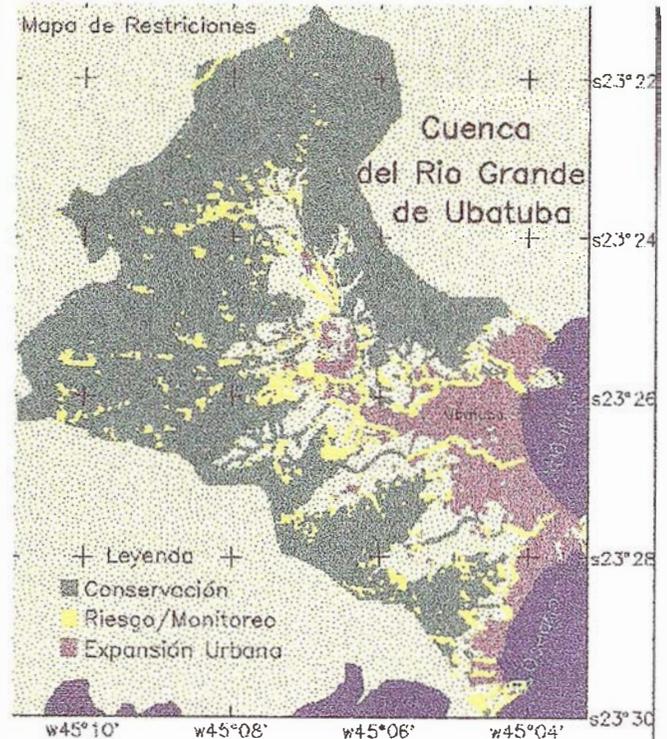


Figura 3 - Mapa de cambios de uso del suelo 1992, 1994 y 1995.

División de Geografía; elaboradas en base a fotografías aéreas del año 1977.

Fue utilizado el software SPRING - Sistema de Procesamiento de Información Georeferenciada (Cámara, 1996),

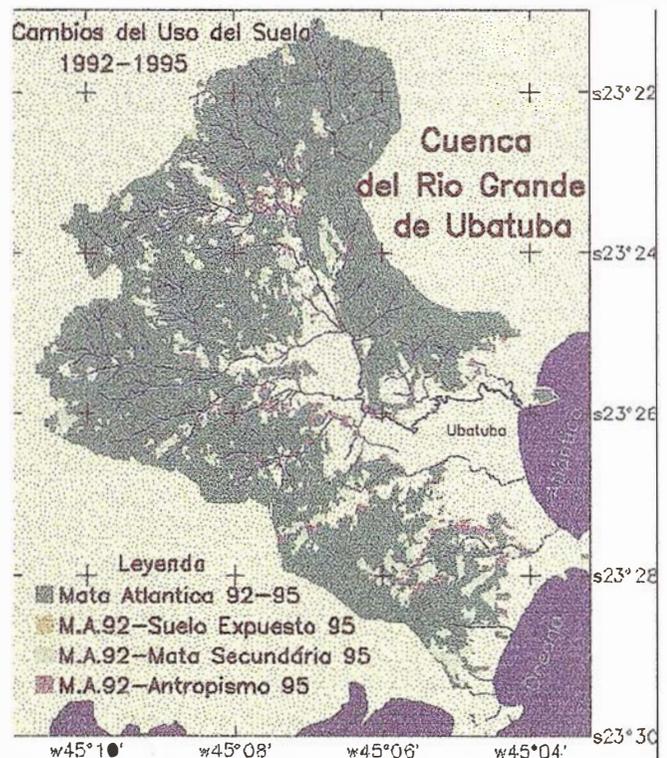


Figura 4 - Mapa de restricciones de uso en la Cuenca del Río Grande.

para manipulación geográfica de datos y procesamiento digital de imágenes.

A partir de la base cartográfica se obtuvieron las informaciones de la red hidrográfica y topografía que fueron digitalizadas constituyendo planos de información. El mapa de drenaje fue utilizado para generar un mapa de distancias a partir de los ríos, identificando áreas que deberían ser conservadas según lo establecen las leyes mencionadas.

A partir de las isólinas y puntos de elevación del terreno, digitalizados cada 5 m hasta la cota de 25m y cada 25m para elevaciones de mayor altitud, se obtuvo un grilla triangular irregular (TIN) de modelaje del terreno. A partir del TIN, se generó una grilla rectangular para elaboración de un mapa de pendientes. Con la información de las pendientes fue posible elaborar un mapa con los intervalos de pendientes que limitan y determinan las diferentes posibilidades de uso del suelo.

Para el análisis multitemporal de la evolución del uso del suelo en la cuenca, fueron utilizadas imágenes Landsat -TM, bandas 3, 4 y 5, de los años 1992, 1994 y 1995. Diferentes procedimientos de clasificación fueron probados, optándose por la Clasificación Supervisada Pixel a Pixel, con el algoritmo de Máxima Verosimilitud, variación ICM (Interated Conditional Modes). La composición de color de las bandas TM3-azul, TM4-verde y TM5-rojo, tomó como referencia las fotografías aéreas disponibles y la clasificación del año 1992, elaborada por Simi et al., (1997).

Con los resultados de la clasificación y los mapas de pendiente y distancia de los ríos, fueron identificadas las áreas cuyo uso actual no se corresponde con lo establecido por la normativa vigente en el Código Forestal 1965, el Decreto Estadual Nº 10.251/1977 y la Ley federal de expansión urbana, Nº 6766. Este análisis fue posible a través del uso de herramientas de análisis geográfico que utilizan operaciones booleanas y cruzamientos entre los planos de información mediante el uso del lenguaje Legal de Spring.

## RESULTADOS

El mapa de pendientes para la cuenca del Río Grande es presentado en la figura 1. Las zonas o franjas delimitadas fueron: 0-15, 15-25, 25-45 y 45, considerado lo más adecuado a los objetivos de nuestro trabajo, de acuerdo con lo que establece la ley forestal y la de expansión urbana. La Cuenca del Río Grande presentó una gran parte de su área con pendientes entre 25 y 45.

Las clasificación supervisada permitió discriminar las siguientes clases temáticas: Mata Atlántica, Mata Secundaria, Antropismo, Suelo Expuesto y Manglar (Figura 2).

Mediante el cruzamiento de las clasificaciones de los años 1992, 1994 y 1995 se obtuvo un mapa de cambios en el uso del suelo, con especial énfasis en la pérdida de Mata Atlántica (Figura 3).

Se calcularon las diferencias de áreas correspondientes para cada clase, presentadas en el tabla 1.

Tabla 1. Resultado de la tabulación cruzada entre las clases obtenidas de la clasificación de 1992 (líneas) y 1995 (columnas). Los valores de superficie se expresan en Km<sup>2</sup>.

92\95	Antropismo	Mata Atlántica	Manglar	Suelo Expuesto	Mata Secundaria
Antropismo	17.95	0	0.32	1.56	3.02
Mata Atlántica	2.81	128.9	0.7	0.33	9.83
Manglar	0.26	0.22	0.14	0	0.05
Suelo Expuesto	1.53	0	0.07	0.29	1.76
Mata Secundaria	6.02	0	0.5	0.92	11.05

Del total de la Mata Atlántica clasificada en 1992 (142.57 km<sup>2</sup>), 2.81 km<sup>2</sup> fueron convertidos en área de antropismo, 0.7 km<sup>2</sup> fue considerado manglar, lo que constituye un error de clasificación; y 9.83 km<sup>2</sup> fue convertido en área de Mata Secundaria, indicando alteraciones. La confusión también fue observada para la clasificación de manglar en 1992, considerado Mata Atlántica en 1995. El total de alteraciones del área de mata atlántica para el período, representó 9.09% del área observada en 1992.

Las áreas clasificadas como suelo expuesto en 1992, tuvieron 1.53 km<sup>2</sup> consideradas antropismo en 1995 y 1.76 km<sup>2</sup> consideradas mata secundaria, indicando la presencia de alguna cobertura vegetal en áreas que fueron anteriormente alteradas. De la clase mata secundaria 6.02 km<sup>2</sup> cambiaron a antropismo en 1995 y 0.92 km<sup>2</sup> a suelo expuesto. Del total de área de Mata Secundaria obtenido para 1992 (18.49 km<sup>2</sup>), se observó que 37.5% fue alterado para antropismo y suelo expuesto.

A pesar de que las áreas no representaron dimensiones grandes, los valores en porcentaje son significativos de una intensa actividad de alteración y conversión de las áreas de Mata Atlántica y Mata Secundaria entre 1992 y 1995.

Se obtuvo un mapa de distancia a los ríos a partir del drenaje, tomando 30 m a ambos lados debido a que el área delimitada por esta distancia es considerada de conservación permanente por el Código Forestal, para ríos entre 0 y 10 m de ancho. Cruzando el mapa temático con las diferentes clases discriminadas, el mapa de pendientes, el de distancia a los ríos y el límite del Parque Estadual Serra do Mar, se obtuvo un mapa final de identificación de áreas con conflicto de uso de acuerdo a la normativa vigente ( figura 4).

Las áreas representadas por la clase "Riesgo/Monitoreo" (amarilla) corresponden a las que deberían ser conservadas pero sin embargo se registraron actividades antrópicas. Las áreas de conservación permanente de Mata Atlántica en el área de estudio son las ubicadas a 30 metros a cada lado de las márgenes de los ríos, las comprendidas dentro de los límites del Parque Estadual y aquellas cuyas pendientes son superiores a 25 .

La clase "conservación" comprende las áreas cuyo objetivo primario es el mantenimiento del ecosistema natural. La clase "expansión urbana" comprende áreas donde la expansión es adecuada en función de los criterios legales que estamos considerando.

## CONSIDERACIONES FINALES

La metodología utilizada mediante el SIG - SPRING posibilitó en primer término la discriminación adecuada de las clases temáticas de nuestro interés, así como determinar la evolución en el período 1992 - 1995 en la cobertura vegetal y uso del suelo en la región de la cuenca del Río Grande de Ubatuba. Estos datos son de fundamental importancia para el desarrollo y evaluación de estrategias de conservación adecuadas.

La identificación de áreas cuyo uso no se corresponde con el establecido según las normas legales vigentes se convierte en una herramienta muy eficiente y de amplio uso para los tomadores de decisiones en el control y planificación municipal tendientes a lograr la conservación de la Mata Atlántica y sus ecosistemas asociados.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado en el marco del Proyecto RLA/92/G34 del Instituto Interamericano de Cambios Globales -IAI, en colaboración con Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE en el Divisão de Processamento de Imagens - DPI. Agradecemos a Sergio Almeida y Romeu Simi Jr. por la colaboración y disponibilización de datos y materiales.

## REFERENCIAS

- Câmara, G.; Souza, R.C.; Freitas, U.M.; Garrido, J. 1996 SPRING: Integration remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Comput. & Graphics*, 20(3):395-403.
- Código Forestal. Lei 4771/65 (ja alterada pelas Leis 7803/89 e 7878/89). Governo do Estado do Sao Paulo. Secretaria de Meio Ambiente. (Coordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais. Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais).
- Decreto Estadual No. 10.251. 20/08/1977. Creación del Parque Estadual Serra do Mar. Governo de Estado do Sao Paulo.
- Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 1993. Evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados do domínio da Mata Atlântica no período de 1985-1990 - Relatório. São Paulo, 1993, Fundação SOS Mata Atlântica e MCT-INPE. 46 p.
- INPE, 1996. Manual de Spring para usuario.
- IGC, 1978. Instituto Geográfico y Cartográfico, Departamento de Geografía, Brasil.
- Donzeli, T. L. ; Carvalho, U.V. J.; Toledo, P.; Leme J. E. C. et al 1992; Souza, T. T. A.. 1992. Levantamentos básicos em Planejamento do Meio Físico do Município de Ubatuba, SP. Prefeitura Municipal da Estancia de Ubatuba e Universidade de Taubate (UNITAB).
- Romeo, S. J.; Almeida, S.A.S.; Adalton, P.M.; Rene A.N. 1997. Atlantic Tropical Forest Mapping in the Northern Coastal Zone of Sao Paulo State, Brazil. Proceedings of the Fourth International Conference. Remote Sensing for Marine and Coastal Environments. Orlando, Florida, USA.
- SEADE, 1988. Projecao da populacao dos municipios e distritos pertencentes a Regiao II de Planejamento de Saesp, segundo a situacao de domicilio urbano e rural até o ano 2010, Sao Paulo.
- Vieira, I. M. 1993. Avaliacao de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo e a análise da expansao urbana em ambiente litoraneo, INPE, San José dos Campos. Tese de Maestrado em Sensoriamento Remoto.
- Ley federal de expansión urbana, N° 6766. Governo do Estado do Sao Paulo.

## BOLETIN DE SUSCRIPCIÓN

## MAPPING

Deseo suscribirme a la revista MAPPING por 12 números, al precio de 11 números.

Precio para España: 9.900 pas. 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

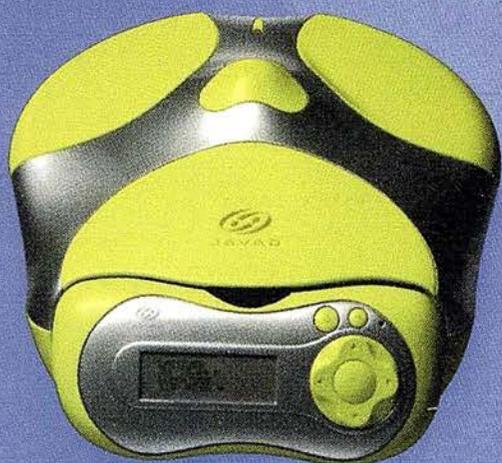
Enviar a: CARTOSIG EDITORIAL, S.L. - Pº Sta. Mª de la Cabeza, 42 - Of. 3 - 28045 MADRID.

Nombre .....NIF 6 CIF.....

Empresa.....Cargo.....

Dirección ..... Teléfono .....

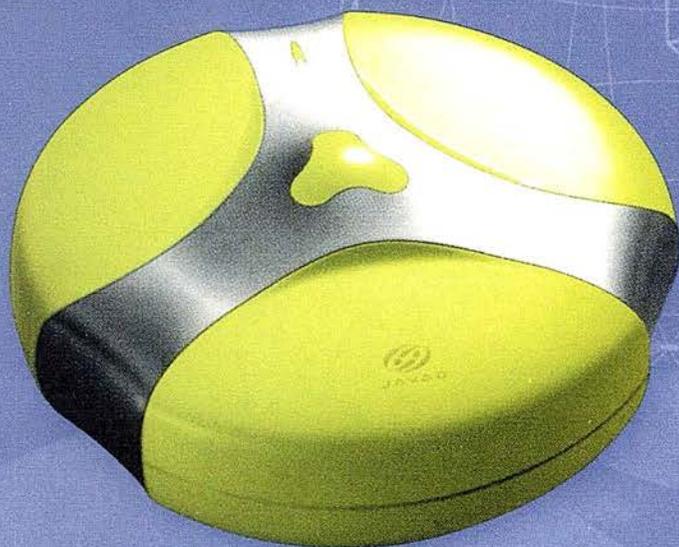
Ciudad ..... C.P. .... Provincia .....



# JPS

Un nuevo  
concepto  
en GPS

## JAVAD POSITIONING SYSTEMS



Ligero,  
versátil,  
accesible.  
Productivo,  
preciso y  
actualizable

**Totalmente personalizable  
en 1 ó 2 frecuencias, RTK,  
GPS o GPS + GLONASS**

DISTRIBUIDO POR:



**Isidoro Sánchez S. A.**  
S I S T E M A S   G P S

Ronda de Atocha, 16. 28012 Madrid  
Tel: 91 467 53 63 • Fax: 91 539 22 16  
[www.isidoro-sanchez.com](http://www.isidoro-sanchez.com)



**JAVAD**  
POSITIONING SYSTEMS

*La solución ideal para  
topografía, ingeniería civil  
y generación de GIS*

**Llámenos y le informaremos**



# Presentación del . . . Locus.

¡Oh!. ¡¡Sin cables!!.

## Nuevo, sin cables, ...¡¡y a qué precio!!

Usted nos dijo que eliminaríamos los cables y eso es lo que hemos hecho. Ya no hay cables, eso pertenece al pasado, se acabó. Hemos desarrollado un interfaz de comunicaciones inalámbrico hacia su colector de datos o hacia su PC. Tanto si es un profesional veterano o si está empezando con el GPS, el LOCUS es la solución de hoy para los levantamientos topográficos de mañana.

El LOCUS se coloca en estación inmediatamente y funciona con la misma facilidad. El LOCUS incorpora importantes ventajas de rendimiento y durabilidad en un diseño totalmente integrado. Es perfecto para resolver los problemas topográficos más complicados. Y con un precio que no puede ignorar, el LOCUS es simplemente la mejor inversión que puede hacer en instrumentos topográficos.

Tanto en observaciones estáticas centimétricas como en operaciones cinemáticas, el LOCUS marca un nuevo capítulo en el desarrollo tecnológico del GPS y su aplicación en topografía. Utilice el LOCUS con confianza para aumentar su productividad, reducir sus costos operativos y aumentar sus beneficios. Todo al mismo tiempo.

## Funcionamiento prolongado. Se acabaron las baterías caras.

El receptor LOCUS puede funcionar durante más de 100 horas con baterías standard del tipo D, o si lo prefiere con baterías del tipo C. A su gusto. Todas ellas disponibles en la ferretería más próxima.

## Nuevo y fácil programa de posprocesado.

También aquí se inicia un nuevo capítulo. Para facilitar el procesado de la señal se ha escrito un programa totalmente nuevo. Este programa, que corre sobre Windows, realiza no solamente el procesado de los datos sino que lleva a cabo el ajuste de la red, y además integra varias herramientas de análisis estadísticos, para detección de errores, etc. Cuando lo vea se dará cuenta de que el LOCUS será el receptor GPS símbolo de la nueva generación.

## Demostración.

Si desea una demostración, más información o detalles del increíble precio del sistema, llámenos. Grafinta S.A., Avda. Filipinas 46, 28003 Madrid; Telf. 91 553 72 07; Fax. 91 533 62 82; E-mail: grafinta@grafinta.com.

