



Nuestra portada:  
*Facsimil hecho a mano en 1872,  
 del Mapa Mundi de Hereford  
 (circa 1290)*

**Vol. XVIII - N.º 103  
 Marzo-Abril  
 2001**

**DIRECTOR**  
**Carlos Barrueso Gómez**

**CONSEJO DE REDACCION:**  
 Junta de Gobierno del Colegio  
 Oficial de Ingenieros Técnicos  
 en Topografía

**DIRECCION, REDACCION,  
 ADMINISTRACION Y  
 PUBLICIDAD**

Avenida de la Reina  
 Victoria, 66, 2.º C.  
 28003 Madrid  
 Teléfono 91 553 89 65  
 Fax: 91 533 46 32

Depósito Legal: M-12.002-1984  
 ISSN: 0212-9280

Título clave: TOPCART  
 Topografía y Cartografía

Fotocomposición e impresión:  
 ALBADALEJO, S.L.

Los trabajos publicados expresan sólo  
 la opinión de los autores y la Revista  
 no se hace responsable de su contenido.

Prohibida la reproducción parcial o total  
 de los artículos sin previa autorización  
 e indicación de su origen.

Esta revista ha sido impresa en papel  
 ecológico

# TOPOGRAFIA y CARTOGRAFIA



TOPCART REVISTA DEL COLEGIO OFICIAL DE  
 INGENIEROS TECNICOS EN TOPOGRAFIA

## Sumario

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Red Nacional de Estaciones de Referencia GPS (ERGPS)</b><br>José A. Sánchez Sobrino, Miguel A. Cano Villaverde, Juan F. Prieto Morín,<br>Rafael Quirós Donate y Marcelino Valdés Pérez de Vargas   | <b>3</b>  |
| <b>Reseña sobre el estado actual de las señales pertenecientes a la<br/>     Red de Nivelación de Alta Precisión</b><br>Juan José Ruiz Lendinez y Elidia Beatriz Blázquez Parra   | <b>8</b>  |
| <b>Análisis de las ortoimágenes SPOT-P e IRS-P como fuente de<br/>     información para la identificación de las vías de baja densidad<br/>     de tráfico. Caso particular de la Sierra de Ancares (Lugo-España)</b><br>Mª Luz Gil Docampo, Ignacio Cañas Guerrero y Julián Armesto González | <b>12</b> |
| <b>Cartografía Catastral: Presente y futuro</b><br>Fernando Serrano Martínez  | <b>19</b> |
| <b>La calidad de la vía en las redes ferroviarias. Aspectos<br/>     geométricos y topográficos</b><br>Alonso Sánchez Ríos  | <b>23</b> |
| <b>Datum y Red Geodésica europeos modernos</b><br>Jaroslav Simek y Jan Kostelecky   | <b>30</b> |
| <b>Aplicación de las Técnicas de Estimación Robusta<br/>     en algunos problemas fotogramétricos:<br/>     (I) Detección de Errores en el Proceso de Orientación Relativa<br/>     Analítica</b><br>Ana Mª Domingo Preciado  | <b>41</b> |
| <b>Declaración conjunta ONU-FIG de Bathurst sobre Gestión<br/>     del Territorio para un Desarrollo Sostenible:<br/>     Un reto para los topógrafos (y II)</b><br>Ian Williamson y Dont Grant   | <b>48</b> |
| <b>Los sistemas GPS+GLONASS</b><br>Fernando Sahuquillo  | <b>56</b> |
| <b>Novedades Técnicas</b>   | <b>62</b> |
| <b>Bibliografía</b>   | <b>66</b> |
| <b>Vida Profesional</b>   | <b>70</b> |
| <b>Índice Comercial</b>   | <b>79</b> |

# Red Nacional de Estaciones de Referencia GPS (ERGPS)

José A. Sánchez Sobrino, Miguel A. Cano Villaverde, Juan F. Prieto Morín, Rafael Quirós Donate y Marcelino Valdés Pérez de Vargas

ÁREA DE GEODESIA

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

## Resumen

El Instituto Geográfico Nacional, por medio del Área de Geodesia, está llevando a cabo el establecimiento de una Red de Estaciones Permanentes GPS que permitan obtener coordenadas muy precisas, así como sus campos de velocidades en un Sistema de Referencia Global (ITRFxx). Dichas estaciones pertenecen a la Red de Estaciones Permanentes de EUREF (EUropean REference Frame) y constituyen el orden cero de la Geodesia Española.

## I. INTRODUCCIÓN

La comunidad geodésica internacional, consciente de la importancia de la definición de un Marco de Referencia Global debido al uso masivo del GPS, creó en 1991 el *International GPS Service for Geodynamics* (IGS). Desde entonces, 236 estaciones permanentes de GPS están operando de forma continua, con receptores de doble frecuencia. Entre los objetivos fundamentales de estas estaciones podemos citar:

- Mejora, extensión y definición del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF).
- Estudio de la Geodinámica Terrestre.
- Determinación de las variaciones de rotación terrestre y coordenadas del polo.
- Cálculo y distribución de efemérides precisas de los satélites GPS.

La subcomisión del IAG en Europa, EUREF, fue la que, teniendo en cuenta el crecimiento de estaciones permanentes GPS, decidió tomar el control de las mismas, formando una densificación de la red global del IGS en el continente europeo, y dentro de la cual están operando actualmente cerca de 100 estaciones.

La organización y administración de las estaciones permanentes de EUREF está dividida en:

- *Centros operacionales (OC)*. Mantienen las estaciones, recogen los datos, los chequea y valida, pasa los datos a RINEX, los comprime y los manda al centro de datos.

- *Centros locales de datos (LDC)*. Almacena los datos de una red local y distribuye éstos a los distintos usuarios.
- *Centro regional de datos (RDC)*. Almacena los datos de todas las estaciones EUREF e incluso del IGS.
- *Centros de análisis locales (LAC)*. Calculan subredes europeas. Actualmente hay 10 LAC en Europa.
- *Centro de análisis regional (RAC)*. Coordina el cálculo global, combinando y uniendo las diferentes subredes de los LAC, ofreciendo



Figura 1. Estaciones permanentes EUREF (enero 2000).



**Figura 2. EPGPS Almería (ALME).**



**Figura 3. EPGPS de Alicante (ALAC).**



**Figura 4. EPGPS de Yebes (YEBE).**

resultados semanales en formato SINEX. Actualmente esta labor la desempeña el Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Alemania).

## 2. RED NACIONAL DE ESTACIONES DE REFERENCIA GPS (ERGPS)

El Instituto Geográfico Nacional, consciente de la importancia del establecimiento de una red de Estaciones Permanentes GPS que cubriera regularmente el territorio nacional, empezó en 1997 a plantearse el proyecto, realizando las pruebas pertinentes e instalando la primera de ellas en un punto clave para el Datum nacional, como es el Mareógrafo del Puerto de Alicante. Fue en marzo de 1998 cuando quedó definitivamente instalada, disponiendo de registros continuos de datos desde abril del mismo año. En 1999 fue integrada definitivamente en la red EUREF (código ALAC). En el mismo año, 1998, fue instalada la segunda de las estaciones en el mareógrafo del Puerto de A Coruña, con datos continuos desde enero de 1999. Fue integrada en EUREF en septiembre de ese año con el código ACOR.

A lo largo de 1999 tres estaciones más fueron instaladas en la geografía española: Observatorio Astronómico de Yebes (YEBE), en Guadalajara, en mayo; Observatorio Geofísico de Almería (ALME) y Escuela Superior de Geodesia, Topografía y Cartografía de la Universidad Politécnica de Valencia (VALE), en diciembre.

La unión de la estación permanente de Yebes al radiotelescopio mediante observaciones geodésicas de alta precisión posibilita transferir las observaciones VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) del radiotelescopio a los datos GPS de la estación, constituyendo esta estación el núcleo de la red ERGPS.

Tres estaciones más han sido instaladas a principios del año 2000: en la Escuela Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Santander (CANT), en marzo; en el Observatorio Geofísico de Málaga (MALA), en abril y en el Instituto Oceanográfico de Palma de Mallorca (MALL), en mayo. En el 2001 se han instalado tres más; las de Cáceres (CACE), Sonseca (SONS), La Rioja (RIOJ) y La Palma (PALM), lo que hacen un total de 12 estaciones. El proceso de instalación de estaciones continuará a lo largo del año con previsiones de establecimiento en Ceuta, Zaragoza, León y Huelva, esperando llegar a la quincena de estaciones a finales del 2001.

Además de las del IGN, otras estaciones de otros organismos pertenecen a EUREF dentro del territorio español: 5 en Cataluña (ICC), San Fernando en Cádiz (ROA) y Villafranca en Madrid (ESA).

## 3. OBJETIVOS DE ERGPS

Los objetivos fundamentales que se persiguen con la red ERGPS son:

- La obtención de coordenadas muy precisas y campo de velocidades en todos los puntos de la red, con el objetivo de constituir el orden cero de la geodesia española.
- Contribución a la definición de los nuevos Sistemas de Referencia Globales (ITRFxx) en el territorio nacional.
- Constituir parte de la Red Europea EUREF de estaciones permanentes y, por tanto, el sustento de su marco de referencia (European Reference Frame).
- Utilización de los registros de datos con fines geodinámicos fundamentalmente, pero también en otros proyectos en los que sea necesario el registro de datos continuos: estudios sobre nivel medio del mar, estudio de la ionosfera, troposfera, etc.





Figura 7. Red de proceso de datos del IGN.

de Datos EUREF) de manera automática, utilizando la red Internet, preferiblemente, o bien mediante línea telefónica. En cualquier caso, ambas opciones están disponibles en todas las estaciones.

El IGN procesa los ficheros brutos, pasando a formato RINEX, analiza su calidad (Quality Check) y prepara los correspondientes subproductos para su distribución y para sí mismo, dentro de su propia fase de análisis.

Los datos son también enviados de forma automática, vía Internet, al Centro Regional de Datos EUREF en Frankfurt (Institute for Applied Geodesy, IfAG), para su disposición pública ([www.igs.ifag.de](http://www.igs.ifag.de)). Los distintos Centros de Análisis Locales reúnen los datos de las distintas estaciones para obtener los cálculos en "red libre" de las subredes asignadas, ofreciendo resultados semanales al Centro Coordinador, el cual se encarga de dar una solución ponderada semanal, efectuando los constrañimientos oportunos.

Estos datos próximamente estarán disponibles en una base de datos accesible desde una página web del Área de Geodesia del IGN, conjuntamente con otros productos.

## 6. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS EN EL IGN

En la fase final del proceso, el Área de Geodesia también procesa y calcula los datos de sus estaciones permanentes. El objetivo final es que el IGN se convierta en Centro de Análisis Local, mediante la aportación a EUREF de una solución de subred ibérica.

Actualmente se está haciendo el proceso de forma automática con el software Bernese 4.2 (Bernese Processing Engine, BPE), de la Universidad de Berna, con resultados muy satisfactorios. Este software es utilizado por 9 de los 12 centros de análisis.

Siguiendo las recomendaciones del Centro Coordinador, se calcula con un intervalo de datos de 180 segundos (aunque la toma de datos sea cada 30), estimación de parámetros troposféricos cada dos horas y resolución de ambigüedades con el algoritmo QIF (Quasy Ionosphere Free), obteniendo soluciones diarias y semanales mediante la combinación y resolución de ecuaciones normales.

Aunque la aportación a EUREF se hace con una solución de "red libre", el IGN actualmente está procesando una red ibérica, para su propio análisis, una solución constrañida a tres estaciones significativas del IGS: Villafranca (Madrid), Wettzell (Alemania) y Matera (Italia).

## 7. REFERENCIAS

- Royal Observatory of Belgium (2000). "The EUREF Permanent GPS Network". [www.oma.be/euref](http://www.oma.be/euref).
- M.A.Cano Villaverde, J.F. Prieto Morín, R. Quirós Donate, J.A. Sánchez Sobrino, M. Valdés Pérez de Vargas (2000). "Red GPS Fiduciaria Nacional de España". II Asamblea Hispano-portuguesa de Geodesia y Geofísica. ■

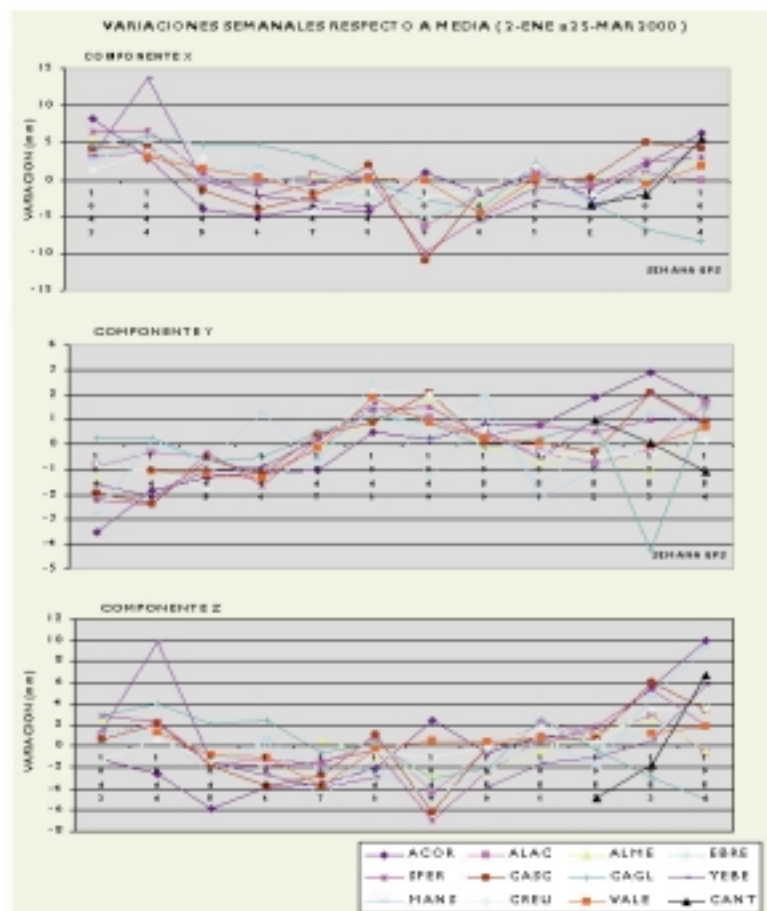


Figura 8. Variaciones semanales en las coordenadas respecto a la media (ene, feb y mar 2000).

# Reseña sobre el estado actual de las señales pertenecientes a la Red de Nivelación de Alta Precisión

Juan José Ruiz Lendinez  
ING. TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

Elidia Beatriz Blázquez Parra  
ING. EN CARTOGRAFÍA Y GEODESIA

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

## INTRODUCCIÓN

La principal motivación de este artículo es la de continuar la línea de trabajo iniciada en esta misma publicación por D. Pelayo González-Pumariega Solís, con su artículo titulado “Breve reseña sobre las históricas planchas de nivelación”, publicado en el núm. 87 de Topografía y Cartografía (julio-agosto 1998), y D. Fernando Batres Aguado, con su artículo “Comentario sobre el estado de los clavos de la Nivelación de Precisión”, publicado en el núm. 89 (noviembre-diciembre 1998).

En ambos artículos, perfectamente documentados e ilustrados, se muestra con detalle cual es el estado actual de los clavos o señales de la Nivelación de Precisión (NP), que a su vez se ligan a las planchas de nivelación. En nuestro trabajo trataremos de continuar la tarea, hablando sobre el estado actual en el que se encuentran las señales pertenecientes a la Nivelación de Alta Precisión (NAP).

El proyecto de “Nivelación de Alta Precisión” (es así como se denominó inicialmente), surgió primeramente de la necesidad de comprobar los antiguos trabajos de nivelación de precisión. Estos habían quedado lejanos en el tiempo (no olvidemos que dieron comienzo en el año 1872) y existía la constancia de ciertos errores en el cierre en algunos de sus polígonos. Otro de los grandes objetivos marcados era el de proporcionar, distribuidos convenientemente por toda la superficie del país, suficiente número de puntos cuyas altitudes fuesen conocidas con la precisión necesaria para ser empleadas en todos aquellos trabajos relacionados con la Geodesia. Finalmente, sería prácticamente imposible desarrollar estos trabajos independientemente de las vías de comunicación, debido a los accidentes del terreno, es por ello por lo que hubo que subordinarse, a la hora de trazar el proyecto, a la red general de comunicaciones del país, es decir, carreteras, ferrocarriles, canales, etc.

Curiosamente, la conservación de las señales es otro de los aspectos cuidadosamente tratados en el proyecto inicial. Textualmente, el proyec-

to nos dice: “Sin un servicio debidamente organizado con este objeto, la red de nivelación no tardaría en sufrir profundas alteraciones bajo la acción destructora del tiempo y de los hombres. Con la oxidación que corroe las señales, la demolición de los edificios, la incultura del país, etc., etc., (...) la red se vería seriamente comprometida”. Como vemos, bien se intuían ya, en el momento de redactar el proyecto, los problemas que en el futuro habrían de producirse y que, a la postre, supondrían las principales causas de desaparición de la mayor parte de las señales. Además, nos sorprende especialmente el hecho de que aún sabiendo todos los problemas con los que se enfrentarían en caso de no establecer un servicio de conservación, éste no se creara finalmente.

Durante los últimos meses y con motivo de la realización de diversos trabajos relacionados con la Red de Nivelación de Alta Precisión, hemos venido desarrollando diferentes tareas, entre las que destacaban las de localizar y reconocer las diversas señales (o, como comúnmente se las conoce en el mundillo de la topografía, “clavos”) pertenecientes a la Red de Nivelación de Alta Precisión (NAP), ubicadas en las líneas correspondientes a las distintas provincias andaluzas. Debemos comenzar diciendo que poco podíamos imaginar, al comenzar nuestra tarea, las enormes dificultades con las que nos topáramos en el transcurso de la misma.

Paradójicamente (y contrariamente a lo que debieron pensar los redactores de aquel proyecto inicial), ha sido el gran desarrollo tecnológico alcanzado en las últimas décadas en nuestro país, en lo que a materia de medios de transporte se refiere, lo que ha provocado el progresivo deterioro y desaparición de las señales componentes de las líneas NAP.

Por todo ello, su conservación y permanencia en el terreno es inferior a la de otras variedades de señales pertenecientes al mismo tipo de trabajos, circunstancia ya apuntada en los anteriores artículos.

Para nuestro trabajo podemos distinguir entre las líneas de nivelación desarrolladas a través de carreteras y las líneas desarrolladas por líneas de ferrocarril.

## SEÑALES PERTENECIENTES A LAS LÍNEAS DE CARRETERA

Para la colocación de señales correspondientes a las líneas de nivelación incrustadas a lo largo de las carreteras, se aprovecharon diferentes elementos cuya estabilidad dimensional en el tiempo estuviera asegurada a medio y largo plazo. Parece, por tanto, lógico emplear las estructuras de obra como principales portadoras de señales. De este modo, tanto los pequeños puentes como los grandes viaductos se convirtieron en los lugares principalmente elegidos para la ubicación de los clavos. De hecho, alrededor del 80% de las señales empleadas en nuestro trabajo estaban ubicadas en este tipo de estructuras, mientras que el resto se situaba sobre impostas de pasos subterráneos o en lugares tan curiosos como el mostrado en la primera figura, donde, como se puede observar, el clavo se sitúa directamente sobre uno de los muchos manantiales que existen en la carretera que discurre entre San Pedro de Alcántara y Ronda.

Como ya se ha comentado, la localización de este tipo de señales suele ser la tarea más complicada de todas. Los trabajos de mejora del trazado y de refuerzo de firme que en muchas de las carreteras por las que se desarrollaron los trabajos de nivelación, se han realizado en los últi-

mos años, ha supuesto la desaparición de gran número de señales (la mayor parte), mientras que otras han corrido mejor suerte, logrando "sobrevivir" relegadas a tramos de carretera apartados de la circulación y, en todo caso, de muy difícil acceso.

Esto ocurre principalmente en las provincias de Málaga, Granada y Almería, donde tanto las antiguas carreteras nacionales, que discurrían por el interior, como las que bordeaban la costa, han sido sustituidas por modernas autovías.

En lo referente a nuestro trabajo, la localización se hizo especialmente tediosa y complicada cuando la única referencia válida existente en el correspondiente croquis de situación era la del punto kilométrico en el cual estaba situada la señal. Después de recorrer los kilómetros señalados y llegar al punto exacto, nos encontrábamos que el elemento, que como ya hemos señalado se trataba habitualmente de un puente, paso subterráneo, imposta, etc., sobre el que estaba ubicada la señal, no aparecía por ningún lado. Es entonces cuando empezábamos a sospechar que la reseña pertenecía a un trazado antiguo de esa misma carretera, e iniciábamos su búsqueda retornando de nuevo al punto de partida.

Llegado este momento podían plantearse dos situaciones distintas. Si el nuevo trazado se había construido sobre el preexistente, el asunto se complicaba, en la medida en que había que estar parando de manera continua en el arcén, o en su ausencia en el borde de la calzada, cada vez que reconocíamos algún elemento perteneciente al antiguo trazado, con el peligro que ello entrañaba. De esta manera podían pasar horas hasta que era localizada la señal buscada. Éste es el caso de la línea entre Ronda y Algodonales, que transcurre por la carretera A-376 (antigua C-399), o de la línea Guadix-Motril, que discurre por la carretera N-342, actual A-92, en las que los puntos kilométricos indicados en las reseñas no coinciden con los actuales, debido a que la optimización del trazado ha consistido fundamentalmente en la eliminación de curvas peligrosas, con la consiguiente reducción de kilometraje. Si, por el contrario, el nuevo trazado transcurría independientemente al antiguo, la tarea se reducía a tratar de buscar la vieja carretera e identificar los correspondientes puntos kilométricos. Éste es el caso de la línea Bailén-Granada, que discurre por la N-323 desde Bailén a Jaén, por la N-321 de Jaén a Alcaudete y por la N-432 de Alcaudete a Granada.

Las siguientes ilustraciones muestran con claridad lo indicado en los párrafos anteriores. Los puentes se convierten en los principales portadores de señales.

En las fotografías se muestran dos ejemplos pertenecientes a la provincia de Almería. La imagen superior está tomada en la playa de La Entrevista, cercana a Águilas, justo en el límite entre la Comunidad Autónoma de Murcia y la de Andalucía, mientras que la imagen inferior está tomada en la entrada de la población de Los Lobos. En estos casos el trabajo nos resultó sensiblemente más sencillo que en otras provincias, ya que la costa almeriense se encuentra turísticamente menos desarrollada que las costas más occidentales (Granada y Málaga) y las infraestructuras han sufrido una menor alteración.





## SEÑALES UBICADAS EN ESTACIONES DE FERROCARRIL

Para nuestro caso, las líneas de nivelación desarrolladas a lo largo de líneas de ferrocarril son las que ocupan las provincias más occidentales de la Comunidad Autónoma de Andalucía, es decir, Córdoba, Sevilla, Cádiz y Huelva.

Dentro de la línea que va desde Córdoba a Sevilla, una de las principales características que define el estado de esta línea es la desaparición de la mayor parte de las señales. Esta desaparición es consecuencia principalmente de la construcción del Tren de Alta Velocidad Española (AVE) que, como es conocido, une Madrid con Sevilla. Durante buena parte del recorrido que se siguió por carretera, se pudo comprobar cómo el trazado de las nuevas vías del AVE se desarrolla junto al trazado correspondiente a la antigua línea de ferrocarril por la que transcurre nuestra línea de nivelación. Esto ha ocasionado que en muchas de las estaciones que todavía hoy siguen activas, haya sido necesario realizar una adecuación del trazado, con el consiguiente desplazamiento de los antiguos viales, andenes e incluso muelles para el almacenaje de mercancías, lugares antaño privilegiados y hoy totalmente olvidados, y que eran los elegidos para la colocación del correspondiente clavo.

Las señales más afectadas por la circunstancia anteriormente apuntada han sido, sin duda alguna, las verticales situadas en las estaciones, mientras que las horizontales han corrido mejor suerte, al estar directamente incrustadas en la fachada del edificio de viajeros, que usualmente suele ser el de mayores dimensiones y que, en la mayor parte de los casos, ha sido respetado a la hora de efectuar las pertinentes reformas. No es éste el caso de la estación de La Rinconada (provincia de Sevilla), en la que, aunque el edificio principal mantiene la misma forma y ubicación que el original, éste ha sido completamente remodelado, desapareciendo así las señales verticales que existían en su fachada.

Es en estas estaciones, que hoy en día siguen activas, donde nuestro trabajo despertó mayor curiosidad entre los viajeros y el personal de RENFE. Mientras los segundos siempre mostraron un gran afán de colaboración, los primeros permanecían atónitos ante nuestro trabajo, asombrándose de que aquello que para nosotros parecía ser un tesoro hubiera pasado totalmente desapercibido para ellos durante tantos y tantos años.

En la menor parte de los casos, por cierto los más satisfactorios de cara a nuestro trabajo, las estaciones han caído en el más absoluto de los olvidos, convirtiéndose en "estaciones fantasmas". La emigración de la población rural a las grandes ciudades ha provocado que poblaciones antaño económicamente importantes para la zona y perfectamente comunicadas por ferrocarril, hayan pasado a ocupar un lugar tan secundario como el de sus estaciones ferroviarias, que se han convertido así en un elemento paisajístico más. Sin embargo, este olvido ha permitido la casi perfecta conservación de las señales NAP, tanto verticales como horizontales, que únicamente han sufrido el deterioro propio del paso del tiempo. Éste es el caso de estaciones como la de Valsequillo, en Córdoba.



El aspecto que presentan estas estaciones es el que se puede apreciar en la siguiente imagen; en ella aparece el muelle de almacenaje de mercancías de la mencionada estación de Valsequillo. Como se puede observar, el estado de abandono hace prever que en un futuro no muy lejano las señales situadas en estos lugares terminen por desaparecer.

Finalmente, queremos responder desde aquí a la interrogante lanzada por D. Fernando Batres en las últimas líneas de su artículo antes citado. En ellas se pone en duda la posible trascendencia o importancia que estos trabajos de conservación puedan tener, debido a la aparición de nuevos avances tecnológicos como el GPS. Como respuesta, debemos indicar que para nuestro trabajo fue fundamental encontrar y emplear estas señales. ■

**CASI NO QUEDAN NIÑOS MENORES DE 5 AÑOS**  
*Aad Rieval, del Programa Mundial de Alimentos*

Talón o giro a:  
**MISIONES SALESIANAS**  
 28008 Madrid - Ferraz, 81  
 Tel. 91 543 85 65

# Análisis de las ortoimágenes SPOT-P e IRS-P como fuente de información para la identificación de las vías de baja densidad de tráfico. Caso particular de la Sierra de Ancares (Lugo-España)

M.<sup>a</sup> Luz Gil Docampo, Ignacio Cañas Guerrero, Julia Armesto González

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

## Resumen

*La Teledetección se ha convertido en una herramienta fundamental para la actualización de cartografía y en una fuente de información territorial básica. Existen aspectos de gran dinamismo que requieren un seguimiento periódico para la actualización cartográfica. En este contexto, las vías agrícolas y forestales están sujetas a cambios de su trazado y a la realización de nuevas pistas, lo que hace necesario su revisión.*

*El objeto de este trabajo es la comparación de las imágenes de satélite SPOT-P (Pancromática) e IRS-P (Pancromática) para la identificación de vías, abordado a partir de la potencia de análisis que ofrecen los sistemas de teledetección. Su finalidad es determinar hasta qué punto pueden llegarse a obtener resultados operativos, en costo económico y precisión, con las imágenes IRS-P, de mayor resolución espacial y reciente disponibilidad en el mercado, en comparación con las imágenes SPOT-P, tradicionalmente utilizadas en numerosas aplicaciones.*

*Se identifican las estructuras lineales a partir de la información suministrada por ambos satélites, comparando dichos datos con los obtenidos a partir de la fotografía aérea y el trabajo en campo. Se aplican los resultados a la actualización de la capa vectorial de las vías de comunicación del Mapa Topográfico Nacional de España, escala 1:25.000, realizado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).*

*Los resultados muestran la idoneidad de la imagen espacial para disponer de información actualizada de vías. La imagen IRS resulta ser la mejor opción para la identificación y realización de la cartografía, puesto que permite una mayor discriminación de la información a un menor costo. Siguiendo la leyenda del Mapa Topográfico Nacional, la imagen SPOT permite identificar carreteras y pistas, pero no permite identificar los caminos, categoría que sí puede ser extraída de la imagen IRS.*

## I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio aborda la actualización de la cartografía de vías a partir de la imagen de satélite. Son muchas las ventajas de la Teledetección frente a otras técnicas convencionales, como la fotogrametría o el GPS: disposición de cobertura global y periódica, obtención de la información directamente en formato digital, homogeneidad en la toma de datos, reducción del trabajo de campo y disminución de costos. Es por ello que *a priori* constituye una herramienta cartográfica muy útil.

Este estudio se centra en las vías de baja densidad de tráfico de la Reserva de Caza de Los Ancares (Lugo, España). La elección de esta zona se basa en que es un enclave de montaña de relieve abrupto: la diferencia de cota entre los puntos más alto y más bajo es de 1.235 m; es por ello una zona adecuada para la comprobación de la precisión de las imágenes de satélite. Además, disponer de cartografía actualizada de vías

es de gran utilidad en enclaves dedicados a la conservación de la naturaleza y al desarrollo del turismo rural, como es la Reserva de Caza de Los Ancares.

## 2. MATERIAL Y MÉTODO

Las imágenes de satélite con las que se ha trabajado proceden de los satélites IRS (sensor pancromático) y SPOT (sensor HRV, *Haute Resolution Visible*), y tienen las siguientes características:

- Imagen pancromática del satélite IRS-1C: 5,8 m de resolución espacial y 6 bits de resolución radiométrica. La imagen utilizada forma parte de la subescena B7 pista 012, fila 039, y fue tomada en el año 1998.
- Imagen del satélite SPOT: modo pancromático, 10 m de resolución espacial y 8 bits de resolución radiométrica. La imagen fue tomada en el año 1995.

Ambas tienen las siguientes coordenadas centrales (671301,235; 4741011,798).

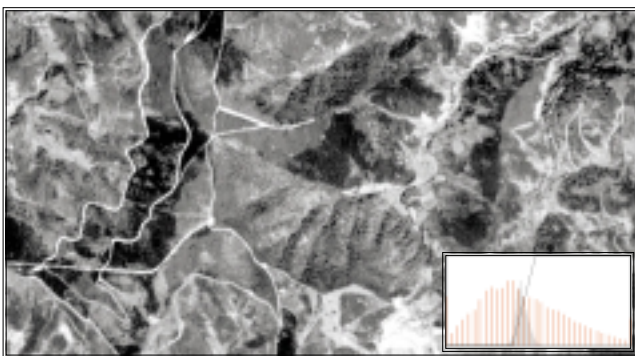
La cartografía de base corresponde a las hojas número 99-IV y 125-II del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 realizado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

El tratamiento digital inicial de la imagen IRS ha sido efectuado por el Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría de la Universidad de Santiago de Compostela; ha consistido en la corrección geométrica de la imagen mediante funciones polinómicas de tercer orden y ajuste por mínimos cuadrados. El método para la interpolación ha sido el de vecino más próximo. El tamaño de píxel interpolado es de 5 x 5 metros.

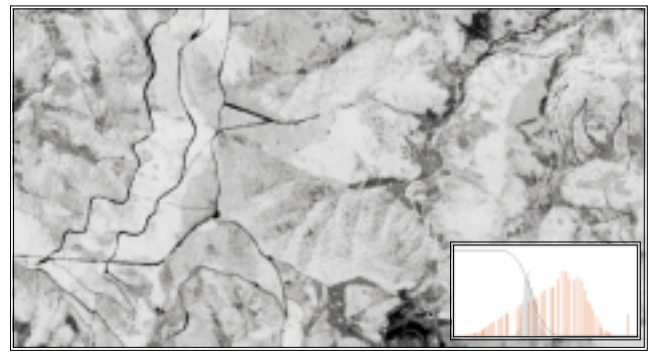
La imagen SPOT ha sido tratada por el SITGA (Sistema de Información Territorial de Galicia); se ha corregido geoméricamente mediante polinomios de segundo orden. El método para la interpolación utilizado ha sido el de vecino más próximo. El tamaño de píxel interpolado es de 10 metros.

El soporte informático utilizado para el tratamiento digital de la imagen IRS, realizado por el Área de Ingeniería Cartográfica, consiste en Software EASI/PACE y ACE de la compañía canadiense PCI Geomatics Group bajo ordenador personal Pentium a 200 MHz.

Los **tratamientos de realce y mejora** han consistido en la aplicación de una expansión lineal del contraste (figura 1) a las imágenes empleadas como base para representación cartográfica final de la red de vías actualizada. Para el proceso de actualización en sí mismo, se aplicó a la imagen un realce por inversión de la tabla de color, según se muestra en la figura 2; el resultado de introducir esta modificación de la paleta de color es que la identificación de las vías mejora notablemente: los caminos se visualizan en tonos oscuros y destacan claramente sobre el resto de cubiertas de la imagen, representadas en tonos grises.



**Figura 1. Aspecto de la imagen IRS como resultado de la aplicación de un realce radiométrico por expansión lineal del contraste; representación en la esquina inferior derecha del histograma de la imagen original (diagrama de barras en gris), de la imagen realzada (diagrama de barras en rojo) y la tabla de color correspondiente al realce.**



**Figura 2. Aspecto de la imagen IRS como resultado de la aplicación de un realce radiométrico por inversión de la tabla de color; representación en la esquina inferior derecha del histograma de la imagen original (diagrama de barras en gris), de la imagen realzada (diagrama de barras en rojo) y la tabla de color correspondiente al realce.**

Se ha llevado a cabo un **análisis visual de la imagen**, por ser el área de estudio una superficie de reducida extensión. Éste ha consistido en digitalizar con el ratón electrónico el trazado de las vías sobre la imagen resultante de la aplicación del realce por inversión de la tabla de color. El análisis visual ha permitido extraer información adicional (tipo de vía o tipo de pavimento). Este procedimiento de interpretación de la imagen tiene además la ventaja de que la adaptación del intérprete a la digitalización de las vías es muy rápida, puesto que se manejan criterios análogos a los empleados en la fotointerpretación tradicional.

La **verificación de resultados** se ha realizado mediante el cotejo de la red de vías obtenida mediante el análisis visual de la imagen con la fotografía aérea en color escala 1:17.000 de 1995, así como mediante verificación en campo.

### 3. RESULTADOS

Las imágenes utilizadas presentan las siguientes características:

- La imagen SPOT es más contrastada (mayor contraste entre los tonos claros y oscuros); esto se traduce en una mejor visión del relieve

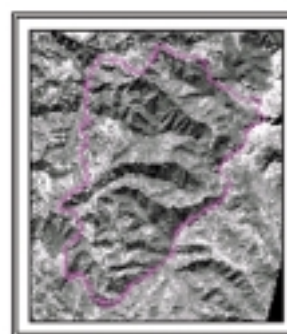


Figura 3. Imagen IRS

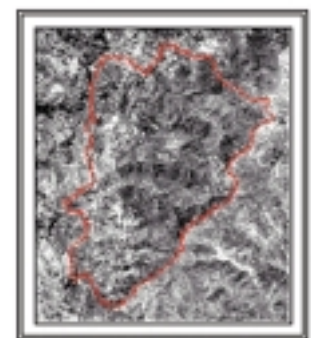


Figura 4. Imagen SPOT

**Figuras 3 y 4. Realce radiométrico por inversión de la tabla de color.**

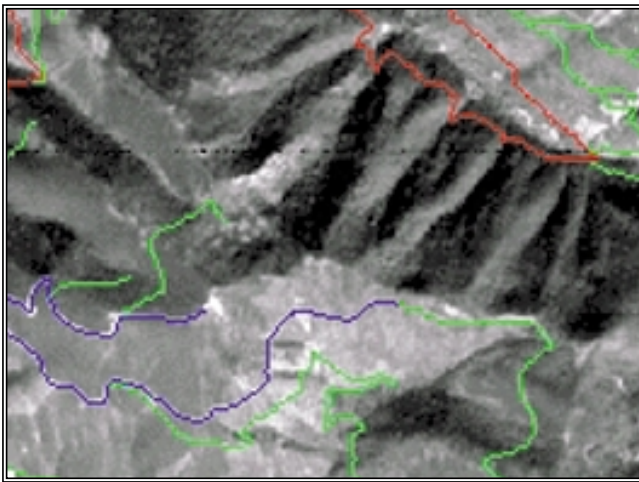


Figura 5. Imagen SPOT con capa vectorial de vías.

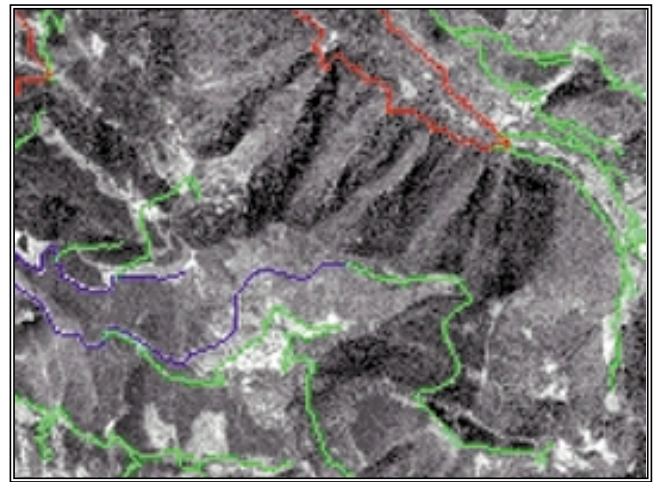


Figura 6. Imagen IRS con capa vectorial de vías.

ve y una mejor definición de los rasgos lineales de mayor entidad (figuras 3 y 4).

- La imagen SPOT en zonas claras o de alta reflectividad presenta un mayor rango de tonos de gris, mientras que la imagen IRS aparece más saturada. Esta diferencia es menos relevante en zonas oscuras o de menor reflectividad.
- La imagen SPOT supone un menor volumen de datos a manejar: tiene un tamaño de 1271 x 1486 píxeles frente a los 2505 x 2930 de la imagen IRS. Ello se traduce en una mayor rapidez en el tratamiento de los datos.
- Ambas imágenes son estables frente al relieve: se ajustan muy bien a la capa vectorial de referencia (figuras 5 y 6), que es el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 (hojas 99-IV y 125-II). La imagen IRS no presenta, tras la corrección geométrica, errores aleatorios internos o desplazamientos debidos al relieve, como cabría esperarse dada su alta resolución espacial. Para alcanzar este resultado ha sido necesario tomar 38 puntos de control uniformemente distribuidos por toda la imagen.
- La imagen IRS aporta mayor información de detalle, permitiendo extraer carreteras, pistas y caminos, estos últimos no visibles en la imagen SPOT. Las vías identificables por el satélite francés suponen un 70 % de las identificadas en el satélite indio. En ambas fuentes se aprecian las vías de anchura inferior al tamaño de píxel debido a su diferenciada respuesta espectral (Goossens, 1991).

Para analizar el costo de ambas imágenes es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- En imágenes recientes y para superficies inferiores a 23 x 23 km, supone una menor inversión la imagen IRS, ya que se pueden adquirir subescenas de este tamaño (la escena completa tiene una extensión de 70 x 70 km) a un coste de 133.000 Ptas. No existe esta posibilidad

en imágenes SPOT, en las que es preciso adquirir una superficie mínima de 60 x 60 km.

- Para grandes extensiones en las que sea necesaria la adquisición de escenas completas, supone un precio ligeramente inferior la imagen IRS (416.000 Ptas. en Europa) que la imagen SPOT (432.000 Ptas.).
- Únicamente resulta más competitivo el precio de la imagen SPOT para escenas anteriores a 1997 (208.000 Ptas.). Teniendo en cuenta que el objeto de este trabajo es la actualización de cartografía, este factor no se considera un aspecto relevante.

|             |           | Tamaño     | Precio        |
|-------------|-----------|------------|---------------|
| <b>IRS</b>  | Subescena | 23 x 23 km | 133.000 Ptas. |
|             | Escena    | 70 x 70 km | 416.000 Ptas. |
| <b>SPOT</b> | Subescena | No tiene   |               |
|             | Escena    | 60 x 60 km | 432.000 Ptas. |

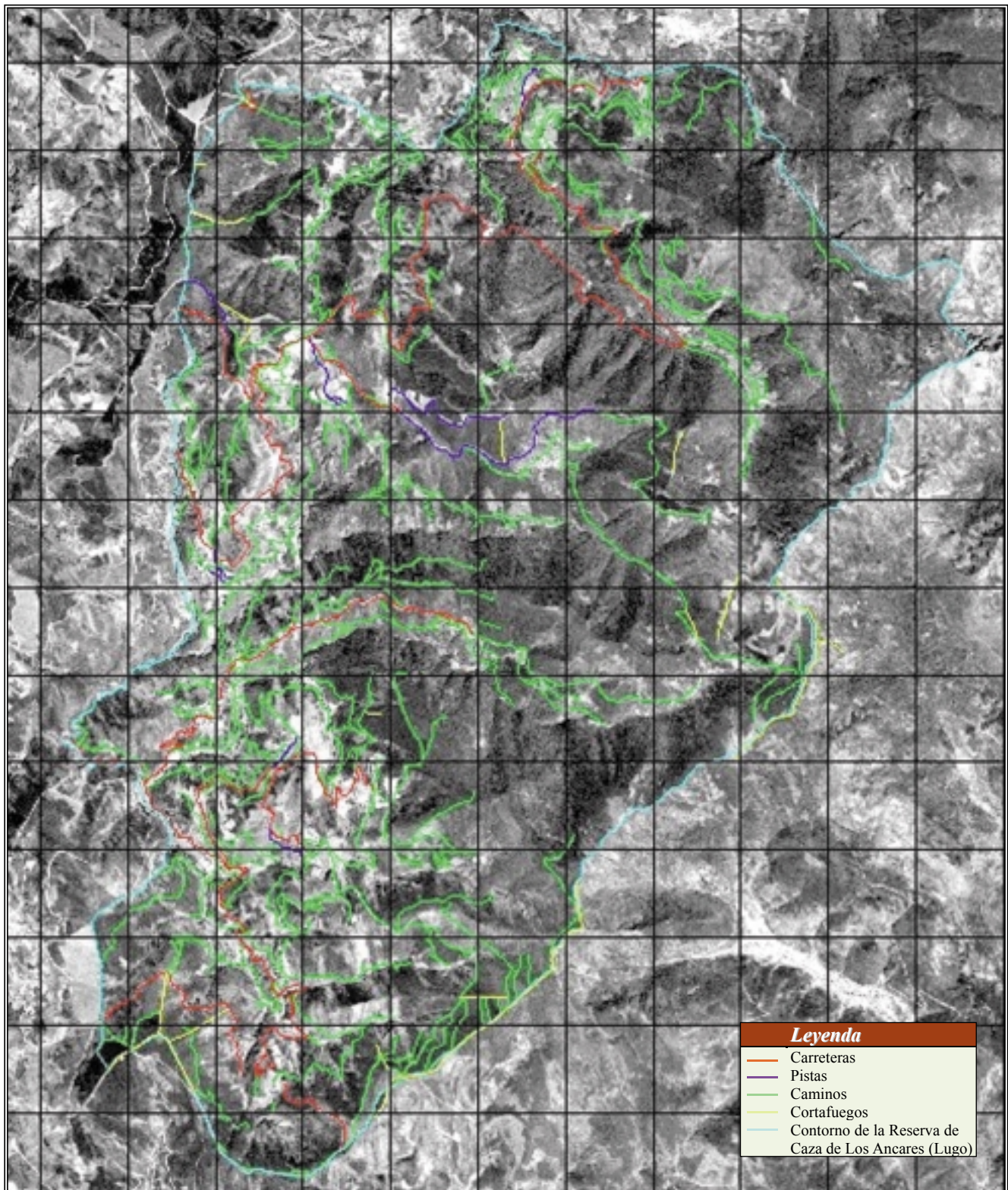
Figura 7. Estudio comparativo de costes de las imágenes IRS y SPOT

#### 4. CONCLUSIONES

La imagen IRS constituye una mejor fuente de información para la realización de cartografía de vías que la imagen SPOT, debido a los siguientes aspectos:

- Menor coste de la imagen IRS que la SPOT.
- La alta resolución espacial de la imagen IRS implica una mayor capacidad de identificación de vías sobre la imagen y una menor dependencia de la información auxiliar y el trabajo de campo.
- La imagen IRS permite generar cartografía de vías a mayor escala que la imagen SPOT. Respetando los límites convencionales en la localización cartográfica, podemos obtener cartografía a escala 1:30.000 en el primer caso y 1:50.000 en el segundo.

**Mapa actualizado de vías correspondiente a la Reserva de Caza de Los Ancares (Lugo),  
obtenido por análisis visual de la imagen IRS-P.**



1 0 1 2 3 Km



Escala gráfica

## REFERENCIAS

- ARDIZONE, J.A. y otros. "Aplicaciones de la teledetección a la cartografía topográfica en el instituto geográfico nacional (IGN): Serie de ortoimágenes a escalas 1/100.000 y 1/250.000". IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección. Sevilla, noviembre 1991, pp. 86-95.
- CAÑAS, I. y otros. "Introducción a la caracterización de las vías forestales por medio de sistemas digitales: el GPS y GIS". Mapping, nº 52, 1999, pp 40-46.
- CAÑAS, I. y otros. "Las vías forestales y el medio ambiente". III Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Barcelona, 1996, V-2, pp. 736-743.
- CHUVIECO, E. *Fundamentos de Teledetección espacial*. Ed. Rialp S. A. Madrid, 1996.
- GOOSSENS, R. y otros. "Satellite image interpretation (SPOT) for the survey of the ecological infrastructure in a small scaled landscape (Kempenland, Belgium)". *Landscape Ecology*, V-5, nº 3, 1991, pp175-182.
- PCI. *Using PCI software*. Richmond Hill, Ontario (Canada), 1997.
- JAZOULI, H y otros. "Evaluation of SPOT Panchromatic digital imagery for updating road locations in a harvested forest area". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol 60, nº 12, 1994, pp 1449-1452.
- LILLESAND, T. M.; KIEFFER, R.W. *Remote Sensing and imager interpretation*. John Wiley, 1994, pp 612
- Estudio elaborado con ayuda del proyecto de investigación ANB95-C225. CICYT ■

## **"LA TIENDA VERDE"**

C/. MAUDES, 23, TEL. 91 535 38 10 y MAUDES, 38, TELS. 91 534 32 57 - 91 533 07 91  
FAX: 91 533 64 54  
28003 MADRID

### **"LIBRERIA ESPECIALIZADA EN CARTOGRAFIA, VIAJES Y NATURALEZA"**

- |   |                          |                                 |
|---|--------------------------|---------------------------------|
| - MAPAS TOPOGRAFICOS: S. G. E. I. G. N. | - MAPAS METALOGENETICOS. | - MAPAS MONTADOS EN BASTIDORES. |
| - MAPAS GEOLOGICOS.                     | - MAPAS TEMATICOS.       | - FOTOGRAFIAS AEREAS.           |
| - MAPAS DE CULTIVOS Y APROV.            | - PLANOS DE CIUDADES.    | - CARTAS NAUTICAS.              |
| - MAPAS AGROLOGICOS.                    | - MAPAS DE CARRETERAS.   | - GUIAS EXCURSIONISTAS.         |
| - MAPAS DE ROCAS INDUSTRIALES.          | - MAPAS MUNDIS.          | - GUIAS TURISTICAS.             |
| - MAPAS GEOTECNICOS.                    | - MAPAS MURALES.         | - MAPAS MONTAÑEROS.             |

**"VENTA DIRECTA Y POR CORRESPONDENCIA"**

**"SOLICITE CATALOGO"**

# Cartografía Catastral: Presente y futuro

Fernando Serrano Martínez

COORDINADOR DE ÁREA

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE CATASTROS INMOBILIARIOS

DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO

## I. INTRODUCCION

En los más de diez años transcurridos desde que, por medio del Real Decreto 585/1989, de 26 de mayo, asumiera las competencias que en materia de cartografía catastral ejercía el Instituto Geográfico Nacional, la Dirección General del Catastro ha conseguido obtener un patrimonio cartográfico importante que, sin embargo, no es completo, ni está exento de problemas.

La búsqueda de soluciones a estos problemas, junto con la evolución tecnológica de la cartografía, y especialmente de la informatizada, así como un cambio en la idea del papel que la cartografía ha de ejercer en una organización como la Dirección General del Catastro, han puesto de manifiesto la necesidad de un nuevo modelo de gestión de la cartografía que, en lo que a su desarrollo informático se refiere, hemos dado en llamar, al menos provisionalmente, SIGCA2 y que quiero presentar en este artículo.

## 2. CARTOGRAFÍA CATASTRAL

Las actuaciones en materia de cartografía de la Dirección General del Catastro se han centrado básicamente en dos líneas fundamentales: la producción de cartografía informatizada, rústica y urbana, y la creación de un Sistema de Información Geográfica Catastral (SIGCA).

Las características más relevantes y las funcionalidades del SIGCA los expondré más adelante, básicamente por comparación con el nuevo SIGCA2. En cuanto a la producción de cartografía informatizada, me referiré a la obtención de ortofotografías, que sirven como base cartográfica para la renovación de los catastros de rústica y la obtención de cartografía catastral rústica informatizada, y a la obtención de cartografía catastral urbana informatizada.

Las ortofotografías de la Dirección General del Catastro, hasta 1997-98 en que se empezaron a obtener las primeras ortofotografías digitales, tienen formato analítico y soporte papel fotográfico. La escala generalmente utilizada es la 1/5.000, aunque para la Cornisa Cantábrica, por el tamaño medio de parcela y otras características del territorio, se obtienen ortofotografías a escala 1/2.000 o incluso 1/1.000.

La cartografía catastral rústica informatizada se obtiene en los procesos de renovación del catastro mediante la digitalización del parcelario catastral, previamente volcado sobre las correspondientes ortofotografías. La realización de estos trabajos, aunque depende, evidentemente, de la disponibilidad de las ortofotografías, se realiza en función de los criterios y prioridades para la renovación del catastro. Por ello, el número de municipios con cartografía catastral rústica informatizada es menor que el de los que disponen de ortofotografía.

En cuanto a la cartografía urbana, hay que señalar que, en el momento en que se diseñó el plan de cartografía informatizada, prácticamente todos los municipios tenían parcelario catastral convencional, en papel. Por ello, la primera tarea que se realizó fue la de examinar la calidad de estos planos parcelarios, para ver si cumplían los requisitos necesarios para ser la base gráfica del catastro. Este examen consideraba varios aspectos distintos, como su compleción, grado de actualización, contenido y representación adecuados y, fundamentalmente, su exactitud posicional, es decir, si tenía calidad métrica y estaba bien georreferenciada; razón por la cual estos exámenes recibieron el nombre de Análisis Métricos. Si los resultados de éstos eran los adecuados, cosa que sucedía en tres de cada cuatro casos, se procedía a digitalizar los planos parcelarios, para obtener así la correspondiente cartografía catastral informatizada. Si no lo eran, se obtenía una nueva cartografía catastral urbana informatizada por el método de restitución numérica, a partir de vuelos fotogramétricos, la implantación de una Red Local Catastral, etc. Las escalas utilizadas han sido fundamentalmente la 1/1.000 y, en casos excepcionales, la 1/500. Aparte de estas dos actuaciones básicas, digitalización y restitución numérica, también ha sido necesario emprender otros trabajos de cartografía como ampliación de una cartografía informatizada, actualización por restitución o por trabajos taquimétricos, transformación de formato de cartografías ya informatizadas y volcado de parcelario catastral, etc.

La cartografía así obtenida, cuyo detalle se puede consultar en la página web de la Dirección General del Catastro, [www.catastro.meh.es](http://www.catastro.meh.es), es la que refleja la tabla I.

|                | Municipios | % Municipios | Superficie ha                 | % ha   |
|----------------|------------|--------------|-------------------------------|--------|
| Ortofotografía | 5.915      | 78,08        | 41.421.607                    | 87,97  |
| CC Rústica     | 3.545      | 46,79        | 22.246.328                    | 47,25  |
| CC Urbana      | 1.093      | 14,43        | 584.409                       | 48,70  |
| Totales        | 7.576      | 100,00       | 47.084.795 (RU)/1.200.000(UR) | 100,00 |

**Tabla 1: Cartografía catastral disponible**

Esta tabla requiere algún comentario o explicación: como se puede comprobar, la cantidad de ortofotografías disponibles es muy superior, tanto en número de municipios como en superficie, a la de cartografía rústica informatizada. Esto provoca que algunas de las ortofotografías se estén quedando anticuadas y se debe, fundamentalmente, a la propia dinámica de los procesos de renovación catastral. Sin embargo, hay que señalar que éstos se han visto impulsados por el Programa Operativo de Actualización de datos del Territorio, de 1996 a 2000, cofinanciado por la Unión Europea, y que está previsto que finalicen totalmente mediante el segundo Programa Operativo, de 2001 a 2005, de inminente aprobación. Con este programa se obtendrán todas las ortofotografías que faltan, renovando o actualizando las necesarias, y se completará el proceso de renovación catastral rústica, obteniendo cartografía catastral informatizada para todos los municipios del ámbito de competencias de la Dirección General del Catastro.

Por otra parte, la problemática de la cartografía catastral urbana es radicalmente diferente, debido a la dinámica inmobiliaria principalmente, ya que el suelo de naturaleza urbana está en continua evolución. Esto hace que la cifra global de 1.200.000 ha sea aproximada y orientativa y, por otro lado, que la cartografía catastral urbana quede desactualizada con relativa frecuencia. Como veremos a continuación, uno de los principales problemas, si no el principal, de esta cartografía es el de su mantenimiento permanente. En cuanto a las cifras, hay que destacar que aunque la cifra de municipios e incluso de superficie es modesta, esto se debe a que se ha obtenido cartografía catastral de los municipios más grandes, con mayor número de Unidades Urbanas y con valores catastrales más altos, como refleja la tabla 2.

En consecuencia, la cartografía catastral urbana pendiente de realización corresponde a un gran número de municipios, de muy pequeña entidad y bastante dispersos en el territorio, lo que, probablemente, requerirá actuaciones diferentes a las realizadas hasta ahora, bien en cuanto a escala, bien en cuanto a tipo de cartografía o método de obtención de esta.

### 3. PROBLEMÁTICA DE LA CARTOGRAFÍA CATASTRAL

Indudablemente, el problema más importante al que nos enfrentamos es el del mantenimiento o actualización permanente de la cartografía catastral informatizada, junto con el de su gestión integral con las bases de datos alfanuméricas del catastro, es decir, el uso y manejo de la cartografía, condicionados por el modelo de datos de SIGCA y las herramientas (hardware y software) informáticas disponibles. Por otra parte, hay problemas que podemos considerar conceptuales, que afectan a esta gestión de la cartografía: hasta este momento, la cartografía servía básicamente para la localización de los inmuebles, pero no se consideraba parte substancial de su descripción, por lo que no había total integración de cartografía y bases de datos. Además, para cada tipo de cartografía (rústica, urbana) la unidad de trabajo era el municipio, de modo que no hay continuidad, ni coherencia en los modelos de datos entre las dos cartografías de un municipio, ni entre las cartografías de municipios colindantes. Es decir, no existe una representación continua del territorio, ni es posible trasvasar información de un modelo de datos a otro, ni siquiera en el caso de que ambas cartografías estén a la misma escala. Finalmente, hay cierta heterogeneidad en las fechas y métodos de obtención de la cartografía de los diferentes municipios, de modo que la calidad es muy distinta. Y sin embargo, al mismo tiempo, hay una homogeneidad, fundamentalmente en las escalas de obtención de cartografía, que no se corresponde ni conviene a la realidad del territorio. Es decir, se han establecido soluciones demasiado generales, (cartografía rústica a escala 1/5.000 salvo en la cornisa Cantábrica, cartografía urbana a escala 1/1.000), que es necesario reconsiderar, porque no cumplen el objetivo de describir con precisión y calidad suficientes los Bienes Inmuebles (invernaderos en el catastro de rústica de Andalucía y Levante; núcleos urbanos de pequeña entidad sin dinámica inmobiliaria).

Quizás gran parte de estos problemas radican en que, hasta ahora, los esfuerzos se han centrado en la producción de cartografía, y en este

|              | % municipios | % superficie | % Unidades Urbanas | % Valor Catastral 1998 |
|--------------|--------------|--------------|--------------------|------------------------|
| Realizada    | 14,43        | 48,70        | 67,26              | 80,09                  |
| En ejecución | 7,17         | 9,58         | 7,91               | 5,29                   |
| Suma         | 21,60        | 58,28        | 75,17              | 85,38                  |

**Tabla 2: Cartografía catastral urbana**

momento, en que empieza a haber un volumen importante de información cartográfica, es necesario pensar más bien en la gestión y el mantenimiento. Esto se pone especialmente de manifiesto al considerar los aspectos informáticos de la cartografía informatizada.

En el entorno físico y lógico, hay que señalar que los sistemas y aplicaciones datan de los años 1989-1990. Se trata de estaciones de trabajo HP Serie 9000/700, totalmente obsoletas y amortizadas, con capacidad, en el mejor de los casos, para dos o tres usuarios, con capacidad de almacenamiento total, llevada al límite, para 453 Gb, claramente insuficiente. Por otra parte, la solución software está obsoleta también: se trata de un SIG sobre ficheros en disco, sin gestor de base de datos relacional que garantice accesos concurrentes. Integridad y consistencia de las bases de datos, etc.

En cuanto al modelo de datos, hay que señalar que es muy completo y complejo. Tiene más de 200 códigos (antes 700) de elementos gráficos repartidos en 14 capas de información, con topología muy compleja y alta precisión. Cualquier actuación de mantenimiento, que debe incluir las coincidencias explícitas, es bastante compleja y las aplicaciones disponibles al efecto son insuficientes. Las librerías rústicas y urbanas están separadas. Hay problemas para la integración de los Bienes Inmuebles urbanos en diseminado en las librerías de rústica. Por otra parte, los sistemas gráficos y alfanuméricos están en entornos separados. Los ficheros gráficos en disco (librerías ARC/INFO), los datos alfanuméricos en gestor de BD ORACLE. Existe un enlace artificial gráfico-alfanumérico por Referencias Catastrales. En consecuencia, el sistema hace que haya muy pocos usuarios de cartografía informatizada, que deben estar muy cualificados.

#### 4. PROYECTOS DE FUTURO: SIGCA2

Como consecuencia de todo lo anterior, la Dirección General del Catastro está diseñando un nuevo modelo de gestión de la cartografía catastral informatizada que espera empezar a implantar en las Gerencias Territoriales a mediados del año 2001, que se ha dado en llamar SIGCA2 y que me gustaría presentar.

Se trata de un Sistema de Información Geográfico Catastral integrado con la información alfanumérica, al que acceden todos los usuarios de la Gerencia, mediante un servidor de cartografía, con toda la cartografía catastral en línea, y centrado en la gestión catastral. Se trata de un entorno cliente servidor, con diferentes puestos tipo: administrador de Bases de Datos gráfico, clientes que consultan y certifican, clientes que mantienen la cartografía y son responsables del dato y clientes expertos que realizan ponencias de valores con la cartografía, extraen, dibujan, almacenan, etc.

Se trata de que toda la cartografía catastral esté en línea, accesible a todo el mundo, que haya acceso concurrente de múltiples usuarios, que exista integración de las bases de datos gráficas y alfanuméricas, con un modelo de datos que garantice mayor agilidad y facilidad en el manejo de la cartografía, que contenga menos información pero de más calidad en lo referente a la localización, identificación y cálculo de superficies de

los Bienes inmuebles, que permita la coexistencia espacial entre suelo rústico y urbano de un mismo municipio y entre municipios colindantes, con compatibilidad entre modelos de rústica y urbana que permitan trasvase ágil de suelo.

La base será un servidor departamental UNIX con capacidad de conexión de varios usuarios en modo concurrente, volumen de almacenamiento de varios cientos de Gb y alta capacidad de proceso. Los clientes estarán en red de área local, con acceso desde ordenadores personales en entorno gráfico. El servidor de datos gráfico será ORACLE-SDE, como gestor de BD.

Las funcionalidades del sistema según los tipos de usuarios serán: el administrador de BD carga, valida y descarga ficheros FICC, integra y ajusta porciones y es el encargado de velar por la integridad de las BD. Los clientes de red de área local tendrán un interfaz de usuario de entorno gráfico Windows y podrán realizar tareas de consulta, trazados, emisión de cédulas (trazadores gráficos de inyección e impresoras color) y mantenimiento puntual. El mantenimiento se llevará a cabo en entorno CAD. El cliente especializado tendrá acceso libre con ARC-VIEW. Se pretende una consulta, localización e identificación ágil de Bienes Inmuebles en atención al público; la emisión en el acto de certificaciones gráfico alfanuméricas; trazados de planos de cartografía y planos de trabajo; carga, descarga de FICC para la difusión, venta y colaboración interadministrativa, etc. En cuanto al mantenimiento, este módulo debe permitir la asignación de Referencias Catastrales, el cálculo de superficies, la incorporación de alteraciones físicas (902,904,905), el paso de rústica a urbana y al revés, la digitalización masiva e incorporación de zonas, entre otras funciones.

El sistema permitirá ver todo el territorio como una capa continua, con la posibilidad de incorporar información raster como capa de fondo. El modelo gráfico estará integrado con el alfanumérico: sólo se considerarán recintos (manzanas, parcelas y volúmenes edificados en urbana; polígonos, parcelas, subparcelas y descuentos en rústica y diseminados). Los recintos no distinguen tramos. El resto de elementos se tratarán como líneas de dibujo y se eliminan las coincidencias implícitas, con lo que se consigue una gran simplificación del número total de códigos.

Finalmente, quisiera mencionar el proyecto Ensenada, que hoy por hoy es sólo eso, un proyecto, en el que se está trabajando, pero que aún carece de fecha de aplicación. Se trata de adaptar el Catastro a la Sociedad de la Información en que actualmente vivimos, dando acceso a todas las bases de datos catastrales, salvo a las que contengan datos de carácter personal protegidos por la normativa vigente, a través de Internet. Para aumentar la calidad del servicio que la Dirección general del Catastro presta a los ciudadanos, se pretende que los usuarios, contribuyentes e interesados en general, puedan acceder, vía Internet, a las bases catastrales para consultar, descargar y comprar datos catastrales y cartografía; para presentar solicitudes y declaraciones; para obtener certificaciones descriptivas y gráficas; para lograr atención personalizada, cita previa o resolución de problemas específicos; para presentar quejas, reclamaciones, consultas o sugerencias, etc. ■

# La calidad de la vía en las redes ferroviarias. Aspectos geométricos y topográficos

Alonso Sánchez Ríos

DEPARTAMENTO DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

## I. INTRODUCCIÓN

La función principal de las vías de ferrocarril es permitir que los trenes circulen a la velocidad prevista en el trazado, con ciertas condiciones impuestas de seguridad y comodidad.

Para conocer la calidad de una vía, debemos evaluar tres factores, que son, por este orden, velocidad, seguridad y confort y que obligan a las administraciones ferroviarias a dedicar cada vez más recursos a la conservación y mantenimiento de la vía. De esta forma se intenta paliar al máximo o incluso evitar en lo posible los procesos de degradación de la misma.

En este artículo pretendemos exponer las relaciones que existen entre la medición de los parámetros de calidad de la vía y los aspectos geométricos de la misma, con la incidencia que tienen en estos procesos las operaciones topográficas que normalmente se llevan a cabo, así como exponer los procesos modernos de medición automatizada.

## 2. EL PROCESO DE CONTROL DE LA CALIDAD DE LA VÍA

Al igual que en cualquier proceso de fabricación o construcción actual, podemos distinguir dos fases o estados diferenciados:

1. **El estudio de la calidad de la vía en las nuevas ejecuciones**, donde comprobaremos si se cumplen los límites de aceptación o las tolerancias impuestas según las condiciones geométricas del proyecto en cuestión.

Este no es un procedimiento finalista, sino que forma parte de todo un proceso de control perfectamente delimitado en distintas fases de las obras hasta que se firma el acta de recepción definitiva de la vía.

2. **El mantenimiento y control periódico de la vía**, que constituye todo un proceso de remodelación de la vía existente hasta que cumpla los

parámetros geométricos y de calidad originales. En este caso podemos hablar de un **mantenimiento cíclico**, en el que, independientemente del estado de la vía, se procede a la ejecución de un conjunto de operaciones para estimar y restablecer en su caso los parámetros de calidad. También podemos considerar otro método, denominado **mantenimiento según estado**, en el que una vez diagnosticados las irregularidades de la vía, se procede a la corrección de éstas. Corresponde a la administración ferroviaria tomar la decisión de implantar el sistema de mantenimiento y control de la calidad de la vía, estableciendo los parámetros de tolerancia permitidos.

## 3. EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE LA VÍA

Antes de seguir adelante, debemos preguntarnos ¿Por qué se degrada la geometría de la vía? En un principio podemos encontrar, entre otras, tres causas principales:

1. Las condiciones climáticas.
2. La dispersión de las capas de asiento (balasto y subbalasto) y plataforma.
3. La acciones dinámicas propias de la explotación.

Estos factores inciden directamente sobre la geometría inicial de la vía, produciendo en los vehículos que circulan sobre ella efectos no deseados, como son efecto de galope, balanceo o movimiento de "lazo" que, a su vez, afectan de manera decisiva a las condiciones impuestas de velocidad, seguridad y confort, produciendo incluso, en condiciones extremas, situaciones de peligro para la circulación.

## 4. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS A EVALUAR

Una vez hechas las consideraciones anteriores, pasamos a definir los parámetros geométricos que definen la geometría de la vía, no sin advertir que existen otros parámetros de carácter no geométrico que

también inciden en la calidad de la vía y que no tratamos, como son el apretado de las sujeciones de carriles, la estabilidad de traviesas, etc..

En definitiva, podríamos considerar la geometría de la vía evaluando las coordenadas de los puntos definitorios de cada hilo (derecho e izquierdo) de la vía, con respecto a un sistema de referencia tridimensional. Tendríamos, por tanto, para cada punto, unas coordenadas  $X_I, Y_I, Z_I$ .

O bien,  $X_D, Y_D, Z_D$ , dependiendo de si pertenece al hilo izquierdo o derecho, respectivamente.

No obstante, la evaluación de la vía se hace de forma global utilizando los llamados **ÍNDICES DE CALIDAD**, que son parámetros que definen la calificación de un determinado tramo de vía como bien, aceptable, regular, deficiente o mal. Este índice de calidad resultará del análisis de las medidas efectuadas en campo, mediante la utilización de determinadas expresiones matemáticas de fácil uso, definidas en las normas que edita la Administración Ferroviaria, donde se determinan las tolerancias admitidas según sea vía nueva, vía recién tratada, vía sin tratar; velocidad de circulación, así como cualquier circunstancia que influya o determine las condiciones de la vía.

Podemos obtener, por tanto, índices de calidad de la nivelación longitudinal, del alabeo, del ancho, de la nivelación transversal (peralte), así como de la alineación, expresadas por un valor que determinará la calificación de la vía en el tramo evaluado.

Además, se puede obtener la **CALIDAD MEDIA DE LA VÍA (Q)**, realizando una media ponderada de los índices de calidad de los diferentes parámetros medidos; es decir:

$$Q = K \cdot \sum_i p_i \cdot s_i$$

siendo:

- **K** un coeficiente de ponderación global, que será función del tipo y características de la vía, velocidad de circulación, etc.

- $p_i$  es el coeficiente de ponderación de cada parámetro y será función de la importancia que se estime tiene cada parámetro en la calidad global de la vía.
- $s_i$  es el índice de calidad de cada parámetro.

Todos estos parámetros están definidos en las normativas editadas por las Administraciones Ferroviarias.

Por tanto, tanto los índices de calidad como la calidad media nos determinará el estado de la vía, permitiéndonos evaluar cuantitativa y cualitativamente la calidad de la misma, estableciendo en caso necesario las directrices para su conservación.

## 5. EL PROCESO DE MEDIDA. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS Y NO TOPOGRÁFICOS

Por todo lo expuesto, tenemos que, aunque el análisis de la calidad de la vía se hace a nivel global mediante los índices de calidad y la obtención de la calidad media de la vía, resulta evidente que para la obtención de éstos necesitamos la evaluación puntual de determinados aspectos geométricos de la misma, como son:

- Medición de la alineación de la vía, tanto en recta como en curva
- Medición del ancho de vía
- Comprobación de la nivelación longitudinal
- Comprobación de la nivelación transversal.

Los dos primeros son parámetros geométricos horizontales y los dos últimos son parámetros geométricos verticales.

La medición de estos parámetros puede realizarse principalmente de dos formas claramente diferenciadas en cuanto a su metodología pero que en la mayoría de los casos se complementan. Estos métodos son:

1. Los métodos topográficos y semitopográficos (o manuales).
2. Los métodos mecánicos.

### 5.1. Los métodos topográficos y semitopográficos (o manuales)

Los métodos topográficos empiezan a ser necesarios desde la propia concepción del proyecto de ejecución hasta la propia ejecución de la obra, siguiendo con el control de calidad de la vía, jugando un papel importante en este tipo de trabajos.

En la ejecución de la obra definiremos el marco geométrico planimétrico-altimétrico para la realización de la misma, estableciendo las redes topográficas desde cuyas bases se procederá al replanteo de piquetes provisionales, que servirán de referencia planimétrico-altimétrica para la realización de la obra (figura 1). Además, una vez finalizada ésta se deberán dejar una serie de referencias (puntos de marcaje) planimétricas y altimétricas a todo lo largo de la misma para, en cualquier momento, proceder al control geométrico de la vía. Estos puntos quedarán

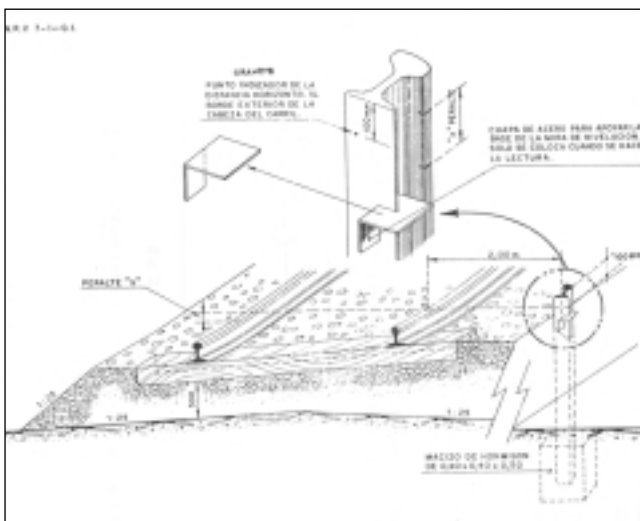


Figura 1



Figura 2

implantados mediante bulones o manguitos situados en los postes de la catenaria, sobre los andenes, empotrados en muros, túneles, en el suelo, etc., de forma que, dada su importancia, queden permanentemente fijados (figuras 2 y 3).

Con auxilio de estos puntos y realizando operaciones topográficas (nivelaciones, replanteos, etc) conoceremos el estado geométrico detallado de la vía en cada punto.

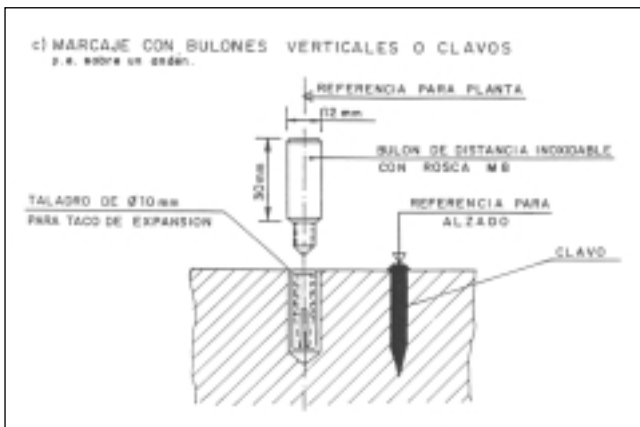


Figura 3

No obstante, aunque el replanteo topográfico por coordenadas es el que se realiza normalmente, hasta hace bien poco y aún hoy día en determinadas actuaciones puntuales, se utilizan métodos semitopográficos, consistentes en mediciones directas de la vía con determinados instrumentos. De esta forma se medirán los parámetros de la vía según se sigue:

- La medición de la alineación se realizará tomando las flechas que definen dos puntos de la cara activa del carril, separados una distancia D (ver figura 4), con la instrumentación que aparece en la figura 5.
- La medida de la nivelación longitudinal se realizará con nivel y mira, constituyendo éste un método propiamente topográfico y utilizado tal y como se hace en el replanteo por coordenadas, con referencia en los puntos de marcaje o piquetes.
- Las medidas de incrementos de anchos y peraltes se realizan con una regla graduada para medir el ancho y lleva además un nivel de burbuja con una escala graduada que sirve para medir el peralte. A

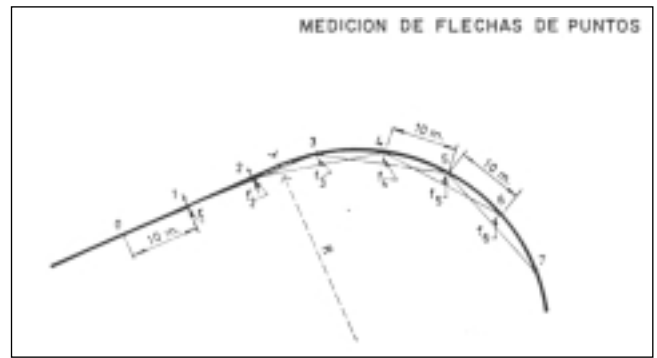


Figura 4

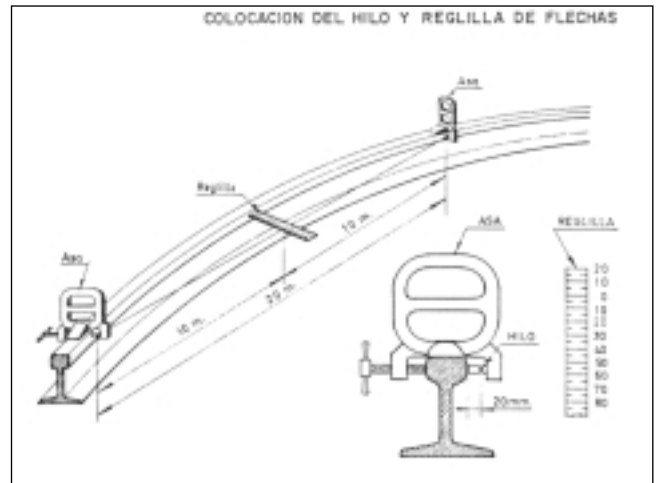


Figura 5

esta regla se le conoce coloquialmente con el nombre de "regla de peraltes". Una magnitud importante que se deduce de la medida del peralte es el **ALABEO DE LA VÍA**, que es la distancia del punto de la superficie de rodadura del carril de una vía, donde debía apoyar la cuarta rueda de un vehículo, al plano determinado por los tres puntos de apoyo de las otras ruedas en los carriles. Teóricamente, sólo existen en las curvas de transición. En la práctica, se determina el alabeo por la diferencia de los peraltes de dos secciones de la vía, separadas una distancia determinada.

De cualquier forma, los procedimientos de medición y toma de datos, así como su tratamiento, están perfectamente normalizados y definidos en cada caso por la Administración Ferroviaria competente.

### 5.2 Los métodos mecánicos

Para la medición de los parámetros geométricos de la vía de forma automática se utilizan vehículos de control (ver figura 6) que disponen de aparatos de medida basados en palpadores, captadores de tipo óptico, ejes telescópicos, etc., conectados a analizadores numéricos informáticos que realizan la medición de forma continua, con gran precisión y con un gran ahorro de tiempo y costes.

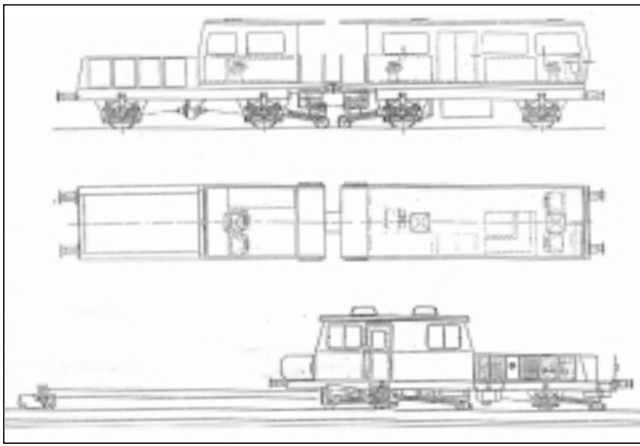


Figura 6

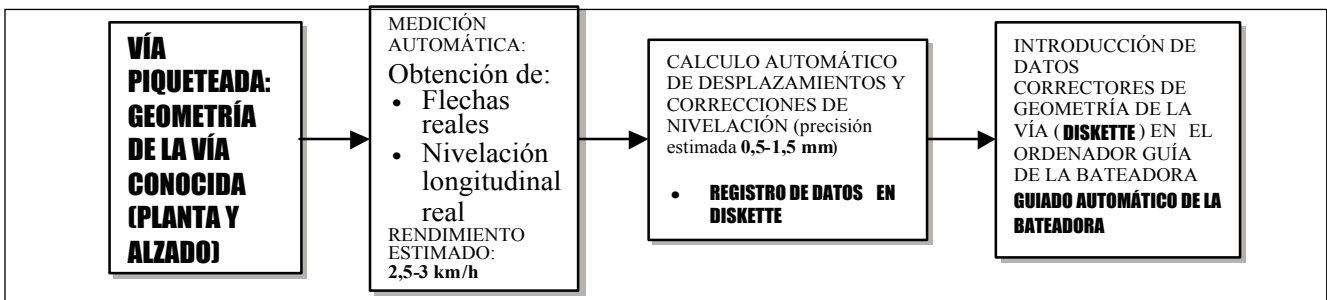
Estos vehículos de control del estado geométrico de la vía pueden presentar los resultados de la medición en tiempo real, con salida desde una impresora conectada al analizador numérico informático. Entre estos

resultados se encuentran para cada parámetro medido: nivelación longitudinal, alabeo, ancho, nivelación transversal y alineación, aquellas muestras que superan los límites establecidos, indicando el punto kilométrico donde se registró, así como su magnitud (expresada en mm). También expresan el índice de calidad de cada parámetro ( $s_i$ ) así como el índice de calidad del tramo  $Q$ .

Con el conocimiento de estos datos se puede valorar el estado de la geometría de la vía y establecer los planes de conservación necesarios por la Administración competente.

## 6. EL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE LA VÍA

Visto el estado geométrico de una vía y supuesta una necesaria conservación, se procederá a la implantación de las tareas necesarias para ello. En este proceso intervendrán numerosos factores y variables, como son que la vía esté piqueteada o no, que los trabajos sean sólo de conservación en vías existentes o bien que sean para tendidos nuevos,



Cuadro 1

RESULTADOS DE MEDICIÓN CON UN COCHE MEDIDOR DE GEOMETRÍA DE VÍA

| MEDICIÓN TRANSVERSAL               |                | COMIENZO    |                 | FINAL                |                   |              |
|------------------------------------|----------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|--------------|
| 3. Estación                        |                | 0.1+        | 49.350          | 0.2+ 15.900          |                   |              |
| Desplazamiento Deseado             |                | 0.0         |                 | 0.0                  |                   |              |
| Levante Deseado                    |                | 0.0         |                 | 0.0                  |                   |              |
| Longitud Definida del Tramo:       |                |             | 66.6            |                      |                   |              |
| Longitud Medida del Tramo:         |                |             | 66.4            |                      |                   |              |
| Alineación del Hilo de Referencia: |                |             | Izquierda       | Derecha              |                   |              |
| Nivelación del Hilo de Referencia: |                |             |                 |                      |                   |              |
| Estación                           | Flecha Teórica | Flecha Real | Desplazam. (mm) | Nivel. Long. Teórica | Nivel. Long. Real | Levante (mm) |
| 0.1+ 49.530                        | 0.0            | 0.0         | 0.0             | 0.0                  | 0.0               | 0.0          |
| 0.1+ 50.000                        | 9.0            | 12.9        | -3.9            | 0.0                  | -1.1              | 1.1          |
| 0.1+ 55.000                        | 76.0           | 79.4        | -3.4            | 4.0                  | 2.3               | 1.7          |
| 0.1+ 60.000                        | 147.0          | 149.6       | -2.6            | 7.0                  | 4.2               | 2.6          |
| 0.1+ 65.000                        | 216.0          | 218.6       | -2.6            | 10.0                 | 3.1               | 6.9          |
| 0.1+ 70.000                        | 282.0          | 285.8       | -3.8            | 12.0                 | 4.7               | 7.3          |
| 0.1+ 75.000                        | 349.0          | 351.5       | -2.5            | 13.0                 | 6.3               | 6.7          |
| 0.1+ 80.000                        | 413.0          | 416.4       | -3.4            | 13.0                 | 5.2               | 7.8          |
| 0.1+ 85.000                        | 466.0          | 468.5       | -2.5            | 13.0                 | 3.2               | 9.8          |
| 0.1+ 90.000                        | 501.0          | 504.3       | -3.3            | 12.0                 | 5.5               | 6.5          |
| 0.1+ 95.000                        | 496.0          | 497.8       | -1.8            | 11.0                 | 2.3               | 8.7          |
| 0.2+ 0.000                         | 455.0          | 457.1       | -2.1            | 6.0                  | 4.0               | 4.0          |
| 0.2+ 5.000                         | 374.0          | 375.2       | -1.2            | 6.0                  | 3.2               | 2.8          |
| 0.2+ 10.000                        | 230.0          | 228.3       | 1.7             | 2.0                  | 1.0               | 1.0          |
| 0.2+ 15.000                        | 41.0           | 36.6        | 4.2             | 1.0                  | 1.1               | -0.1         |
| 0.2+ 15.900                        | 0.0            | 0.0         | 0.0             | 0.0                  | 0.0               | 0.0          |

Figura 7

que las máquinas de tratamiento posterior (bateadoras) tengan posibilidad de transferencia automática de datos, etc.. En nuestro caso, supondremos trabajos de conservación de vía piqueteada con capacidad de la máquina bateadora para introducción de datos en soporte magnético. El proceso a seguir es el mostrado en el cuadro I.

En las figuras 7 y 8 se muestran respectivamente los resultados de medición de un coche medidor de la geometría de la vía (fuente: Bernhard Lichtberger: PLASSER & THEURER. Madrid 1991), así como el aspecto de una máquina bateadora en pleno trabajo.

## 7. CONCLUSIÓN

Las distintas administraciones ferroviarias en muchos países están implantando líneas de ferrocarril de alta velocidad o bien consideran necesario el incremento de las velocidades de circulación, todo ello contemplando el aumento de las cargas por eje y de la frecuencia de circulación, pero sin renunciar e incluso incrementar las condiciones de seguridad en la circulación y confort en el viaje.

El conocimiento exacto de los parámetros geométricos de la vía (alineación, nivelación longitudinal y peralte) así como el estado de su posición absoluta (con referencia al piqueteado y puntos de marcaje) condicionan el cumplimiento de los objetivos de calidad.

En este artículo hemos visto cómo la medición de los parámetros geométricos de la vía pueden hacerse de forma manual o mecanizada, con la utilización de sofisticadas máquinas que mejoran los trabajos en cuanto a precisión, tiempo y costes, pero en este complicado proceso existe uno que es puramente topográfico y que además debe gozar de las máximas condiciones de precisión y fiabilidad, así como de permanencia, que es el establecimiento del PIQUETEADO DE LA VÍA y de los PUNTOS DE MARCAJE, anteriormente comentados, que constituyen las auténticas referencias a las que están referidos los parámetros geométricos del proyecto teórico de ejecución de la vía en cada punto y, por tanto, constituyen el "marco geométrico" en el que se apoyarán las máquinas encargadas de la medición mecanizada de la vía en los procesos de conservación de la misma.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LOSADA, M. "Geometría y Calidad de la Vía". E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Universidad Politécnica de Madrid). Madrid.



Figura 8

- RENFE. "Constitución de las alineaciones curvas y rectificación". Madrid, 1961.
- SÁNCHEZ RÍOS, A. "Replanteo de Líneas de Ferrocarril. Alta Velocidad". Topografía y Cartografía, Vol. VIII, n.º 36, 1990.
- SÁNCHEZ RÍOS, A.; PÍRIZ MIRA, G.; GARCÍA DE PRADO, J. "Sistemas de Ingeniería: Consideraciones en la Implantación de Infraestructura Viaria de Alta Velocidad". Topografía y Cartografía, Vol. XVIII, n.º 102, 2000.
- BERNHARD LICHTBERGER. "La medición de la vía mecanizada". PLASSER & THEURER. Madrid, 1991
- Normas RENFE-Vía 1-0-30; "Estudios-Topografía". Madrid, 1980.
- Normas RENFE-Vía 7-3-0.0/2; "Calificación de la Vía. Geometría de la Vía". Madrid, 1985.
- Normas RENFE-Vía 7-1-01; "Vía-Replanteo de la vía". Madrid, 1982.
- Normas RENFE-Vía 7-1-02; "Replanteo y Marcaje de la vía por coordenadas". Madrid, 1991. ■

# Datum y Red Geodésica europeos modernos

Jaroslav Simek, Jan Kostecký

INSTITUTO DE GEODESIA, TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA

OBSERVATORIO GEODÉSICO DE PEČNÝ

REPÚBLICA CHECA

## Resumen

*En el posicionamiento geodésico espacial es de vital importancia la definición y establecimiento de unos sistemas precisos de referencia terrestres e inerciales. El Sistema de Referencia Terrestre Convencional, que está siendo controlado por el IERS (International Earth Rotation Service) se conoce como ITRS (International Terrestrial Reference System). Las versiones del ITRS se realizan bajo el nombre de ITRF (International Terrestrial Reference Frame). A partir de cada marco de referencia terrestre anual, denominado ITRF-XX, se puede obtener el correspondiente ETRF-XX (Marco de Referencia Terrestre Europeo) que está representado por las coordenadas de las estaciones ITRF situadas en Europa. El sistema de referencia terrestre empleado por el Departamento de Defensa de los U.S.A. para GPS es el WGS-84. Este sistema geocéntrico mundial, después de varias mejoras, coincide con el ITRF96 con un margen de escasos centímetros (WGS-84(G873)).*

*La demanda, por parte de los usuarios de GPS de Europa, de un nuevo marco de referencia tridimensional se hizo apremiante a finales de los años 80 y, en consecuencia, la Sección I de la IAG (Posicionamiento) decidió en 1987 formar una nueva subcomisión en EUREF (European Reference Frame) cuya misión era la de desarrollar un Sistema Europeo de Referencia basado en el GPS. Al mismo tiempo, el Grupo de Trabajo VIII (Geodesia) de CERCO (Comité Europeen des Responsables de la Cartographie Officielle) llegó a la misma decisión.*

*Este artículo expone brevemente las características de los sistemas de referencia geocéntricos y de los marcos de referencia y sus interrelaciones y describe la evolución del proyecto de EUREF, desde su inicio hasta la actualidad; también informa acerca de la organización y desarrollo de la red EUREF permanente de GPS y acerca de los objetivos y evolución de un sistema europeo de altitudes con destino a los SIG (Sistemas de Información Geográfica) y a la geodinámica, junto con los actuales logros en el modelado de precisión del geoide en Europa. También se discute brevemente la viabilidad de una mejora de las redes terrestres clásicas basada en EUREF y de la determinación de altitudes mediante GPS, para todo el continente.*

## I. INTRODUCCIÓN

En el posicionamiento geodésico espacial, donde las técnicas de observación suministran unas posiciones absolutas con respecto a un marco de referencia terrestre consistente, es de vital importancia la correspondiente definición y establecimiento de unos sistemas precisos de referencia terrestres e inerciales. Gracias a las notables mejoras habidas en la tecnología de los receptores, a la extensión y densificación de la red mundial de seguimiento, junto con la más precisa determinación de posiciones y velocidades de las estaciones de seguimiento, y a la drástica mejora de las órbitas de satélite, el GPS se está aproximando hoy día a una precisión de una parte por mil millones para grandes líneas de base, y puede considerarse que es un sistema de posicionamiento mundial que suministra posiciones tridimensionales casi instantáneas con un nivel de precisión de 1 ó 2 cm. En relación a esto, el

sistema de referencia es una de las fuentes primarias de error que limitan su aplicación.

Este artículo expone brevemente las características de los sistemas y marcos de referencia geocéntricos y sus interrelaciones, describe la evolución del proyecto EUREF (Red Europea de Referencia) desde sus inicios hasta el momento actual, aborda, sin profundizar, las estrategias actuales de observación y de proceso, informa acerca de la organización y desarrollo de la red permanente de GPS EUREF y acerca de los objetivos y evolución del sistema europeo de altimetría para aplicaciones de SIG (Sistemas de Información Geográfica) y geodinámica junto con los actuales logros del modelado de precisión del geoide en Europa. También se discute sucintamente la posibilidad de mejorar las redes terrestres clásicas basándose en EUREF y de la determinación de altitudes a lo largo de las naciones y del continente.

## 2. SISTEMAS DE REFERENCIA Y MARCOS DE REFERENCIA

### 2.1. El Sistema Internacional de Referencia Celeste (ICRS)

El Sistema Internacional de Referencia Celeste (ICRS) y el Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS) son dos sistemas de referencia fundamentales para poder resolver los problemas geodésicos y geodinámicos con la mayor precisión. Ambos sistemas se obtienen mediante las más avanzadas técnicas de observación geodésica espacial de precisión, en un marco de cooperación internacional, y con una especial atención a su mantenimiento. El ICRS es la base para la obtención de un sistema inercial que sirve, entre otras cosas, para la descripción de los movimientos de los cuerpos celestes y de los satélites artificiales. El ITRS representa el más preciso sistema de referencia mundial terrestre y sirve como punto de partida para la definición de otros sistemas de referencia mundial (como, por ejemplo, el WGS84) o de referencia continental o regional (por ejemplo el ETRS89, etc.). El ICRS consiste en una serie de algoritmos y constantes recomendadas para su definición y en el Marco Internacional de Referencia Celeste (ICRF). Estos algoritmos y constantes generalmente incluyen un conjunto de parámetros y procedimientos de cálculo aprobados internacionalmente (por ejemplo: fórmulas de precesión y nutación, coeficientes de precesión, amplitudes de nutación, velocidad de la luz, etc.).

### 2.2. El Marco Internacional de Referencia Celeste (ICRF)

Como se ha dicho antes, el ICRS es obtenido mediante el ICRF, de acuerdo con las recomendaciones de la Unión Astronómica Internacional (IAU). El ICRF está definido por las coordenadas ecuatoriales de precisión "J2000.0", de fuentes extragalácticas de radio determinadas mediante observaciones de interferometría de muy larga base (VLBI). Se trata de un marco de referencia cuyas direcciones son consistentes con las del catálogo FK5. Su origen se sitúa en el baricentro del sistema solar, empleando para ello observaciones de modelado adecuadas dentro del marco de trabajo de la relatividad general. La estabilidad rotacional del marco se basa en la hipótesis de que las fuentes de radio carecen de movimientos propios. Se hacen comprobaciones de forma regular para asegurar la validez de esta restricción. La estimación de las coordenadas, efectuada por el IERS, se basa en marcos de referencia individuales suministrados por los centros de análisis de IERS. Cada año se generan varios marcos de referencia extragalácticos por grupos independientes de VLBI. El ICRF se forma a partir de una selección de los mismos. El algoritmo selectivo está diseñado primariamente para mantener fijas las direcciones de los tres ejes en las sucesivas determinaciones, a la vez que se mejoran las coordenadas de las fuentes individuales. Algunos de los errores sistemáticos en las posiciones de las fuentes y en la orientación de los ejes, pueden estar originados por las imprecisiones de las teorías convencionales de precesión y nutación de la IAU. Estos

errores se sitúan en el nivel de escasos milianosegundos. Otro tipo de error sistemático posible se relaciona con las observaciones de escasa elevación, en el caso de extensión de norte a sur de la red de observaciones. El acceso al ICRS se hace mediante el catálogo de coordenadas de las fuentes, publicado en 1994 en el informe anual del IERS. Incluye un total de 608 objetos cuyas coordenadas se controlaran en base a nuevas observaciones y nuevos análisis.

### 2.3. El Sistema Convencional de Referencia Terrestre (CTRS)

Para poder resolver los problemas prácticos de la navegación, la Geodesia, la Geodinámica, la Geofísica y de otras ciencias de la Tierra, es necesario disponer de un sistema de coordenadas conectado firmemente al globo terráqueo. Así pues, es necesario definir un sistema geocéntrico terrestre que permita resolver los problemas del posicionamiento mundial con el mayor nivel de precisión. El Sistema Convencional de Referencia Terrestre adoptado tanto para el análisis de los conjuntos de datos individuales obtenidos mediante técnicas de observación (VLBI, SLR, LLR, GPS, DORIS, PRARE), como para la combinación de soluciones individuales en un conjunto unificado de datos (coordenadas de estaciones, parámetros de orientación de la Tierra, etc.) sigue, de acuerdo con la resolución nº 2 de la Asociación Geodésica Internacional (IAG), adoptada por la Asamblea General de la IUGG de Viena en 1991, los siguientes criterios:

- CTRS es un sistema local de coordenadas dentro del contexto de la teoría de la relatividad, válido para la Tierra y sus alrededores, con un nivel de precisión relativa de  $10^{-10}$ .
- CTRS es un sistema cuasi-cartesiano en rotación, definido a partir de un sistema geocéntrico sin rotación, mediante una rotación espacial.
- El tiempo coordinado es el Tiempo Geocéntrico Coordinado (TGC).
- CTRS es geocéntrico y el centro de masas está definido para la totalidad de la Tierra, incluyendo a los océanos y a la atmósfera.
- Su escala es la del marco local de la Tierra, en el contexto de la teoría de la relatividad de la gravitación.
- Su orientación viene inicialmente dada por la orientación del eje Z de "BIH 1984.0" dirigido hacia el polo de referencia IERS que es idéntico con el CIO (Origen Internacional Convencional) y los ejes X y Y forman el plano del meridiano cero, idéntico al del "BIH 1984.0".
- Su evolución temporal en orientación no generará una rotación global residual con respecto a la corteza terrestre.

### 2.4. Marcos de Referencia Terrestre

El Sistema Convencional de Referencia Terrestre se obtiene a través de un marco de referencia, es decir, de un conjunto de coordenadas de una red de estaciones. Las técnicas de observación empleadas son VLBI, SLR,

LLR, GPS, DORIS, PRARE o una combinación de las mismas. Su materialización se especifica en coordenadas cartesianas ecuatoriales y en el caso de que se necesiten coordenadas geográficas, éstas deben de referenciarse en el elipsoide GRS80. El Sistema Convencional de Referencia Terrestre, que es controlado por el IERS (Servicio Internacional de Rotación de la Tierra), se conoce como ITRS (Sistema Internacional de Referencia Terrestre). Cada técnica geodésica espacial suministra su correspondiente conjunto de datos, cuyo análisis conduce a una versión del ITRS. Dentro del IERS, cada Marco de Referencia Terrestre se expresa, bien directamente o bien tras su transformación, como un producto del ITRS. La posición de un punto situado sobre la superficie de la Tierra en una época “*t*”, cuyas coordenadas “*x(t)*” son funciones del tiempo, se expresa como:

$$X(t) = X_0 + \frac{dX_0}{dt}(t - t_0) + \sum_x \Delta X_x(t) \quad [1]$$

donde  $\Delta X_x$  son las correcciones debidas a diversos efectos variables en el tiempo (desplazamientos ocasionados por las mareas terrestres, incluidos los efectos permanentes, la carga de los océanos, las mareas polares, el efecto de la repercusión postglacial, la carga atmosférica, los efectos sísmicos y volcánicos, las variaciones de nivel de las aguas subterráneas, las variaciones del geocentro)  $X_0$  y  $t_0$  son las coordenadas y el tiempo de la época inicial. Para poder alcanzar la precisión relativa requerida de  $10^{-10}$ , se deben determinar las correcciones con una precisión de aproximadamente 1mm.

Las versiones del ITRS son producidas por IERS bajo el nombre de Marcos de Referencia Terrestre Internacional (ITRF). Estas versiones consisten en listas de coordenadas y velocidades en emplazamientos de IERS seleccionados. El IERS se representa en versiones sucesivamente mejoradas y que se conocen como ITRF-YY, publicadas en los informes anuales de IERS de cada año (YY). A partir de cada marco anual etiquetado como ITRF-YY, se puede derivar el correspondiente ETRF-YY, que viene representado por las coordenadas de los emplazamientos de ITRF situados en Europa.

## 2.5. El Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS84)

El sistema de referencia terrestre empleado por el Departamento de Defensa de los EEUU para el posicionamiento mediante GPS es el WGS84. Este sistema geocéntrico mundial es el cuarto de una serie de sistemas de coordenadas geocéntricos mundiales definidos por dicho Departamento de Defensa desde 1960 (ver *Malys y Slater, 1994*). Al Sistema Geodésico Mundial de 1960 le siguieron una serie de sistemas optimizados en 1966 y 1972, que culminaron con el desarrollo del WGS84. Este Sistema Convencional de Referencia Terrestre ofrece un

sistema coherente de modelos y definiciones mundiales que constituyen la base de toda la cartografía, la geodesia y la navegación del Departamento de Defensa de los EEUU. Originalmente se basó en las observaciones TRANSIT de Doppler, efectuadas desde un conjunto de estaciones de seguimiento distribuidas por todo el mundo. Estas técnicas de satélite TRANSIT suministraron un marco mundial de referencia con una precisión estimada de 1 a 2 m. Durante la última década, los esfuerzos realizados por la comunidad científica internacional, a demanda de aquellas aplicaciones científicas que requieran de una precisión milimétrica, han dado como resultado el desarrollo de marcos de referencia terrestre de mucha precisión (ITRF). Entre ambos extremos, algunas necesidades del Departamento de Defensa de los EEUU para posicionamiento geodésico habían demandado una precisión dentro del rango del decímetro. Por estas razones, el NIMA ha estado realizando una revisión del WGS84 y ha iniciado esfuerzos para su mejora y mantenimiento, a fin de satisfacer estos mayores requisitos del Departamento de Defensa de los EEUU en cuanto a exactitud y precisión. Estos esfuerzos han incluido una mejora de las coordenadas de las estaciones de seguimiento por GPS del Departamento de Defensa, un refinamiento del modelo gravitatorio terrestre, el establecimiento de un geoide mejorado (EGM96) como referencia vertical mundial preferida y un examen de los demás modelos y parámetros incluidos en la definición del WGS84. Después de varias mejoras, que también incluyeron la definición de una constante geocéntrica más precisa, de acuerdo con los estándares de IERS, la última versión, conocida como WGS84(G873), coincide con el ITRF-96, dentro de un margen de escasos centímetros. Se asume que las actividades de refinamiento del futuro se centrarán en la mejora del modelo de gravedad de la Tierra y de su geoide asociado. El mantenimiento del marco de referencia se hará a partir de los desplazamientos de las placas tectónicas y por relocalización de estaciones. Los usuarios más exigentes del WGS84 hallarán necesario el incorporar modelos para tener en cuenta los efectos de las mareas terrestres.

## 2.6. Transformaciones entre Marcos de Referencia

La relación entre el Marco Internacional de Referencia Celeste (ICRF) y el Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF) se describe mediante la fórmula:

$$X_{ICRF} = PNTXY \cdot X_{ITRF} \quad [2]$$

en donde **P** es la matriz de precesión, **N** la matriz de nutación, **T** es la matriz que expresa la rotación para un tiempo sidéreo verdadero **S** y **XY** son las matrices de transformación desde el marco terrestre al marco conectado con el polo instantáneo de efemérides,  $X_{ICRF}$  es el vector relacionado con el ICRF y, análogamente,  $X_{ITRF}$  es el vector relacionado con los ejes ITRF.

La fórmula de transformación entre los dos marcos de referencia terrestre es:

$$\begin{pmatrix} xs \\ ys \\ zs \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad [3]$$

en donde **T1**, **T2**, **T3** son las translaciones, **R1**, **R2**, **R3** son las rotaciones y **D** es el coeficiente de escala. En la Tabla 2.1 se dan los valores numéricos de los parámetros de la transformación entre la última versión ITRF-97 y las versiones precedentes ITRF-YY. Nótese que, con respecto a la manera diferente de formar ITRF-93, deben de introducirse las variaciones de tiempos en las transformaciones a este sistema. El ITRF-97 se creó a partir de la combinación de las coordenadas de más de 550 estaciones de observación, situadas en 325 lugares. Los conjuntos de coordenadas provenían de diversas técnicas geodésicas espaciales (4 de VLBI, 5 de SLR, 6 de GPS, 3 DORIS y 1 de la combinación de SLR+DORIS) y fueron recogidas por IERS en 1998-99.

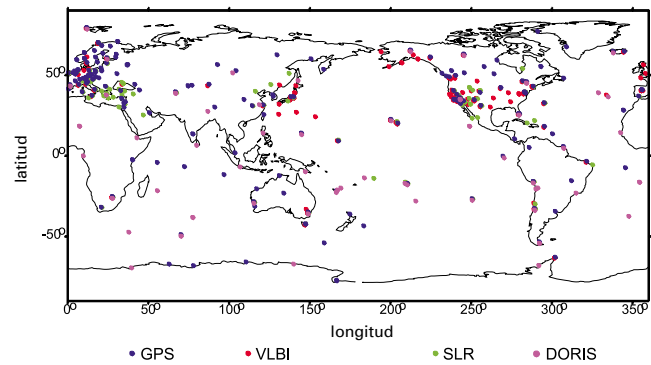
La distribución de las estaciones empleadas para definir ITRF-97 se muestra en la figura 1.

### 3. EUREF: EVOLUCIÓN, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS

El GPS, en su primera fase de empleo, sólo se usaba como un nuevo método de medición en las redes clásicas de control horizontal. Sus principales ventajas, en comparación con otros métodos de medición, eran su flexibilidad, eficacia, precisión en distancias largas y economía.

A finales de los 80 los usuarios europeos demandaron un nuevo marco de referencia tridimensional. De ahí que, en 1987, la sección I (Posicionamiento) de la IAG, decidió formar una nueva subcomisión para EUREF (European Reference Frame) cuya misión era la de desarrollar un Siste-

ETRF-97 - Distribución de las estaciones



ma Europeo de Referencia basado en el GPS. Al mismo tiempo, el Grupo de Trabajo VIII (Geodesia) de CERCO (Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle), con independencia de la IAG, llegó a la misma decisión. El nuevo sistema, que comenzó a desarrollarse conjuntamente por ambas organizaciones, debería de cumplir los siguientes requisitos:

- Representar una referencia geodésica para cualquier proyecto geodésico o geodinámico de precisión sobre la placa europea.
- Ser una referencia de precisión, muy próxima al WGS84, para la geodesia y todo tipo de navegación en Europa,
- Constituir una referencia continental y moderna para las bases de datos cartográficas en Europa, que no pueden seguir basándose en la diversidad de datum nacionales que hay en Europa.

Como por aquel entonces las soluciones combinadas de SLR/VLBI de IERS (ITRS/ITRF) eran, con diferencia, las mejores versiones mundiales de un sistema geocéntrico de referencia, se decidió basar a EUREF sobre el ITRF mediante la selección de 35 emplazamientos de SLR/VLBI en Europa, para la época 1989. Así pues, el marco de referencia terrestre europeo (ETRF-89), definido de esta forma, es un subconjunto de datos

| Red de Referencia | T1 cm        | T2 cm         | T3 cm         | D ppb | R1 mas         | R2 mas        | R3 mas         | Epoch Año |
|-------------------|--------------|---------------|---------------|-------|----------------|---------------|----------------|-----------|
| ITRF88            | 1,8          | 0,0           | -9,2          | 7,4   | 0,1            | 0,0           | 0,0            | 1988,0    |
| ITRF89            | 2,3          | 3,6           | -6,8          | 4,3   | 0,0            | 0,0           | 0,0            | 1988,0    |
| ITRF90            | 1,8          | 1,2           | -3,0          | 0,9   | 0,0            | 0,0           | 0,0            | 1988,0    |
| ITRF91            | 2,0          | 1,6           | -1,4          | 0,6   | 0,0            | 0,0           | 0,0            | 1988,0    |
| ITRF92            | 0,8          | 0,2           | -0,8          | -0,8  | 0,0            | 0,0           | 0,0            | 1988,0    |
| ITRF93            | 0,6-0,29/año | -0,5-0,04/año | -1,5-0,08/año | 0-4   | -0,39-0,11/año | 0,80-0,19/año | -0,96-0,05/año | 1988,0    |
| ITRF94            | 0,0          | 0,0           | 0,0           | 0-0   | 0,0            | 0,0           | 0,0            | 1988,0    |
| ITRF96            | 0,0          | 0,0           | 0,0           | 0-0   | 0,0            | 0,0           | 0,0            | 1988,0    |

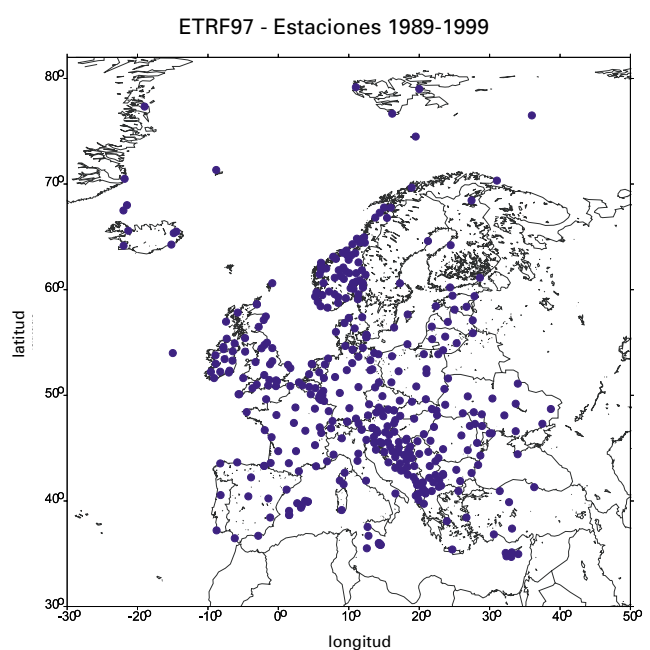
Tabla 1. Los parámetros de la transformación entre ITRF-97 y los marcos de referencia precedentes

| N.º | Nombre               | Intervalo de tiempo    | N.º de estaciones | País                              |
|-----|----------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| 0   | ITRF                 |                        | 42                |                                   |
| 1   | GPS EUREF 89         | Mayo 89                | 93                | Europa                            |
| 2   | Mobile VLBI 89       | Junio-sept. 89         | 6                 | Europa                            |
| 3   | EUREF NW 90          | Julio-Agosto 90        | 39                | Noroeste                          |
| 4   | EUREF CS/H 91        | Oct.-Nov. 91           | 22                | Checoslovaquia, Hungría           |
| 5   | Mobile VLBI 92       | Mayo-Agosto 92         | 8                 | Europa                            |
| 6   | EUREF POL 92         | Julio 92               | 30                | Polonia                           |
| 7   | EUREF BAL 92         | Agosto-Sept.92         | 24                | Báltico                           |
| 8   | EUREF BUL 92         | Octubre 92             | 14                | Bulgaria                          |
| 9   | EUREF GB 92          | Octubre 92             | 31                | G. Bretaña                        |
| 10  | EUREF CYP 93         | Enero 93               | 11                | Chipre                            |
| 11  | EUREF D93            | Mayo 93                | 27                | Alemania, Holanda                 |
| 12  | EUREF F93 (RRF93)    | Marzo-Abril 93         | 23                | Francia                           |
| 13  | EUREF LUX BD94       | Marzo 94               | 19                | Luxemburgo, Bélgica, Alemania     |
| 14  | EUREF SLO/CRO 94     | Mayo-Junio 94          | 22                | Croacia, Eslovenia                |
| 15  | EUREF DK 94          | Agosto-Sept. 94        | 12                | Dinamarca                         |
| 16  | EUREF Ukraina 94     | Junio 94               | 14                | Ucrania                           |
| 17  | EUREF ROM 94         | Sept. 94               | 17                | Rumania                           |
| 18  | EUREF NOR 94/95      | Sep-Oct 94, Ago-Oct 95 | 87-70             | Noruega                           |
| 19  | EUREF A 94/95        | Oct. 94/95             | 17                | Austria                           |
| 20  | EUREF EIR/GB 95      | Abril 95               | 24                | Irlanda, GB                       |
| 21  | EUREF Iberia 95      | Mayo 95                | 43                | España, Portugal                  |
| 22  | EUREF Iceland 95     | Julio 95               | 191               | Islandia                          |
| 23  | EUREF FYROM 96       | Agosto 96              | 10                | Macedonia                         |
| 24  | EUREF Malta 96       | Oct-Nov. 96            | 13                | Malta                             |
| 25  | EUREF Balear 98      | Abril 98               | 6                 | Baleares                          |
| 26  | EUREF Alb., BH, Yug. | Sept. 98               | 29                | Albania, Bosnia-Herz., Yugoslavia |
| 27  | EUREF Moldova        | Mayo 99                | 5                 | Moldovia                          |

**Tabla 2. Las campañas de EUREF**

de la solución global ITRF-89. Debido al desplazamiento tectónico de las placas, las coordenadas de este subconjunto de estaciones experimentan una lenta variación, que se estima que es de 2,7 cm/año. Por ello se decidió que el ETRF-89 debería de rotar junto con la parte estable de Europa, de modo que las relaciones geométricas entre las estaciones se mantuvieran fijas. Obviamente y a consecuencia de ello, las relaciones geométricas, definidas en otro sistema de referencia, pueden ser ligeramente diferentes. Así pues, los parámetros de la transformación entre ETRF-89 y otros sistemas geocéntricos (ETRF-YY, ITRF-YY,WGS84), han de determinarse y modificarse de forma regular.

La campaña principal del proyecto se efectuó en 1989 en Europa occidental y, a partir de 1991, el nuevo marco de referencia terrestre se extendió, mediante una rápida secuencia de posteriores campañas, a la mayoría de los territorios de los países europeos y áreas adyacentes. EUREF recubre, en la actualidad, la mayoría de los países europeos, excepto Rusia y Bielorrusia, y en la mayoría de los países su actualización



y densificación intensiva está en progreso o ya se ha efectuado. En la Tabla 2 se pasa revista a las campañas de EUREF y en la figura 2 se muestra la distribución de las estaciones de EUREF en Europa. Dado que EUREF, en su conjunto, se basa en varias campañas efectuadas a lo largo de un periodo de más de 10 años, resultó útil introducir una clasificación por calidades en los conjuntos de coordenadas de las estaciones, procedentes de las distintas campañas GPS. La clase de calidad A supone un nivel de precisión de 1 cm en una época dada y la clase C una precisión de 5 cm en el periodo 89-99.

El mantenimiento y la densificación de EUREF se está realizando principalmente mediante GPS, beneficiándose del número creciente de estaciones de GPS permanentes existentes en Europa. Estas estaciones se están estableciendo generalmente para:

- Permitir la unión entre ETRS/ITRS y los sistemas de referencia nacionales (locales) a través de EUREF/IGS.
- Aplicaciones de topografía basadas en el post-proceso de los datos.
- Navegación en tiempo real y aplicaciones topográficas con diferentes niveles de precisión (DGPS, RTK, etc.).
- Monitorizar las deformaciones (resurgimiento post-glacial, desplazamientos tectónicos a lo largo de fallas activas, etc.).

La mayoría de estas estaciones no forman parte de la red mundial IGS, por lo que en 1995 el Simposio de EUREF, en respuesta a la "Demanda de Densificación de la ITRF mediante el Análisis Regional de GPS como Centro Asociado de Análisis de Redes", propuso a IGS el considerar que la red permanente EUREF fuese la densificación europea de la red mundial IGS. Esta propuesta fue aceptada oficialmente por IGS en mayo de 1996. En consecuencia, EUREF garantizaba un análisis rutinario de los datos de todas las estaciones europeas permanentes, en base a procesos distribuidos. El trabajo queda asegurado por los 10 Centros de Análisis Locales de EUREF, que submiten semanalmente las soluciones de cualquier subred EUREF en particular al Centro EUREF de Análisis Regional de CODE, Berna, que es el responsable de combinar estas soluciones semanales de las subredes libres en una solución europea unificada que se entrega a IGS. En mayo de 1997, el centro de análisis de CODE entregó su primera solución EUREF anual a IERS y, desde entonces, todas las estaciones permanentes de EUREF se han incluido en las versiones de ITRS, posibilitando el emplearlas como estaciones básicas en el análisis de las campañas EUREF. Inicialmente, la red consistía en unas 50 estaciones permanentes, siendo actualmanete cerca de 90 las estaciones permanentes GPS que contribuyen de forma regular a la solución europea combinada. Algunas de ellas están suministrando archivos de datos cada hora para aplicaciones meteorológicas basadas en GPS. El trabajo de la red permanente EUREF está coordinado por el Observatorio Real de Bélgica, estando en la actualidad en transición hacia el "Servicio de Redes de EUREF", que consta de estaciones permanentes, centros de proceso y análisis de datos, un comité ejecutivo, una oficina central y proyectos especiales.

#### 4. EUREF Y LOS SISTEMAS NACIONALES DE REFERENCIA TERRESTRE

Como ya se ha dicho, no hay duda de que el GPS permite un enfoque totalmente nuevo y eficaz para el establecimiento de un marco de referencia tridimensional que asegure un posicionamiento homogéneo y con mucha precisión en todo el globo terráqueo. En Europa, el rápido desarrollo acaecido durante la última década ha ocasionado, en la mayoría de los países, una situación en la que coexisten las redes de control geodésico de nueva generación (ETRF) con las redes geodésicas clásicas de control horizontal y vertical, que aun son utilizadas por un gran número de usuarios, que emplean técnicas avanzadas de levantamiento terrestre. Las primeras se caracterizan por su alto grado de exactitud, precisión, homogeneidad e integridad y por una densidad que varía en los diferentes países europeos y que va desde 1 punto cada 50 km<sup>2</sup> hasta 1 punto cada 500 km<sup>2</sup>, dependiendo del estado de su proceso de densificación. Las segundas establecen la clásica distinción entre la componente horizontal y la vertical y se referencian con respecto al sistema nacional de referencia para las coordenadas horizontales y al datum nacional vertical, teniendo una densidad de un punto cada 2 a 200 km<sup>2</sup>, dependiendo de la zona del país, y una precisión de un orden de magnitud inferior a las de los marcos de referencia que se basan en GPS, teniendo también una homogeneidad deficiente. En la actualidad hay 46 países en Europa y, de acuerdo con Grothenn (1994), 5 elipsoides de referencia distintos y, al menos, 8 proyecciones cartográficas diferentes en uso.

Obviamente, la primera tarea es la de obtener los parámetros de transformación entre los sistemas nacionales de referencia terrestre y el ETRF. En este aspecto, el problema normalmente se reduce a la elección óptima de una rutina de transformación y al número y distribución de los puntos afines. Ambos aspectos se relacionan directamente con la forma y extensión de la zona. Aunque, como consecuencia de la mencionada coexistencia, surge la inevitable pregunta: ¿Cómo puede emplearse el preciso y homogéneo marco de referencia basado en GPS para mejorar el marco de referencia terrestre clásico?

De acuerdo con la tradición topográfica y geodésica, con el actual trabajo cartográfico y considerando el punto de vista económico y las actuales necesidades de la comunidad topográfica, un marco de coordenadas contemporáneo debería de cumplir los siguientes requisitos:

- Permitir el uso directo de las técnicas GPS, es decir estar representado mediante un conjunto de coordenadas egocéntrico.
- Permitir el uso de las más avanzadas técnicas de la topografía terrestre clásica, es decir, emplear un conjunto de coordenadas planas referidas a la proyección cartográfica nacional del usuario.
- Permitir el uso, sin cambios, de los trabajos cartográficos ya existentes, a escalas 1:1.000 e inferiores.

- Atender las necesidades de los levantamientos topográficos catastrales y de ingeniería y de la localización de datos en los Sistemas de Información Geográfica y en los Sistemas de Información Territorial.
- Hacer un uso extenso de los sistemas de referencia ya existentes.

Hoy en día, cada país europeo que se ha integrado en el proyecto EU-REF tiene la oportunidad de mejorar la precisión de su actual red geodésica, de obtener las coordenadas de alta precisión de decenas de miles de puntos de control y, además de todo ello, obtener las coordenadas ETRF de todos estos puntos, con el nivel de precisión del sistema de coordenadas terrestre mejorado, mediante la adecuada transformación. Se pueden adoptar distintas estrategias para la mejora de la red de control terrestre mediante el sistema de referencia ETRF. A continuación se ilustra una de estas estrategias posibles con un ejemplo de la República Checa:

Transformación  $(B, L, H_{el})_{ETRF89} \Rightarrow (x, y, H_n)_{nacional}$

$(B, L, H_{el})_{ETRF89} \Rightarrow (1) \Rightarrow (X, Y, Z)_{ETRF89} \Rightarrow (2) \Rightarrow (X, Y, Z)_{nacional} \Rightarrow (3) \Rightarrow (B, L, H_{el})_{nacional} \Rightarrow (4) \Rightarrow (x, y)_{nacional}$

$(H_{el}) \Rightarrow (5) \Rightarrow (H_n)$ ,

Donde (1) es la transformación entre coordenadas elipsoidales y cartesianas, (2) es la transformación de Helmert tridimensional (7 parámetros), (3) es la inversa de (1), (4) es la proyección cartográfica nacional (en este caso la cónica oblicua conforme) incluyendo la distribución polinómica de los residuos  $\Delta x, \Delta y$  obtenidos después de la transformación.

La transición desde el ETRF-89 al sistema nacional de referencia (S-JTSK), representado por las coordenadas planas que resultan de la proyección cónica oblicua conforme sobre el elipsoide de Bessel, se ha efectuado en dos etapas. Primero se aplicó la transformación de Helmert de 7 parámetros, tras la aplicación de la proyección cartográfica nacional a las coordenadas elipsoidales transformadas, a fin de obtener las coordenadas X, Y planas. Segundo, se distribuyen los residuos

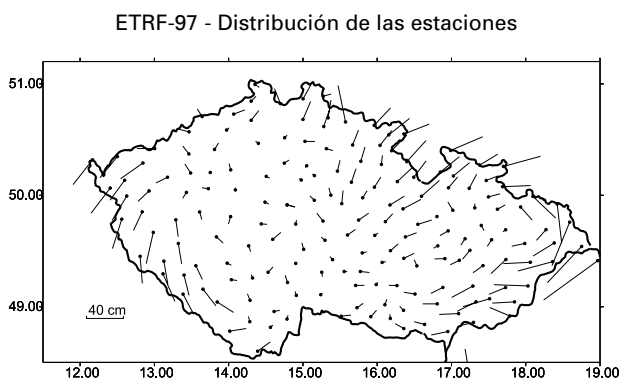
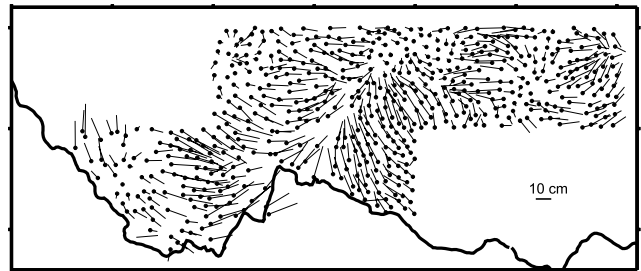


Figura 3. Residuos tras la transformación del sistema nacional al ETRS89

Diferencias entre el Sistema Nacional y el ETRS 89 basado en nuevas medidas GPS (emc 10,6 cm)



Diferencias entre el ETRS 89 realizado por transformaciones del Sistema Nacional y basado en nuevas medidas GPS (emc 3,8 cm)

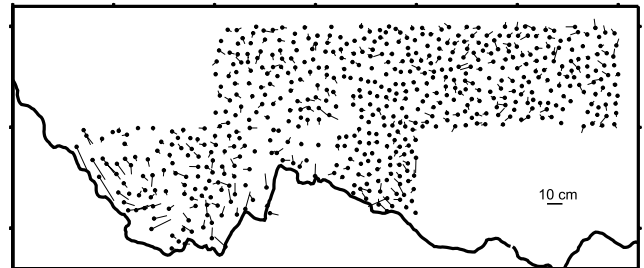
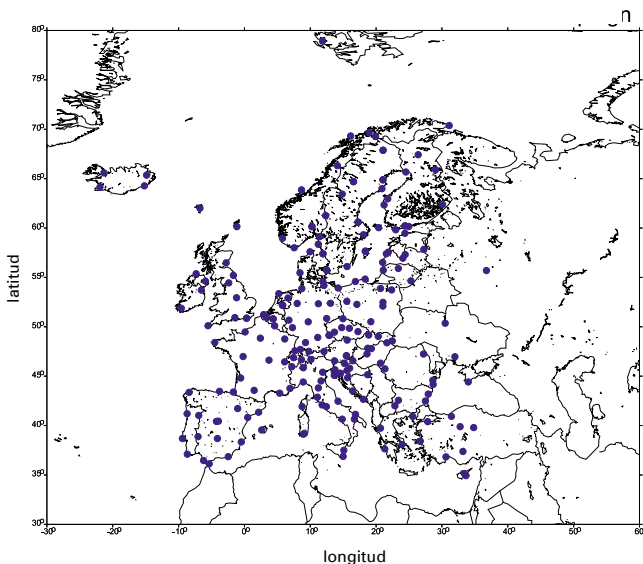


Figura 4

$\Delta x, \Delta y$ , que pueden en este caso alcanzar una magnitud de 60 cm, mediante una aproximación polinómica. El método se describe según el diagrama de flujo que se muestra a continuación y los resultados se ilustran en la figura 3. En la figura 4, los vectores residuales, que cubren una parte del territorio y que provienen de la transformación de las coordenadas ETRF-89, observadas directamente, a las coordenadas nacionales "elaboradas", ilustran la precisión del sistema de referencia terrestre nacional "mejorado".

## 5. GPS Y DATUM EUROPEO DE ALTITUDES

Europa dispone en la actualidad de sistemas nacionales de altimetría datum (niveles cero establecidos por mareógrafos de referencia) diferentes y con distintos tipos de altitudes. Los más de 40 países europeos emplean 19 mareógrafos de referencia, cuyas diferencias de cota con respecto al mareógrafo de referencia UELN (Unified European Levelling Network) de Amsterdam varían de +16 a -231 cm (ver Sacher y alumnos, 1999). Los emplazamientos de los mareógrafos de los sistemas nacionales de altimetría europeos se sitúan sobre diversos océanos y mares interiores (Mar Báltico, Mar de Norte, Mediterráneo, Mar Negro, Adriático, Océano Atlántico). Debe de señalarse que los datum de altimetría empleados son a menudo de naturaleza histórica y que no todos los puntos cero se refieren al nivel medio del mar. Algunos puntos cero se refieren a la bajamar (Ostende) o a la pleamar. Por ejemplo, el punto cero de Amsterdam se refiere a la pleamar media de 1684. Un 50% de los países europeos emplean alturas normales, el 35% alturas ortométricas y el 15% alturas ortométricas normales.



**Figura 5. Distribución de las estaciones en la campaña "EUVN" 97**

Además de la unificación del sistema de referencia GPS, CERCO necesita con urgencia de un sistema europeo uniforme de altitudes, para unificar las bases de datos cartográficas digitales. El nuevo sistema se basará en alturas normales y tendrá como referencia el mareógrafo de Amsterdam. Desde 1994, también se está abordando esta tarea desde la subcomisión de EUREF. La metodología sigue dos aspectos. El primero contempla la ampliación "extensiva" e "intensiva" de la UELN (Unified European Levelling Network), lo que supone la incorporación tanto de las redes de nivelación de primer orden de los "nuevos" países de Europa central y oriental, como de las redes de nivelación de orden menor del resto de los países europeos. El segundo aspecto es la ejecución de un proyecto extenso de GPS, destinado a la interconexión de todos los datum de altitudes europeos.

En Europa existen en la actualidad dos redes de nivelación continentales, que definen cada una los dos sistemas de altimetría: el sistema de altimetría de Amsterdam y el Báltico. La primera red continental es la UELN y la segunda es la UPLN (United Precise Levelling Network), que se extiende por la parte europea de la antigua Unión Soviética así como por varios países europeos del antiguo bloque soviético. La UPLN consta de líneas de nivelación de primer orden que se extienden por Bulgaria, República Checa, Alemania Oriental, Polonia, Eslovaquia, Hungría, Bielorrusia, Estonia, Letonia, Lituania, Ucrania, Moldavia, Rumania, Rusia y Georgia. La UPLN se observó por vez primera en los años 50 y fue reobservada en los 70. Incluye más de 350 puntos nodales y para su ajuste se emplearon las observaciones de las diferencias de alturas normales; el mareógrafo de referencia es el de Kronstadt (Rusia).

El establecimiento de la UELN se inició a principios de los años 70, su reajuste se efectuó en 1986 y en 1995 se comenzó el nuevo proyecto de ampliación y densificación de la UELN (UELN-95), repitiendo su rea-

juste. Este continuo reajuste debe conducir al desarrollo de una red cinemática de altitudes. En el ajuste, las observaciones son las diferencias de alturas geopotenciales y los parámetros estimados son los números geopotenciales. Esta metodología permite obtener fácilmente altitudes de cualquier tipo a partir de las unidades geopotenciales. En 1998 la UELN incluía más de 3.000 puntos nodales. Quedan por resolver los problemas de la ampliación de la red hacia el Mar Negro y el refuerzo de los bloques escandinavos y de Gran Bretaña, mediante la incorporación de más uniones de nivelación y de las redes de nivelación de los países Bálticos.

Los objetivos del proyecto EUVN son, básicamente, contribuir a la unificación de los sistemas europeos de altitudes con un nivel de precisión de pocos cm, suministrar puntos fiduciales para la determinación del geoide europeo, conectar los mareógrafos europeos para la investigación de las variaciones del nivel del mar y preparar un sistema europeo geocinemático de referencia de altitudes. El EUVN enlaza tres redes europeas: dos de nivelación (UELN y UPLN) y la red EUREF.

La fase inicial del proyecto, conocido como EUVN-97, se desarrolló en 1997/1998, como un proyecto conjunto de todos los países EUREF. El total de los 217 emplazamientos de EUVN se distribuyen por la mayoría de los países europeos e incluyen 37 estaciones permanentes, 66 emplazamientos EUREF, 54 señales de nivelación de primer orden y 63 mareógrafos. Todos los emplazamientos EUVN se enlazaron con las redes nacionales de nivelación de primer orden. Simultáneamente, desde el 21 al 29 de mayo de 1997 se efectuó una campaña GPS en todos estos emplazamientos. En la figura 5 se muestra la distribución de las estaciones. Las observaciones se procesaron mediante procesos distribuidos, efectuados en los 8 centros de análisis, y la solución combinada final fue calculada en los dos centros de combinación (el BKG de Leipzig y el CODE de Berna). Se siguieron tres estrategias de procesamiento, una de las cuales se consideró la "oficial". La precisión de la "componente altura GPS" resultante, con respecto a las estaciones de definición de ITRF, se caracteriza por una media cuadrática residual (después de la transformación de Helmert) de 5mm y la repetibilidad diaria es de 4 a 5 mm. Una estimación realista de la precisión puede ser peor pero, en cualquier caso, la precisión de las componentes altura de las estaciones de EUVN es superior a los 10 mm. El proyecto continuará recogiendo los correspondientes datos gravimétricos y de nivelación.

## 6. OBTENCIÓN DE ALTIMETRÍA POR GPS Y EL GEOIDE EN EUROPA

Como ya se sabe, la definición de las alturas en la tierra sobre el nivel del mar está implícitamente relacionada con el geoide (alturas ortométricas) o con el cuasigeoide (alturas normales), y se puede definir un nuevo datum vertical, regional o mundial, considerando al cuasigeoide como superficie de referencia cero. De esta forma, tanto las elevaciones sobre la tierra como las profundidades bajo el océano, pueden definirse

con una consistencia geodésica mundial. Una vez que se adopta la nueva definición de la superficie de referencia, se pueden calcular las altitudes sobre el nivel del mar con respecto a ella y, en el futuro, pueden ser directamente levantadas empleando GPS en cualquier lugar arbitrario del mundo.

La posibilidad de obtener altitudes mediante GPS depende notablemente de la calidad del modelo geoidal del terreno en estudio. Este modelo puede estar encajado tanto con el marco de referencia GPS, como con la red de nivelación que definen conjuntamente el sistema de altitudes de la zona en cuestión. El hacer un modelo preciso y homogéneo de extensión continental, es un problema bastante complicado, debido a la pobreza de los datos gravimétricos en todo el continente.

Al tiempo que se está realizando la interconexión mediante nivelaciones y GPS de los diversos datum europeos de altitudes, se están desarrollando investigaciones encaminadas a la definición de un modelo de cuasigeoide muy preciso y de alta resolución para Europa. El mejor modelo disponible actualmente del geopotencial mundial, a partir del cual se pueden calcular las alturas de geoide, es el EGM96 (360,360). Fue desarrollado conjuntamente por la NASA, el GSFC y el NIMA (Departamento de Defensa de los EEUU). El modelo está basado en observaciones de seguimiento de satélite, anomalías de la gravedad terrestre y datos de altimetría del satélite ERS-1/TOPEX/POSEIDON (Lemoine y alumnos, 1997). Para determinar la precisión de este modelo se han empleado diversos métodos de comprobación. En Europa, el error medio cuadrático alcanza unos 0,3 m, después de la eliminación de los sesgos y tendencias, aunque existen varias anomalías del geopotencial que exceden los 0,75 m (Bursa y alumnos, 1998).

En el Institut für Erdmessung (Instituto para la Medición de la Tierra), de la Universidad de Hannover, se calculó una nueva solución para toda Europa del cuasigeoide EGG97 en base al EGN96. El modelo de geopotencial EGM96 se utilizó para la información de longitud larga de onda del campo gravitatorio, en tanto que los componentes de onda corta del campo gravitatorio se modelaron empleando la técnica de reducción del modelo terrestre residual, en donde la topografía de referencia se construye desplazando un filtro de promedios a lo largo de una malla de 15' (Torge y Denker, 1998). La evaluación numérica de la fórmula integral con las anomalías de la gravedad residual se realizó mediante la técnica esférica 1D FFT. El modelo EGG97 supone una notable mejora sobre los modelos anteriores, debido al empleo de datos del terreno y de la gravedad de alta resolución, así como de la disponibilidad de un modelo mundial de alta calidad. En zonas con una buena cobertura y datos de la gravedad y del terreno de calidad, se estima que la precisión de la nueva solución es de 1 a 5 cm en distancias de 10 a 100 km, y de 5 a 20 cm en distancias superiores a los 1.000 km. Al compararlos con datos de GPS y de nivelaciones, se han encontrado errores de onda larga y de onda media (sobre 100 km). Mayormente se les puede atribuir a errores en el modelo mundial y también a la posibilidad de errores sistemáticos de los datos de la gravedad en algunas regiones. Las mejoras,

en el futuro, puede que provengan como resultado de nuevas misiones espaciales, de mejorar la cobertura gravimétrica y de soluciones combinadas de GPS y nivelación en las alturas geoidales, tan pronto como exista y esté disponible en Europa un conjunto homogéneo de datos.

## 7. EUREF Y SU USO EN LA NAVEGACIÓN Y EN LOS SIG

El crecimiento que ha experimentado el transporte aéreo en las últimas dos décadas indican que los desplazamientos aéreos en Europa se duplicarán en el año 2015, en comparación con los del año 1997. Esto supone una presión continua para la mejora de la capacidad del sistema europeo de Control del Tráfico Aéreo. Se ha desarrollado y acordado una estrategia de navegación para los estados miembros de la Conferencia Europea de Aviación Civil (ECAC) a lo largo del periodo 2000-2015. Una parte importante de esta estrategia viene representada por temas relacionados con los sistemas geodésicos de referencia y los datos de las coordenadas geográficas. El primer aspecto trata de la disponibilidad, consistencia e integridad de los datos mundiales del terreno y de los obstáculos sobre él, junto con los sistemas y marcos de referencia, horizontal y vertical, a los que están asociados. El segundo aspecto contempla los datos para los sistemas de navegación mundial, en el "Área de la Terminal de Control", asociados con las aproximaciones, aterrizajes y despegues de aeropuertos y su relación con los datos y obstáculos del terreno.

En Europa se ha adoptado para los servicios de navegación un sistema común de referencia horizontal. La red EUREF ofrece una solución europea de alta calidad, junto con los "Datos Críticos para la Navegación" que son determinados y publicados por los estados europeos. Los datos del terreno y de los obstáculos ya están incluidos, de forma primaria, en los sistemas cartográficos nacionales. Aunque estén disponibles los parámetros de la transformación para convertir estos datos, es preciso que se encuentren bajo formato digital. Antes de proceder a la armonización de los datos geográficos relacionados, es preciso evaluar determinados aspectos. Hay que tener en cuenta los sistemas de referencia horizontal y vertical. En lo que respecta a la disponibilidad de datos, se necesita considerar y evaluar los siguientes aspectos: la disponibilidad de los datos de los modelos digitales del terreno europeos; los parámetros de transformación entre los distintos sistemas de referencia; la calidad de los datos, su verificación y su validación; el análisis de errores; la disponibilidad en Europa de modelos de precisión del geoide; el análisis de costes y beneficios; los riesgos relacionados con la (poca) calidad de los datos. En lo que respecta a los sistemas y marcos de referencia, se deben de estimar los siguientes puntos: una definición mundial, establecida en Europa mediante acuerdos, de un sistema y de un marco unificado de referencia vertical; el grado de adopción en Europa de los sistemas y marcos unificados de referencia horizontal y vertical para los datos del terreno y la cartografía de los mismos; las políticas nacionales, en lo que respecta a los datum nacionales y al ETRF, para las necesidades nacionales de cartografía y posicionamiento; la prevista migración desde los

datum nacionales verticales y sistemas de altimetría hacia el sistema vertical unificado.

Otro ejemplo de la importancia de la información geodésica unificada es el proyecto paneuropeo "LaClef". Su objetivo es encontrar las formas de desbloquear algunos de los datos valiosos que se encuentran en el sector público. Otro de sus objetivos es demostrar cómo se puede desarrollar un eficaz servicio multisectorial en Europa e integrarlo con éxito. Se construirá sobre iniciativas europeas existentes, entre ellas la de MEGRIN (Multipurpose European Ground Related Information Network), que es una base de datos geográficos, que muestra cómo puede desarrollarse un eficaz servicio *on-line* de datos y metadatos geográficos. El servicio "LaClef" suministrará una diversidad de herramientas de interrogación y búsqueda para acceder a los metadatos. Sus dos facilidades más importantes son la búsqueda geográfica y por coordenadas. Los usuarios podrán seleccionar un marco de coordenadas de referencia a su elección e introducir las coordenadas de la ventana de su interés o, alternativamente, seleccionar una zona a partir de una representación geográfica. Adicionalmente, el proyecto ofrecerá un servicio de transformación de coordenadas. Se pretende que las dos prestaciones principales de este servicio sean:

- **Apoyo al usuario de coordenadas geodésicas:** Su objetivo principal será el ayudar a los usuarios a identificar y comprender los sistemas de referencia geodésica y las coordenadas empleadas, a nivel nacional e internacional, y darles guía y herramientas para transformar los datos de un sistema a otro,
- **Localización y cálculo:** Con servicios adicionales tales como cálculo de distancias y superficies, cálculo de las coordenadas de los elementos; la funcionalidad adicional a considerar está relacionada con el formato de transferencia de datos geográficos, la conversión de datos puntuales, las transformaciones de datum, la conversión de proyecciones cartográficas y la conversión de coordenadas.

El papel que EUREF posiblemente desempeñe en el proyecto "LaClef" podría tener diversos aspectos geodésicos: captación de datos (colección de todos los sistemas europeos de coordenadas, junto con sus adecuados parámetros y algoritmos), acuerdos para el uso de los datos, definición de los procedimientos de mantenimiento, diseño de los algoritmos de cálculo, validación de los datos, coordinación con los expertos europeos relevantes.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- BOUCHER C., ALTAMIMI Z. (1999): Análisis de los datos de ITRF-97. *IERS 1999*. (<http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF97-rep.htm>).
- McCARTHY D. (ed.) (1992): Normas IERS 1992, *IERS Technical Note 13*, Observatoire de Paris, 1992.
- McCARTHY D. (ed.) (1996): IERS Conventions 1996, *IERS Technical Note 21*, Observatoire de Paris, 1996.
- BRUYNINX C. (1999): *Status and Prospects of the Permanent EUREF Network*. EUREF Symposium 1999, Praga, Republica Checa, Junio 2 - 5, 1999.
- EUREF WEB site: <http://www.oma.be/KSB-ORB/EUREF>
- SEEGER H. (1997): *The Current Status and Perspectives of EUREF*. XXII General Assembly of the European Geophysical Society, Vienna, Austria, 21 - 25 Abril 1997. Reports on Geodesy No. 3 (26) 1997, pp. 31 - 76.
- ALTINER Y. (1999): *Results of the EUREF98 GPS Campaigns in Albania, Bosnia and Herzegovina and Yugoslavia*. EUREF Symposium 1999, Praga, Republica Checa, Junio 2 - 5, 1999.
- RÜDJA A. (1999): *A New ETRS89 Realization for Estonia*. EUREF Symposium 1999, Praga, Republica Checa, Junio 2 - 5, 1999.
- HUGENTOBLE U., GURTNER W. (2000): *Moldova EUREF Campaign 99*. EUREF TWG Meeting, Bruselas, Marzo 20 - 21, 2000.
- SACHER M., IHDE J., SEEGER H. (1999): *Preliminary Transformation Relations between National European Height Systems and the UELN95*. EUREF Symposium 1999, Praga, Republica Checa, Junio 2 - 5, 1999.
- CIMBÁLNÍK M., KOSTELECKÝ J. (1996): *Direct Transformation between the ETRS-89 and the Czech Cadastral System S-JTSK*. Symposium of the IAG Subcommission for the European Reference Frame (EUREF), Ankara, Turquía, 22 - 25 Mayo 1996. *Veröffentl. der Bayer. Komm. für die Internationale Erdmessung der Bayer. Akad. der Wissenschaft.*, Heft Nr.57, München 1996, pp.325 - 330.
- LEMOINE F. y alumnos (1997): *The development of the NASA GSFC and DMA joint geopotential model*. En: J. Segawa, H. Fujimoto, S. Okubo (Eds), *Gravity, Geoid and Marine Geodesy*, IAG Symp., Vol. 117, pp. 461 - 469, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- BUR\_A M. y alumnos, (1998): *Accuracy estimates of EGM96 with emphasis on Central EUROPE, Scandinavia and Baltic region*. En: M. Vermeer, J. Ádám (Eds), *Second Continental Workshop on the Geoid in Europe*, Budapest, Hungría, Marzo 10 - 14, 1998, pp. 81 - 86, Rep. of the FGI No. 98:4, 1998.
- TORGE W. y DENKER H. (1998): *The European Geoid - Development over More than 100 years and Present Status*. En: M. Vermeer, J. Ádám (Eds), *Second Continental Workshop on the Geoid in Europe*, Budapest, Hungría, Marzo 10 - 14, 1998, pp.47 - 52, Rep. of the FGI No. 98:4, 1998. ■
- BOUCHER C., ALTAMIMI Z., FEISSEL M., SILLARD P. (1996): Resultados y análisis de ITRF-94. *IERS Technical Note 20*. Observatoire de Paris, Marzo 1996.

# Aplicación de las Técnicas de Estimación Robusta en algunos problemas fotogramétricos:

## (I) Detección de Errores en el Proceso de Orientación Relativa Analítica

Ana M.<sup>a</sup> Domingo Preciado  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

### Resumen

*Este artículo es el primero de una serie de tres en la que se expondrán las posibles aplicaciones de los métodos de estimación robusta en diversos problemas de tipo fotogramétrico. Estos tres artículos tratan de dar continuidad a la ponencia presentada por la autora en el TopCart 2000 y también publicada en el número 100 de esta revista, en la que se exponían una serie de técnicas alternativas de ajuste al método clásico de los mínimos cuadrados, justificando la necesidad, así como los problemas planteados por dicho proceso.*

Los tres problemas que se van a estudiar en estos tres artículos serán:

- Orientación Relativa Analítica (I)
- Orientación Absoluta Numérica (II)
- Formación de la Banda Fotogramétrica mediante el Método de los Modelos Independientes (III)

### Abstract

*This paper is the first of a serie of three in which different applications of robust estimation for photogrammetric problems will be addressed. These three papers continue the line open with the conference of the author in the TopCart 2000 Congress also published in this magazine. In that first paper alternative techniques to the classic adjustment methods of least squares were discussed, justifying their opportunity, and the problems found.*

The three problems to be addressed in this and the following papers are:

- Analytical Relative Orientation (I)
- Absolute Numeric Orientation (II)
- Strip Formation from Independent Models (III)

## I. INTRODUCCIÓN

**E**n este primer artículo se estudia el problema de la Orientación Relativa Analítica, habitualmente resuelto utilizando metodologías clásicas de ajuste.

Las técnicas de estimación robusta se han revelado como una alternativa efectiva al ajuste clásico en aquellas situaciones en las que las observaciones iniciales (sean del tipo que sean) están afectadas por errores de tipo I (también llamados errores graves o equivocaciones), pues en estos casos dichos procedimientos son poco eficientes para ajustar o compensar los datos.

Por esta razón, y dado que en el contexto fotogramétrico pueden darse a menudo estas situaciones, se propone una serie de estimadores

robustos para la detección de errores en los datos en el problema de la Orientación Relativa Analítica, en el que las observaciones de partida son las fotocoordenadas medidas y corregidas de errores sistemáticos.

Así mismo, se mostrarán algunas simulaciones de errores con un conjunto de datos reales en las que se comparará la respuesta de los métodos propuestos frente al método clásico.

Los estimadores aplicados en este caso han sido:

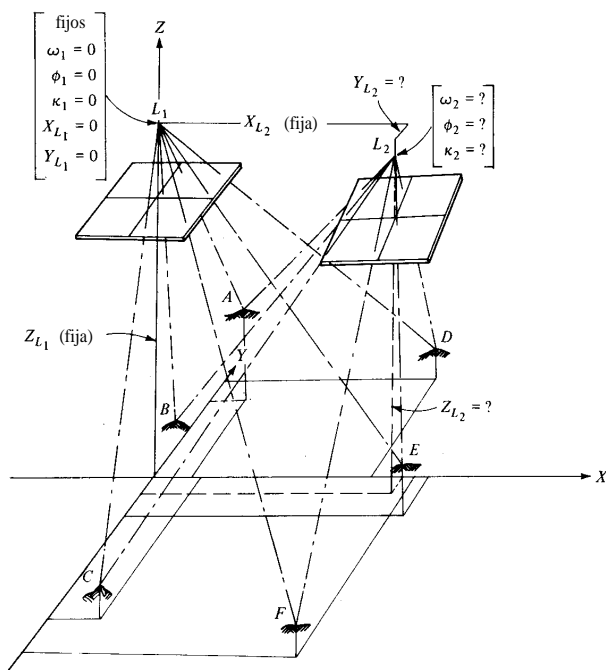
- Método de la Mínima Suma
- Método Danés Modificado
- Estimador de Huber

## 2. EL PROBLEMA DE LA ORIENTACIÓN RELATIVA ANALÍTICA

La orientación relativa analítica es una reconstrucción numérica del método de orientación relativa analógica de un sólo proyector. La foto izquierda se fija en una determinada posición y orientación y la escala del modelo se ajusta inicialmente asignando una base arbitraria. La foto derecha se ajusta aplicando rotaciones y traslaciones hasta que todas las paralajes de tipo **py** han desaparecido.

Como se ve en la siguiente figura las coordenadas del centro de proyección izquierdo **L<sub>1</sub>** tienen unos ciertos valores que serán valores de entrada en el programa. La coordenada **X** del centro de proyección derecho se puede tomar igual a la base de la toma a una cierta escala más la coordenada **X** del centro de proyección izquierdo (si se toma la base fotográfica medida en las fotos en mm, el modelo se formará a la escala fotográfica y por tanto, las discrepancias y errores tienen una interpretación inmediata).

La orientación relativa analítica se consigue imponiendo la condición de que los rayos homólogos se intersecten en un punto, lo cual se consigue escribiendo las ecuaciones de colinearidad en ambas fotos para, al menos cinco puntos objeto. La intersección de los rayos correspondientes se obtiene de forma automática porque las ecuaciones para ambas fotos para un punto objeto dado contienen las mismas coordenadas modelo para ese punto, **L<sub>1</sub>a<sub>1</sub>A** y **L<sub>2</sub>a<sub>2</sub>A**. El sistema de ecuaciones de colinearidad que se forma contiene cinco incógnitas de los elementos de la orientación externa de la foto 2 (**ω<sub>2</sub>**, **φ<sub>2</sub>**, **κ<sub>2</sub>**, **Y<sub>L2</sub>**, **Z<sub>L2</sub>**) más tres coordenadas desconocidas (**X**, **Y**, **Z**) para cada punto objeto.



[según WOLF-83]

Para cada punto usado en la orientación relativa pueden formularse cuatro ecuaciones de colinearidad. Para cada punto se cumple:

$$\frac{x_a'}{X_A - X_L} = \frac{y_a'}{Y_A - Y_L} = \frac{-z_a'}{Z_L - Z_A}$$

y por tanto:

- a)  $x_a' = \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} z_a'$
- b)  $y_a' = \frac{Y_A - Y_L}{Z_A - Z_L} z_a'$
- c)  $z_a' = \frac{Z_A - Z_L}{Z_A - Z_L} z_a'$

Estas coordenadas (**x', y', z'**) pueden considerarse como procedentes de otras (**x, y, z**) de una foto inclinada, debidamente girada hasta que su sistema de coordenadas sea paralelo al terrestre. Así:

$$\begin{aligned} x_a &= m_{11}x_a' + m_{12}y_a' + m_{13}z_a' \\ y_a &= m_{21}x_a' + m_{22}y_a' + m_{23}z_a' \\ z_a &= m_{31}x_a' + m_{32}y_a' + m_{33}z_a' \end{aligned} \quad (1)$$

con **z<sub>a</sub> = -f** (distancia focal) y donde los términos **m<sub>ij</sub>** son funciones de los tres giros, que si las rotaciones se hacen en el orden **ω, φ, κ** valen

- m<sub>11</sub> = cosφcosκ**
- m<sub>12</sub> = senωsenφcosκ + cosωsenκ**
- m<sub>13</sub> = -cosωsenφcosκ + senωsenκ**
- m<sub>21</sub> = -cosφsenκ**
- m<sub>22</sub> = -senωsenφsenκ + cosωcosκ**
- m<sub>23</sub> = cosωsenφcosκ + senωcosκ**
- m<sub>31</sub> = senφ**
- m<sub>32</sub> = -senωcosφ**
- m<sub>33</sub> = cosωcosφ**

Ahora, sustituyendo a) , b) y c) en (1) :

$$\begin{aligned} x_a &= m_{11} \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} z_a' + m_{12} \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} z_a' + m_{13} \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} z_a' \\ y_a &= m_{21} \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} z_a' + m_{22} \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} z_a' + m_{23} \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} z_a' \\ z_a &= m_{31} \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} z_a' + m_{32} \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} z_a' + m_{33} \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} z_a' \end{aligned}$$

de donde operando, haciendo **z<sub>a</sub>' = -f** y eliminando el subíndice **a** y **A**,

$$x = -f \left[ \frac{m_{11}(X - X_L) + m_{12}(Y - Y_L) + m_{13}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)} \right] \quad (2)$$

$$y = -f \left[ \frac{m_{21}(X - X_L) + m_{22}(Y - Y_L) + m_{23}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)} \right] \quad (3)$$

donde (**x, y**) son las fotocoordenadas de imagen en la foto inclinada, (**X, Y, Z**) son las coordenadas modelo del punto objeto y (**X<sub>L</sub>, Y<sub>L</sub>, Z<sub>L</sub>**) las coordenadas modelo del punto de toma.

Estas ecuaciones no son lineales y han de linealizarse usando el desarrollo de Taylor. Estas ecuaciones no lineales se pueden escribir:

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= \mathbf{0} = \mathbf{q}\mathbf{x} + \mathbf{r}\mathbf{f} \\ \mathbf{G} &= \mathbf{0} = \mathbf{q}\mathbf{y} + \mathbf{s}\mathbf{f} \end{aligned} \quad (4)$$

Siendo

$$\begin{aligned} \mathbf{q} &= \mathbf{m}_{31}(\mathbf{X}-\mathbf{X}_L) + \mathbf{m}_{32}(\mathbf{Y}-\mathbf{Y}_L) + \mathbf{m}_{33}(\mathbf{Z}-\mathbf{Z}_L) \\ \mathbf{r} &= \mathbf{m}_{11}(\mathbf{X}-\mathbf{X}_L) + \mathbf{m}_{12}(\mathbf{Y}-\mathbf{Y}_L) + \mathbf{m}_{13}(\mathbf{Z}-\mathbf{Z}_L) \\ \mathbf{s} &= \mathbf{m}_{21}(\mathbf{X}-\mathbf{X}_L) + \mathbf{m}_{22}(\mathbf{Y}-\mathbf{Y}_L) + \mathbf{m}_{23}(\mathbf{Z}-\mathbf{Z}_L) \end{aligned}$$

y según el desarrollo en serie:

$$\begin{aligned} \mathbf{0} &= (\mathbf{F})_0 + \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}}\right)_0 d\mathbf{x}_a + \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \omega}\right)_0 d\omega + \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \varphi}\right)_0 d\varphi + \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \kappa}\right)_0 d\kappa + \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}_L}\right)_0 d\mathbf{X}_L + \\ &+ \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{Y}_L}\right)_0 d\mathbf{Y}_L + \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{Z}_L}\right)_0 d\mathbf{Z}_L + \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}}\right)_0 d\mathbf{X} + \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{Y}}\right)_0 d\mathbf{Y} + \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{Z}}\right)_0 d\mathbf{Z} \\ \mathbf{0} &= (\mathbf{G})_0 + \left(\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{y}}\right)_0 d\mathbf{y}_a + \left(\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \omega}\right)_0 d\omega + \left(\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \varphi}\right)_0 d\varphi + \left(\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \kappa}\right)_0 d\kappa + \left(\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{X}_L}\right)_0 d\mathbf{X}_L + \\ &+ \left(\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{Y}_L}\right)_0 d\mathbf{Y}_L + \left(\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{Z}_L}\right)_0 d\mathbf{Z}_L + \left(\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{X}}\right)_0 d\mathbf{X} + \left(\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{Y}}\right)_0 d\mathbf{Y} + \left(\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{Z}}\right)_0 d\mathbf{Z} \end{aligned} \quad (5)$$

en las que:

$(\mathbf{F})_0$  y  $(\mathbf{G})_0$  son las funciones  $\mathbf{F}$  y  $\mathbf{G}$  de (4) calculadas en los valores aproximados para las nueve incógnitas. También aparecen las derivadas parciales de  $\mathbf{F}$  y  $\mathbf{G}$  respecto a las incógnitas indicadas calculadas en las aproximaciones iniciales;  $d\omega$ , etc. son las correcciones incógnitas a determinar y a aplicar a las aproximaciones. Los términos  $d\mathbf{x}$ ,  $d\mathbf{y}$  pueden interpretarse como errores residuales de las mediciones, pudiendo ser reemplazados por  $\mathbf{v}_x$ ,  $\mathbf{v}_y$ , símbolos que se acostumbra a usar para los residuos de las observaciones.

Por otra parte de (4) la derivada parcial de  $\mathbf{F}$  y  $\mathbf{G}$  respecto a  $\mathbf{x}$  e  $\mathbf{y}$  respectivamente es el término  $\mathbf{q}$ . Llevando este valor a (5) se llega a:

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_x &= \mathbf{b}_{11}d\omega + \mathbf{b}_{12}d\varphi + \mathbf{b}_{13}d\kappa - \mathbf{b}_{14}d\mathbf{X}_L - \mathbf{b}_{15}d\mathbf{Y}_L - \mathbf{b}_{16}d\mathbf{Z}_L + \\ &+ \mathbf{b}_{14}d\mathbf{X} + \mathbf{b}_{15}d\mathbf{Y} + \mathbf{b}_{16}d\mathbf{Z} + \mathbf{J} \\ \mathbf{v}_y &= \mathbf{b}_{21}d\omega + \mathbf{b}_{22}d\varphi + \mathbf{b}_{23}d\kappa - \mathbf{b}_{24}d\mathbf{X}_L - \mathbf{b}_{25}d\mathbf{Y}_L - \mathbf{b}_{26}d\mathbf{Z}_L + \\ &+ \mathbf{b}_{24}d\mathbf{X} + \mathbf{b}_{25}d\mathbf{Y} + \mathbf{b}_{26}d\mathbf{Z} + \mathbf{K} \end{aligned} \quad (6)$$

donde

$$\mathbf{J} = (\mathbf{F})_0 / \mathbf{q} \quad ; \quad \mathbf{K} = (\mathbf{G})_0 / \mathbf{q}$$

y los términos  $\mathbf{b}_{ij}$  son las derivadas parciales que se dan a continuación. Los valores numéricos de estos coeficientes se obtienen usando aproximaciones iniciales para las incógnitas.

$$\begin{aligned} \mathbf{b}_{11} &= \frac{\mathbf{x}}{\mathbf{q}}(-\mathbf{m}_{33}\Delta\mathbf{Y} + \mathbf{m}_{32}\Delta\mathbf{Z}) + \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}(-\mathbf{m}_{13}\Delta\mathbf{Y} + \mathbf{m}_{12}\Delta\mathbf{Z}) \\ \mathbf{b}_{12} &= \frac{\mathbf{x}}{\mathbf{q}}[\Delta\mathbf{X}\cos\varphi + \Delta\mathbf{Y}(\sin\omega\sin\varphi) + \Delta\mathbf{Z}(-\sin\varphi\cos\omega)] + \\ &\frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}[\Delta\mathbf{X}(\sin\varphi\cos\kappa) + \Delta\mathbf{Y}(\sin\omega\cos\varphi\cos\kappa) + \Delta\mathbf{Z}(-\cos\omega\cos\varphi\cos\kappa)] \\ \mathbf{b}_{13} &= \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}(\mathbf{m}_{21}\Delta\mathbf{X} + \mathbf{m}_{22}\Delta\mathbf{Y} + \mathbf{m}_{23}\Delta\mathbf{Z}) \\ \mathbf{b}_{14} &= \frac{\mathbf{x}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{31} + \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{11} \\ \mathbf{b}_{15} &= \frac{\mathbf{x}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{32} + \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{12} \\ \mathbf{b}_{16} &= \frac{\mathbf{x}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{33} + \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{13} \\ \mathbf{J} &= \frac{\mathbf{q}\mathbf{x} + \mathbf{r}\mathbf{f}}{\mathbf{q}} \\ \mathbf{b}_{21} &= \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{q}}(-\mathbf{m}_{33}\Delta\mathbf{Y} + \mathbf{m}_{32}\Delta\mathbf{Z}) + \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}(-\mathbf{m}_{23}\Delta\mathbf{Y} + \mathbf{m}_{22}\Delta\mathbf{Z}) \\ \mathbf{b}_{22} &= \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{q}}[\Delta\mathbf{X}\cos\varphi + \Delta\mathbf{Y}(\sin\omega\sin\varphi) + \Delta\mathbf{Z}(-\sin\varphi\cos\omega)] + \\ &\frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}[\Delta\mathbf{X}(\sin\varphi\cos\kappa) + \Delta\mathbf{Y}(-\sin\omega\cos\varphi\cos\kappa) + \Delta\mathbf{Z}(\cos\omega\cos\varphi\cos\kappa)] \\ \mathbf{b}_{23} &= \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}(-\mathbf{m}_{11}\Delta\mathbf{X} - \mathbf{m}_{12}\Delta\mathbf{Y} - \mathbf{m}_{13}\Delta\mathbf{Z}) \\ \mathbf{b}_{24} &= \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{31} + \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{21} \\ \mathbf{b}_{25} &= \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{32} + \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{22} \\ \mathbf{b}_{26} &= \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{33} + \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{q}}\mathbf{m}_{23} \\ \mathbf{K} &= \frac{\mathbf{q}\mathbf{y} + \mathbf{s}\mathbf{f}}{\mathbf{q}} \end{aligned}$$

Al resolver un sistema de ecuaciones de observación de colineación como (6), las cantidades que se determinan son las correcciones a las aproximaciones iniciales. Después de la primera solución, estas correcciones se añaden a las aproximaciones para mejorarlas. Se repite la solución hallando nuevas correcciones. El proceso iterativo se repite hasta que las correcciones sean menores que unas tolerancias determinadas.

El sistema de ecuaciones (6) se puede expresar en forma matricial,

$$\mathbf{v}(\mathbf{m}, \mathbf{1}) = \mathbf{A}(\mathbf{m}, \mathbf{n}) \mathbf{X}(\mathbf{n}, \mathbf{1}) - \mathbf{L}(\mathbf{m}, \mathbf{1})$$

siendo  $\mathbf{m}$  el número de ecuaciones,  $\mathbf{n}$  el número de incógnitas,  $\mathbf{V}$  el vector de residuos de las medidas de las fotocoordenadas,  $\mathbf{A}$  es la matriz de elementos  $\mathbf{b}_{ij}$ , coeficientes de las incógnitas,  $\mathbf{X}$  es el vector de correcciones a las incógnitas y  $\mathbf{L}$  es el vector de los términos constantes  $\mathbf{J}$  y  $\mathbf{K}$ . Si el número de ecuaciones es mayor que el número de incógnitas se hará necesario obtener una solución aplicando un método de ajuste. Si se aplica la solución clásica de los mínimos cuadrados:

Sistema de ecuaciones normales:

$$(A^t A) X = A^t L$$

de donde la solución es:

$$X = (A^t A)^{-1} (A^t L)$$

que es la ecuación básica si los pesos de las observaciones son iguales entre si.

Para un sistema de ecuaciones ponderadas, se obtiene

$$X = (A^t P A)^{-1} (A^t P L)$$

siendo **P** la matriz de los pesos, para el caso de observaciones independientes y sin correlación, que es el caso fotogramétrico más general.

La ecuación matricial para calcular los residuos (ponderados o no del ajuste) será:

$$V = A X - L$$

De esta forma, las ecuaciones (6) pueden formularse para cada punto usado en la orientación relativa en cada foto del par. Si se usan cinco puntos, podrán escribirse veinte ecuaciones con las siguientes incógnitas: cinco parámetros de orientación externa de la foto 2, más quince coordenadas de los puntos usados. En total, veinte incógnitas. Es decir, con cinco puntos hay una solución única y ninguna posibilidad de detectar los posibles errores. Al igual que ocurre en la orientación relativa analógica, en la que también el mínimo necesario son cinco puntos.

Por otro lado, antes de pasar a resolver estos sistemas, se deben determinar aproximaciones iniciales para todas las incógnitas. Para fotografía vertical, las estimaciones iniciales para  $\omega_2$ ,  $\phi_2$ ,  $\kappa_2$  y  $Y_{L2}$  son cero. Para  $Z_{L2}$  se puede tomar el mismo valor de  $Z_{L1}$ . Para las coordenadas de los puntos objeto pueden obtenerse valores aproximados de las fotografías o mejor las que resultan de las ecuaciones de la paralaje, suponiendo un par estrictamente vertical, es decir, para un punto **A** del objeto:

$$h_A = H - \frac{Bf}{x_a - x_a'}, \quad X_A = B \frac{x_a}{x_a - x_a'}, \quad Y_A = B \frac{y_a}{x_a - x_a'}$$

En las ecuaciones de los puntos de la placa izquierda, las correcciones para las coordenadas **X**, **Y** del centro de proyección izquierdo y para los tres giros correspondientes, son cero. Por ello sólo se calculan los términos referentes a los puntos del modelo. En cambio en las de la foto derecha aparecen todos.

Aparece de forma obvia la naturaleza sistemática de la matriz **A**. El hecho de que muchas submatrices sean nulas indica la relativa facilidad con la que el método de partición puede aplicarse.

Después de todo el proceso, se conocen las coordenadas modelo de los puntos que han servido para llevarlo a cabo, en un sistema de referencia

arbitrario de ejes paralelos al sistema de ejes de la foto izquierda y con su origen a una distancia igual a  $Z_L$  por debajo del punto de toma izquierdo.

También se pueden calcular las paralajes **py** en todos los puntos del modelo, utilizando la siguiente fórmula:

$$py = (-d\kappa(X-X_{CI}-b)-d\phi(X-X_{CI}-b)) / (Z-Z_{CI}) + (Z-Z_{CI})(1+(Y-Y_{CI})^2) / d\omega (Z-Z_{CI})^2 - dX_{CD} + dY_{CD} ((Y-Y_{CI}) / (Z-Z_{CI}))$$

donde:

**py** : paralaje y calculado al final del proceso para cada punto del modelo

**dκ, dω, dφ** : representan las correcciones a los valores de los giros

**b** : base

**X, Y, Z** : coordenadas modelo calculadas para cada punto

**X<sub>CI</sub>, Y<sub>CI</sub>, Z<sub>CI</sub>** : coordenadas del centro de proyección izquierdo

**dX<sub>CD</sub>, dY<sub>CD</sub>** : correcciones a las coordenadas **X, Y** del centro de proyección derecho.

### 3. ESTIMADORES ROBUSTOS APLICADOS

El objetivo de la aplicación de los métodos de estimación robusta es que los resultados del ajuste no sean influidos por los errores de tipo **I**, como ocurre en la metodología clásica, y además disponer de una herramienta eficiente de detección para dichos errores.

Este concepto de estimación robusta fue formalmente definido por Kendall (1948), aunque en realidad ya había sido utilizado por Laplace en 1793, quien propuso utilizar la mediana (valor central de las observaciones según su tamaño), como un estimador de la media. El concepto de estimación robusta fue desarrollado especialmente en la Universidad de Zurich por Huber (1964) y Hampel (1973) y en Princeton por Andrews y otros en 1972. Su aplicación en el campo de la geodesia se debe a Carosio (1979) y Borre (1983).

La característica común de todos estos métodos, como ya se comentó en el artículo del nº 100 de esta misma revista, es que no se minimiza el sumatorio de los cuadrados de los residuos, sino otra función elegida de forma adecuada:

$$\Sigma \phi(v) \rightarrow \text{mínima}$$

Un ejemplo sencillo puede ser la función valor absoluto

$\phi(v) = \text{abs}(v)$ , Método de la Suma Mínima, que estima la media por medio de la mediana.

Actualmente existen diferentes propuestas para la elección de la función  $\phi(v)$ , pero aún falta una teoría que clasifique, unifique y compare todos los métodos. Pero una idea está claramente demostrada: todos los métodos de estimación robusta son superiores al clásico método de los mínimos cuadrados para conjuntos de observaciones con errores que se desvían de la distribución normal.

La solución numérica de estos principios de ajuste se puede hacer de forma iterativa, por sucesiva aplicación del método de los mínimos cuadrados ponderados.

La iteración comienza con unos valores dados a priori para los pesos de las observaciones y un ajuste convencional por mínimos cuadrados (se supone por el momento que todas las observaciones tienen el mismo peso). En la siguiente iteración, se calculan nuevos pesos para cada observación individual a partir de sus residuos obtenidos en el ajuste anterior; y se repite el ajuste mínimo cuadrático con estos nuevos pesos. Los pesos  $p$  de cada observación individual se obtienen de la siguiente forma:

En primer lugar reescribimos las equivalentes "ecuaciones normales":

$$\sum \frac{\partial \phi(\mathbf{v})}{\partial \mathbf{x}} = \mathbf{0}; \text{ donde } \mathbf{x} \text{ son las incógnitas;}$$

que lleva a una expresión para los pesos:

$$\mathbf{p}(\mathbf{v}) = \frac{\partial \phi(\mathbf{v})}{\partial \mathbf{x}} / \mathbf{v}$$

El proceso iterativo continúa hasta que se logre la convergencia (normalmente de 3 a 10 iteraciones). Para el ejemplo de la función valor absoluto y el método de Huber, los pesos son:

– Método de la Mínima Suma:

$$\mathbf{p}(\mathbf{v}) = \frac{1}{|\mathbf{v}| + \epsilon} \text{ con } \epsilon \text{ una constante pequeña (respecto a } \mathbf{v})$$

– Método de Huber:

$$\mathbf{p}(\mathbf{v}) = \begin{cases} 1 & \text{para } |\mathbf{v}| / \sigma \leq a \\ \frac{a}{|\mathbf{v}| / \sigma} & \text{para } |\mathbf{v}| / \sigma > a \end{cases}$$

con  $a$  una constante a fijar y siendo  $\sigma$  la desviación estándar a priori o estimada de las observaciones.

En el método Danés, las incógnitas se estiman a partir del conjunto de las observaciones consistentes. Puede ser considerado como un método de estimación robusta con pesos dados por:

$$\mathbf{p}(\mathbf{v}) = \begin{cases} 1 & \text{para } |\mathbf{v}| < 2\sigma \\ \exp\left(-\frac{|\mathbf{v}|^2}{2\sigma^2}\right) & \text{para } |\mathbf{v}| > 2\sigma \end{cases}$$

Este método tiene unas propiedades favorables comparado con otros métodos robustos, en la detección de observaciones erróneas y en la velocidad de cálculo. Es utilizado como método de ajuste estándar en el Instituto Geodésico Danés y la Universidad de Aalborg. En el Instituto el método es un medio para generar una lista de candidatos para posteriores inspecciones y reobservaciones. Después de eliminar los posibles errores, se realiza un ajuste riguroso mínimo cuadrático.

Los posibles problemas de los métodos robustos son:

- La precisión debe conocerse a priori y los pesos no deben sobrepasar un máximo predefinido, de otra forma el método excluirá cada vez más observaciones.
- Las funciones de pesos (al depender de constantes) deben ser modificadas y ajustadas para cada problema.

De todas formas, la teoría de la estimación robusta parece ser la alternativa más prometedora en la detección de este tipo de errores.

Habiendo analizado los diversos aspectos de los errores groseros, se puede concluir que estos errores no existen como entidades independientes. Están totalmente conectados con el dogma de la distribución normal y el método de los mínimos cuadrados. En este sentido hay dos posibles caminos a seguir: aceptar el método de los mínimos cuadrados y por tanto también la existencia de estos errores, o elegir nuevos métodos de ajuste, en cuyo caso tanto el concepto de mínimos cuadrados como el de error grosero desaparecen.

La elección puede simplificarse pues formalmente los dos caminos tienen varios aspectos en común, aunque se basan en teorías diferentes.

#### 4. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos en la simulación de diversas situaciones de existencia de errores de diferentes magnitudes en las observaciones implicadas (fotocoordenadas).

Se han utilizado un conjunto de datos reales de fotocoordenadas ya corregidas de sistematismos. Las características fotogramétricas son las siguientes:

**Longitud focal de la cámara: 152,76 mm**

**Nº de fotos : 9, 10**

**Condiciones fijas:**

**Omega1 = Phi1 = Kappa1 = 0**

**Coordenadas del centro de proyección izquierdo:**

**X<sub>L1</sub> = 1000 mm**

**Y<sub>L1</sub> = 1000 mm**

**Z<sub>L1</sub> = 1000 mm**

**Base: 92 mm**

**Aproximaciones iniciales:**

**Omega2 = Phi2 = Kappa2 = 0**

**Coordenadas del centro de proyección derecho:**

**X<sub>L1</sub> = 1092 mm**

**Y<sub>L1</sub> = 1000 mm**

**Z<sub>L1</sub> = 1000 mm**

Los valores finales de los elementos de orientación, una vez realizado el ajuste son:

**Omega = -0,00363 rad Phi = 0,00848 rad Kappa = -0,02909 rad**

**YCPD = 1000,632 mm ZCPD = 998,746 mm**

**BY = 0,632 mm BZ = -1,254 mm**

Por otro lado, aunque no aparecen sus valores, los residuos de las fotocoordenadas son menores de la micra, así como las paralajes residuales  $py$  en todos los puntos.

**FOTOCOORDENADAS REFINADAS DE LOS PUNTOS (en mm):**

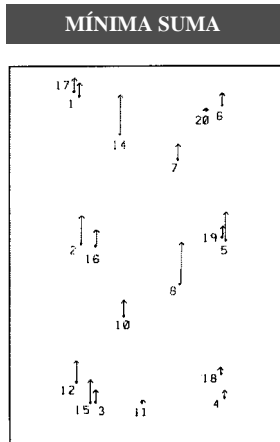
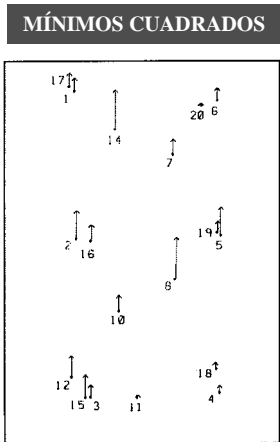
| Nº PUNTO | XI      | YI       | XD       | YD       |
|----------|---------|----------|----------|----------|
| 1        | -2,343  | 95,342   | -100,808 | 92,855   |
| 2        | -4,950  | -0,479   | -99,537  | -3,491   |
| 3        | 1,795   | -105,639 | -89,712  | -108,480 |
| 4        | 92,161  | -105,152 | 0,602    | -105,909 |
| 5        | 93,645  | -0,915   | -0,378   | -1,059   |
| 6        | 96,776  | 85,880   | -1,243   | 86,701   |
| 7        | 63,945  | 51,787   | -32,355  | 51,171   |
| 8        | 63,086  | -29,423  | -30,824  | -30,604  |
| 9        | 63,054  | -29,516  | -30,653  | -30,700  |
| 10       | 22,872  | -49,642  | -69,983  | -51,971  |
| 11       | 33,873  | -106,561 | -57,319  | -108,667 |
| 12       | -10,295 | -92,394  | -103,129 | -95,619  |
| 13       | -10,212 | -92,173  | -102,891 | -95,385  |
| 14       | 24,379  | 69,428   | -72,960  | 67,655   |
| 15       | 0,365   | -105,800 | -91,183  | -108,661 |
| 16       | 4,939   | -2,296   | -89,660  | -5,010   |
| 17       | -3,004  | 98,630   | -101,547 | 96,145   |
| 18       | 90,462  | -89,538  | -1,730   | -90,301  |
| 19       | 92,738  | 0,543    | -1,332   | 0,407    |
| 20       | 84,889  | 82,736   | -12,340  | 83,125   |

A continuación se mostrarán algunos de los resultados de las simulaciones realizadas con estos datos, en las que se han introducido una serie de errores de diferente magnitud y signo en las fotocoordenadas, con el fin de comparar la eficiencia de los métodos robustos frente a la metodología clásica de ajuste por mínimos cuadrados.

Por cada simulación, aparecerá una representación gráfica en forma vectorial que muestra los residuos en la fotocoordenada **Y**, (así como la magnitud en valor absoluto de dicho residuo en los puntos erróneos) en todos los puntos después del ajuste robusto y del ajuste mínimo cuadrático. En el último ejemplo se mostrarán también los valores numéricos de dichos residuos.

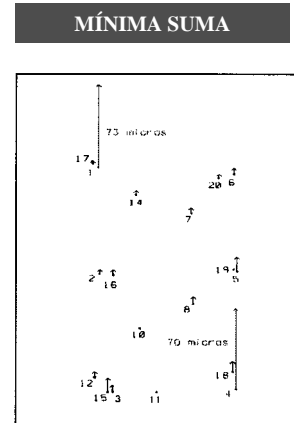
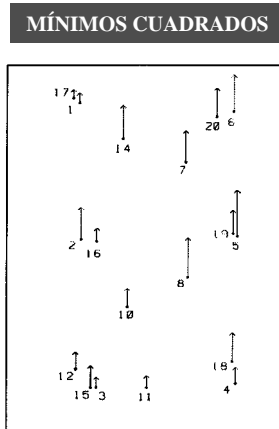
**Primera Simulación:**

Error simulado: 80 micras en la fotocoordenada **Y** derecha de los puntos 2, 8 y 14



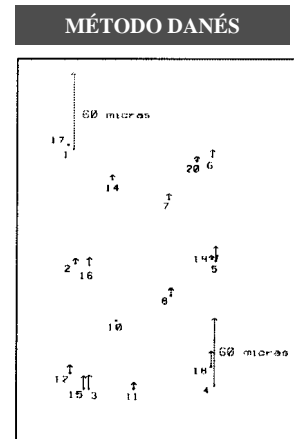
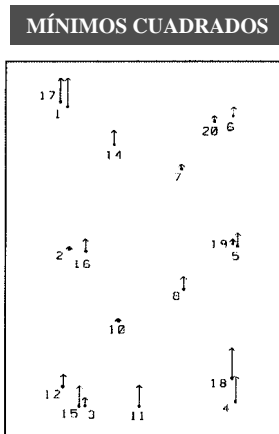
**Segunda Simulación:**

Error simulado: 80 micras en la fotocoordenada **Y** derecha de los puntos 2, 6, 8, 14, 18, 19



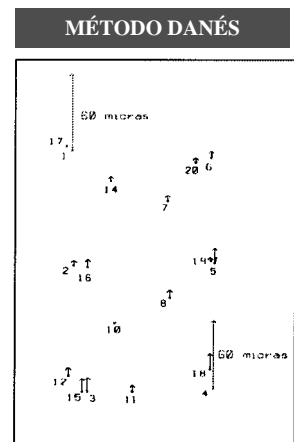
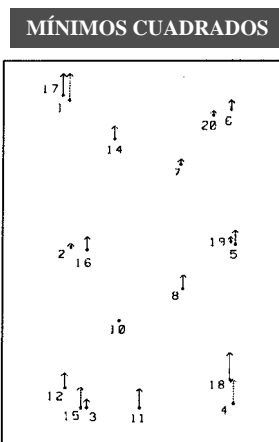
**Tercera Simulación:**

Error simulado: 70 micras en la fotocoordenada **Y** derecha de los puntos 1 y 4



**Cuarta Simulación:**

Error simulado: -60 micras en la fotocoordenada **Y** derecha de los puntos 1 y 4



**AJUSTE MÍNIMO CUADRÁTICO:  
RESIDUOS PLACA IZQUIERDA (micras):**

|                |                   |                     |
|----------------|-------------------|---------------------|
| PUNTO 1        | VXIZ = -0,0       | VYIZ = -17,3        |
| PUNTO 2        | VXIZ = -0,0       | VYIZ = 2,0          |
| PUNTO 3        | VXIZ = 0,1        | VYIZ = -5,2         |
| <b>PUNTO 4</b> | <b>VXIZ = 0,2</b> | <b>VYIZ = -14,9</b> |
| PUNTO 5        | VXIZ = -0,1       | VYIZ = 8,4          |
| PUNTO 6        | VXIZ = -0,0       | VYIZ = -6,1         |
| PUNTO 7        | VXIZ = -0,0       | VYIZ = 2,8          |
| PUNTO 8        | VXIZ = 0,1        | VYIZ = -8,4         |
| PUNTO 9        | VXIZ = 0,0        | VYIZ = -3,8         |
| PUNTO 10       | VXIZ = 0,0        | VYIZ = -0,9         |
| PUNTO 11       | VXIZ = -0,2       | VYIZ = 11,4         |
| PUNTO 12       | VXIZ = -0,1       | VYIZ = 8,4          |
| PUNTO 13       | VXIZ = -0,1       | VYIZ = 5,8          |
| PUNTO 14       | VXIZ = -0,0       | VYIZ = 7,9          |
| PUNTO 15       | VXIZ = 0,2        | VYIZ = -12,7        |
| PUNTO 16       | VXIZ = 0,1        | VYIZ = -7,3         |
| PUNTO 17       | VXIZ = 0,0        | VYIZ = 13,9         |
| PUNTO 18       | VXIZ = -0,3       | VYIZ = 16,3         |
| PUNTO 19       | VXIZ = 0,0        | VYIZ = -3,1         |
| PUNTO 20       | VXIZ = -0,0       | VYIZ = 2,9          |

**AJUSTE ROBUSTO (MÉTODO DANÉS):  
RESIDUOS PLACA IZQUIERDA (micras):**

|                |                   |                     |
|----------------|-------------------|---------------------|
| PUNTO 1        | VXIZ = -0,0       | VYIZ = -62,7        |
| PUNTO 2        | VXIZ = -0,0       | VYIZ = 2,8          |
| PUNTO 3        | VXIZ = 0,2        | VYIZ = -10,2        |
| <b>PUNTO 4</b> | <b>VXIZ = 0,0</b> | <b>VYIZ = -52,7</b> |
| PUNTO 5        | VXIZ = -0,0       | VYIZ = 15,7         |
| PUNTO 6        | VXIZ = -0,0       | VYIZ = -5,0         |
| PUNTO 7        | VXIZ = -0,0       | VYIZ = 4,1          |
| PUNTO 8        | VXIZ = 0,1        | VYIZ = -6,0         |
| PUNTO 9        | VXIZ = 0,0        | VYIZ = -1,5         |
| PUNTO 10       | VXIZ = 0,0        | VYIZ = -0,1         |
| PUNTO 11       | VXIZ = -0,1       | VYIZ = 3,7          |
| PUNTO 12       | VXIZ = -0,1       | VYIZ = 6,4          |
| PUNTO 13       | VXIZ = -0,1       | VYIZ = 3,9          |
| PUNTO 14       | VXIZ = -0,0       | VYIZ = 2,7          |
| PUNTO 15       | VXIZ = 0,0        | VYIZ = -12,2        |
| PUNTO 16       | VXIZ = 0,0        | VYIZ = -6,0         |
| PUNTO 17       | VXIZ = -0,0       | VYIZ = -1,5         |
| PUNTO 18       | VXIZ = -0,0       | VYIZ = 16,4         |
| PUNTO 19       | VXIZ = -0,0       | VYIZ = 1,6          |
| PUNTO 20       | VXIZ = 0,0        | VYIZ = 2,8          |

En todas las situaciones estudiadas y tras el análisis de los resultados obtenidos al comparar el comportamiento del método "clásico" de ajuste y cualquiera de los métodos robustos estudiados, las conclusiones han sido siempre las mismas. Los estimadores robustos se han revelado como una alternativa eficaz y rápida a los métodos tradicionales en el ajuste de observaciones fotogramétricas en la detección de errores en dichos datos, siendo además los intervalos de detección muy amplios. Además, cabría añadir que algunos de los estimadores estudiados son capaces también de detectar la magnitud y signo de los errores presentes en las observaciones, pudiendo detectar varios simultáneamente sin pérdida de efectividad. Por su parte, el método clásico de ajuste incrementa de forma aleatoria los residuos en todos los

puntos, incluso los correctos, pudiendo llevar al usuario a conclusiones equivocadas acerca de la situación de los errores.

**5. REFERENCIAS**

- Domingo Preciado, Ana: "Investigación sobre los Métodos de Estimación Robusta aplicados a la resolución de los problemas fundamentales de la Fotogrametría". Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. Santander, febrero 2000.
- Kubik K.: "Oh, Gross Errors!". XV Congress of the I. Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Río de Janeiro, 1984.
- Wolf, P.R. "Elements of Photogrammetry". McGraw-Hill, 3ª edición. Nueva York, 1983. ■

# Declaración conjunta ONU-FIG de Bathurst sobre Gestión del Territorio para un Desarrollo Sostenible: Un reto para los topógrafos (y II)

Ian Williamson y Dont Grant  
UNIVERSIDAD DE MELBOURNE

## Resumen

*Como paso previo para superar la incierta relación entre la Gestión del Territorio y el desarrollo sostenible, se organizó en Bathurst, Australia, una “Mesa Redonda Conjunta de las Naciones Unidas y la Federación Internacional de Topógrafos” bajo el epígrafe de “Propiedad Inmobiliaria e Infraestructuras Catastrales para un Desarrollo Sostenible”, seguida de una conferencia internacional en Melbourne, Australia, en octubre de 1999. Estas iniciativas condujeron a “La Declaración de Bathurst sobre la Gestión del Territorio para el Desarrollo Sostenible”. La mesa redonda reunió a 40 expertos e investigadores de primera línea de todo el mundo, abarcando una amplia gama de disciplinas, incluidas seis agencias de la ONU, el Banco Mundial y al Director de Desarrollo Sostenible de la ONU. Confirmaron la urgente necesidad de reestructurar los sistemas de Gestión del Territorio para poder afrontar las prioridades económicas sociales y medioambientales que demanda el desarrollo sostenible, tal como describe la “Agenda para el Desarrollo de las Naciones Unidas”.*

*La Declaración se basa en la “Declaración sobre el Catastro” de la FIG, de 1995, y en la “Declaración acerca de la Reforma Catastral de Bogor”, realizada conjuntamente por la ONU y la FIG en 1996. Estas iniciativas, junto con la “Mesa Redonda de Bathurst” y la conferencia de Melbourne, formaron parte de los programas de trabajo de la Comisión 7 de la FIG (Catastro y Gestión Territorial).*

*En este artículo se discuten estas tendencias a reformar los sistemas de Gestión del Territorio, a la luz de los descubrimientos y recomendaciones de la Conferencia y de la Mesa Redonda. El artículo da un repaso a la “Declaración de Bathurst” e incluye, como apéndices, el Resumen Ejecutivo y las Recomendaciones. En la dirección [www.sli.unimelb.edu.au/UNConf99/](http://www.sli.unimelb.edu.au/UNConf99/), se puede encontrar el programa completo de la conferencia y las 25 ponencias de tomas de posición.*

*El desarrollo de la “Declaración de Bathurst” confirma el fundamental papel de los topógrafos y de la FIG para alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible. Sin embargo, esto es sólo el comienzo. Existe, en la actualidad, un claro reto para que los topógrafos y la FIG intenten alcanzar los objetivos de la Declaración, para lograr que el desarrollo sostenible pase de la retórica a la realidad.*

## RESULTADOS DE LA MESA REDONDA

Como resultado de las anteriores discusiones, la Mesa Redonda resumió sus resultados tal y como se reproduce a continuación (ONU-FIG, 1999). Basándose en las discusiones y en los descubrimientos que surgieron de ellas, la Mesa Redonda realizó una serie de recomendaciones, que se resumen en la siguiente sección y que se reproducen al completo en el Apéndice 2.

La Mesa Redonda tomó nota de los diversos grandes desafíos económicos, sociales, tecnológicos y medioambientales que depararía el nuevo milenio: la rápida urbanización, la degradación medioambiental, el cambiante papel del gobierno en la sociedad, el incremento de la desigualdad económica y el aumento de la pobreza y de la escasez de alimen-

tos y los desafíos económicos y sociales asociados con la creciente mundialización.

La disponibilidad de una información fiable, acerca de la tierra y de sus recursos, emergió como un aspecto vital para gestionar estos desafíos. Si las autoridades públicas, los usuarios particulares de recursos o las comunidades, han de tomar unas relevantes e importantes decisiones, con el fin de contribuir al desarrollo sostenible, éstas deben basarse en una información correcta de la tierra y del medioambiente. Esto, a su vez, requiere de la articulación de determinados principios para el desarrollo y operatividad de los sistemas catastrales y de gestión del territorio, así como de los sistemas de registros de la propiedad, que hagan posible el desarrollo sostenible.

Por principio, los derechos a la propiedad de la tierra no conllevan el derecho a descuidarla o destruirla. El concepto de propiedad (incluida la

posesión y otros tipos de intereses) conlleva una responsabilidad social y medioambiental, así como los pertinentes derechos a beneficiarse de la propiedad. Así pues, el registro de la propiedad de las tierras es simultáneamente un registro de quién tiene estas responsabilidades y quién se supone que disfrutará de los beneficios de los derechos pertinentes. La magnitud de la responsabilidad debe estimarse en base a la situación social y medioambiental del terreno y a la luz de la información disponible y está sujeta a las leyes expresas y a las prácticas de la jurisdicción apropiada.

La legislación debe, en la medida de lo posible, ser interpretada para poder expresar el concepto internacional de sostenibilidad. Se debe alentar a las naciones para que revisen estas leyes, con el fin de asegurar que el concepto de sostenibilidad queda integrado en todos los derechos básicos, responsabilidades, procedimientos y transacciones.

Para poder dar respuesta a estos desafíos, es esencial que la gestión del territorio sea eficaz. En este contexto, la propiedad puede contemplarse como el conjunto de derechos y responsabilidades de la tierra y sus recursos relacionados (tales como aguas, bosques y suelos), a los que los individuos y grupos de individuos tienen que poder acceder, usar, desarrollar y transferir. La gestión del territorio puede establecerse en base al concepto de los derechos individuales o compartidos, comunales, comerciales y privados. El enfoque puede centrarse en posesiones de arrendamiento o en las así llamadas posesiones de dominio franco. Lo que es importante es que los derechos y responsabilidades estén formalmente reconocidos y asegurados.

La falta de seguridad en los derechos de propiedad de la tierra inhibirá las inversiones en viviendas, la producción sostenible de alimentos y el acceso a los créditos; obstaculizará la buena gobernación, así como la aparición de sociedades civiles; acentuará la pobreza y la exclusión social; minará la planificación a largo plazo; y distorsionará los precios de los terrenos y de los servicios. A la sombra de esta discriminación económica, puede brotar la discriminación social. Sin un acceso eficaz a la tierra y a la propiedad, las economías de mercado son incapaces de evolucionar y no se podrán alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible.

Los delegados de la Mesa Redonda de Bathurst, en reconocimiento del papel fundamental de la propiedad y del acceso al uso de las tierras, para responder a los desafíos del desarrollo sostenible señalaron la urgente necesidad de reforzar las políticas, instituciones e infraestructuras necesarias para que ese acceso al uso de las tierras y a su propiedad sea efectivo. Además de esto, la "Mesa Redonda de Bathurst" pidió a la comunidad internacional que respaldase un ambicioso programa de acción, a largo plazo, encaminado a reducir significativamente el número de personas de todo el mundo que no pueden acceder de forma segura al uso de la tierra ni a los derechos de propiedad.

La Mesa Redonda señaló rotundamente que no hay ninguna esperanza de éxito a menos que se formule e implante una rigurosa y completa

agenda de acciones. Esta agenda debe de ser práctica, posible y evaluable. La preparación de esta agenda necesitará de un extenso trabajo por parte de la comunidad internacional (y se apoyará en iniciativas tales como la "Campaña del Hábitat Global para la Tenencia Segura") y precisará el considerar una amplia variedad de aspectos políticos, institucionales y estructurales.

Cualquier agenda de actuaciones necesitará, en primer lugar, atender a los aspectos políticos asociados con la construcción y que respalden a una eficaz gestión del territorio. Los principios básicos deben de articularse de modo que promuevan un acceso igualitario a la propiedad a todo el mundo, a la vez que respeten la sensibilidad de las necesidades y requisitos locales. Las políticas deben de formularse de forma que aseguren que todos los procesos de formalización y la subsiguiente transferencia de los derechos de propiedad sean tan sencillos y eficaces como sea posible. Desde su inicio, la política de la agenda debe de asegurar que exista una visión equilibrada e integrada para atender los requisitos de la sociedad urbana y de la rural a la hora de abordar los problemas de la tierra y demás recursos (incluyendo el agua, los bosques y el suelo). A la hora de formular e implantar la política de la agenda, deben hacerse todos los esfuerzos necesarios para alentar la participación, plena y activa, de las comunidades locales.

De especial importancia será la necesidad de establecer instituciones de gestión del territorio que atiendan eficazmente a las siempre cambiantes necesidades de la comunidad. Las instituciones de gestión del territorio, en este contexto, serán como "las reglas del juego". Éstas incluirán las leyes y regulaciones necesarias para crear los derechos de propiedad (así como las restricciones asociadas y requisitos impuestos por la comunidad o por el Estado), para efectuar el registro y subsecuente transferencia de los mismos, para resolver litigios, para la imposición fiscal y para la imparcial renovación de estos derechos. Deben de dar respuesta a las necesidades y condiciones locales y ser capaces de evolucionar a lo largo del tiempo, para resolver necesidades y prioridades diferentes. Además, estas instituciones deben de ser abiertas y transparentes.

No se alcanzarán estas ambiciosas metas a menos que exista el compromiso de diseñar e implantar una infraestructura eficaz de gestión del territorio. Estas infraestructuras pueden describirse como las organizaciones, normas, procesos, sistemas de información y de diseminación de la misma, y la tecnología necesaria para la asignación, transferencia, tratamiento y uso de la tierra. Uno de los mayores retos será el construir una infraestructura lo suficientemente robusta para, entre otras cosas, respaldar eficazmente la mejora en la seguridad y el acceso a los créditos y que sea, a la vez, lo suficientemente sencilla y eficiente para promover y apoyar una amplia participación. Los procesos para formalizar los derechos de propiedad precisarán necesariamente de una participación significativa de la comunidad, en tanto que los subsecuentes procesos de registro y de transferencia tendrán que ser capaces de dar una respuesta evolutiva a los variables requisitos de la comunidad. La tecnología de la información desempeñará un papel cada vez más importan-

te, tanto para construir la necesaria infraestructura como para permitir al ciudadano un acceso eficaz a la información. Finalmente, debe de existir un compromiso total para el mantenimiento y la mejora de la infraestructura de la gestión del territorio.

## RECOMENDACIONES DE BATHURST

La Mesa Redonda, confirmando la “Declaración de Bogor sobre la Reforma Catastral”, extendió el debate profesional sobre la gestión del territorio deseable y reconoció que la comunidad de naciones se había comprometido con los diversos Planes Globales de Acción de las Naciones Unidas, surgidos de las Cumbres de Naciones Unidas celebradas en la última década, e hizo un total de 20 recomendaciones. El texto completo de las mismas se reproduce en el Apéndice 2. Los principios básicos de las recomendaciones pueden resumirse de la siguiente manera:

- Confirmar el imperativo de que la gestión del territorio desempeñe un importante papel para facilitar y apoyar la toma compleja de decisiones, que es parte integral del desarrollo sostenible.
- Reconocer la necesidad de que la gestión del territorio evolucione más allá de los modelos catastrales tradicionales, hasta alcanzar una nueva visión de la relación entre tierra, propiedad y derechos, y la necesidad de iniciativas tales como sistemas de apoyo a la toma de decisiones, infraestructura de datos espaciales, etc., dándose cuenta de la necesidad de responder creativamente a las diferentes necesidades y deseos de disponer de sistemas de tenencia, que puedan conferir la igualdad a grupos específicos marginados dentro o entre las naciones.
- Englobar la interrelación entre una buena gobernación, la sociedad civil y la gestión del territorio para un desarrollo sostenible, y la necesidad de disponer de indicadores de contabilidad y evaluación del funcionamiento.
- Reiterar la necesidad de reformas legales, institucionales y tecnológicas, que atiendan las demandas de una toma de decisiones completa y de una visión general en los temas de distribución/preservación de terrenos, aguas y otros recursos.
- Urgir la importancia de una metodología interdisciplinaria para la gestión del territorio y recabar la responsabilidad de las naciones para resolver las necesidades de un desarrollo adecuado de los recursos humanos.

Las recomendaciones clave de la “Mesa Redonda de Bathurst” incluían:

- Proporcionar una seguridad legal efectiva de la tenencia y del acceso a la propiedad a todos los hombres y mujeres, incluidos los pueblos indígenas, a los que viven en la pobreza y a otros grupos desaventajados.
- Promocionar las reformas de la gestión del territorio esenciales para el desarrollo sostenible y facilitar el acceso pleno e igualitario de hombres y mujeres a las oportunidades económicas relacionadas con la tierra, tales como créditos y recursos naturales.

- Hacer inversiones en las infraestructuras necesarias de gestión del territorio y en la diseminación de la información territorial requerida para lograr estas reformas.
- Reducir a la mitad, para el año 2010, el número de personas de todo el mundo que no tienen un acceso efectivo a unos derechos seguros a la propiedad de la tierra.

## ACCIONES FUTURAS

En el año 2000 se hicieron presentaciones de la “Declaración de Bathurst” y de sus recomendaciones de actuación en la “Conferencia Cartográfica Regional de la Naciones Unidas para Asia y el Pacífico” en Malasia, en la “Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible” en Nueva York y en la Asamblea General de la FIG en Praga. Se espera hacer muchas más presentaciones de la “Declaración de Bathurst” a lo largo de los próximos dos años.

También, a las pocas semanas de su lanzamiento, la “Declaración de Bathurst” se ha hecho circular por muchos países y por varias agencias importantes de la ONU, que ya han empezado a actuar de acuerdo con sus recomendaciones.

## CONCLUSIÓN

Las sociedades de todo el mundo continúan en su marcha hacia un futuro sembrado de cambios y presiones, que reflejan la complejidad de los diferentes retos en los frentes económico, social, político y medioambiental. Los actuales factores desencadenantes de las crisis mundiales medioambientales, tales como la rápida urbanización, las reformas económicas radicales y la revolución de la tecnología de la información, se suman al caleidoscopio de fuerzas que tanto ayudan, como obstaculizan, al proceso de comprender y superar al desafío del desarrollo sostenible.

La “Declaración de Bathurst” ha confirmado la poderosa vinculación que existe entre una adecuada gestión del territorio y el desarrollo sostenible. Al hacerlo, ha confirmado aun más la gradual evolución de la gestión del territorio, desde su enfoque catastral, orientado al mercado, hacia el papel adicional de facilitar información para las estructuras polivalentes de información espacial, que son las que mejor responden a las complejas demandas de la toma de decisiones sostenible para el desarrollo de la tierra y de los recursos relacionados con ella. En términos sencillos; si queremos que el desarrollo sostenible deje de ser mera retórica, se necesita un nuevo modelo paradigmático de gestión del territorio.

El desarrollo de la “Declaración de Bathurst” confirma el papel crítico de los topógrafos y de la FIG en la persecución de los objetivos del desarrollo sostenible. Esto es, sin embargo, sólo el comienzo. Existe, en la actualidad, un claro desafío para que los topógrafos y la FIG persigan los objetivos de la “Declaración de Bathurst”, para lograr que el desarrollo sostenible pase de la retórica a la realidad.

El impulso intelectual y la dedicación de los expertos de la “Mesa Redonda de Bathurst” sólo alcanzará un progreso duradero si los gobiernos, sociedades civiles y el amplio espectro de profesionales, trabajan juntos para capitalizar y mantener vivo el impulso de la Declaración, con un pensamiento creativo y una acción sistemática.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren manifestar un especial agradecimiento, por su contribución, a los participantes de la “Mesa Redonda de Bathurst” que se citan en la Declaración. Los autores también agradecen el apoyo del “Land Information Center” del gobierno de Nueva Gales del Sur, a la agencia “Land Victoria” del gobierno de Victoria y al Departamento de Geomática de la Universidad de Melbourne, por haber organizado y hecho posibles la “Mesa Redonda de Bathurst” y la Conferencia de Melbourne. Sin embargo, los puntos de vista expresados en este artículo son sólo los de los autores y no reflejan necesariamente los del “Land Information Center” o del “Land Victoria”. Este artículo reconoce que su contenido es substancialmente igual al de Williamson y alumnos (2000), y que numerosos artículos y presentaciones acerca de la “Declaración de Bathurst” se basan en el mismo material.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ting, L. y Williamson, I. (1999a). Cadastral Trends: A Synthesis. *Australian Surveyor*, 4(1), 46-54.
- Ting, L. y Williamson, I. (1999b). Land administration and cadastral trends: the impact of the changing humankind-land relationship and major global drivers. En *Proceedings of International Conference on Land Tenure and Cadastral Infrastructures for Sustainable Development*, (Melbourne, Australia: UN-FIG), 252-275 ([www.sli.unimelb.edu.au/UNConf99/proceedings.htm](http://www.sli.unimelb.edu.au/UNConf99/proceedings.htm)).
- UN-FIG (1999). *The Bathurst Declaration on Land Administration for Sustainable Development*. UN-FIG International Workshop on Land Tenure and Cadastral Infrastructures in Support of Sustainable Development ([www.sli.unimelb.edu.au/UNConf99/proceedings.htm](http://www.sli.unimelb.edu.au/UNConf99/proceedings.htm)).
- United Nations (1999). *Global Environment Outlook 2000*. UN Environment Program ([www.unep.org/unep/eia/geo2000/](http://www.unep.org/unep/eia/geo2000/)).
- Williamson, I. P. (1991). Land Information Management at the World Bank. *The Australian Surveyor*, 35(5), 41-51.
- Williamson, I. P. y Ting, L. (1999). Land administration and cadastral trends: a framework for re-engineering. En *Proceedings of International Conference on Land Tenure and Cadastral Infrastructures for Sustainable Development*, (Melbourne, Australia: UN-FIG), 317-338 ([www.sli.unimelb.edu.au/UNConf99/proceedings.htm](http://www.sli.unimelb.edu.au/UNConf99/proceedings.htm)).
- Williamson, I. P., Ting, L. y Grant, D. M. (2000). The Evolving Role of Land Administration in Support of Sustainable Development - A review of the United Nations - International Federation of Surveyors

*Bathurst Declaration for Sustainable Development. The Australian Surveyor.*

- World Bank (1989). *World Bank Development Report*, New York: Oxford University Press.

## APÉNDICE I

### Resumen ejecutivo- Declaración de Bathurst sobre la Gestión del Territorio para el Desarrollo Sostenible

En la actualidad, casi todas las sociedades están experimentando unos rápidos cambios ocasionados por una amplia gama de factores que incluyen las crecientes presiones de la población sobre los terrenos, especialmente en las áreas urbanas. La población humana prácticamente ha alcanzado los seis mil millones de habitantes. Los pobres se concentran, cada vez más, en barrios marginales y en poblados de chabolas en las afueras de nuestras ciudades, que están siempre en expansión. Las desigualdades genéricas en el acceso a las oportunidades económicas y sociales, se hacen cada vez más evidentes. Dentro de los próximos treinta años, dos tercios de la población mundial vivirá en las ciudades. La disponibilidad de agua potable está, en la actualidad, acercándose a un punto crítico. Con los actuales niveles de consumo, alrededor del año 2025 dos tercios de la población mundial vivirá en condiciones de falta de agua. El reto no sólo es que se satisfagan las necesidades de alimentos, vivienda y calidad de vida de la población mundial, sino también el asegurar que las futuras generaciones también vean atendidas dichas necesidades.

Unos derechos de propiedad inseguros inhiben el uso y la inversión en los terrenos rurales y urbanos. Entorpecen la buena gobernación y el surgimiento de una sociedad civil comprometida. El desarrollo descoordinado, la gestión y planificación incorrectas de la tierra y de sus usos y la creciente vulnerabilidad de las poblaciones frente a los desastres y a la degradación medioambiental, constituyen, en su conjunto, las dificultades para afrontar estos retos. Sin un acceso eficaz a la propiedad, las economías son incapaces de progresar y no se puede alcanzar la meta del desarrollo sostenible.

Sin embargo, el mundo está cambiando. La creciente sensibilización que existe acerca de estos temas, junto con la mejor comprensión de las consecuencias de las actuaciones y la mayor capacidad de asegurar y emplear una información relevante, están ayudando a traer los cambios necesarios. Estos temas están forzando al rediseño de los sistemas de gestión del territorio, para asegurar que soporten el desarrollo sostenible y sirvan para atender, de manera eficaz, los mercados de tierras. Los marcos de trabajo de la gestión del territorio se verán forzados a responder rápidamente a estos cambios sin precedentes.

La Mesa Redonda conjunta ONU-FIG de Bathurst sobre la “Tenencia de Tierras e Infraestructuras Catastrales para el Desarrollo Sostenible” ha respondido a este reto. Las instituciones e infraestructuras de gestión del

territorio deberán evolucionar y adaptar su a menudo inadecuado y estrecho enfoque, para atender una amplia gama de nuevas necesidades y desarrollos tecnológicos, así como un medio institucional en continuo cambio. También necesitan adaptarse continuamente a las complejas relaciones que están surgiendo entre la tierra y la Humanidad, al tiempo que a las fluctuantes relaciones entre la población y los gobiernos. Estas condiciones deben conducir a mejores sistemas de gobernación.

La “Mesa Redonda de Bathurst” ha examinado los aspectos más importantes relacionados con el refuerzo de las políticas, instituciones e infraestructuras territoriales, y, en particular, identificando los siguientes aspectos:

- el futuro de las relaciones entre la tierra y la Humanidad
- el papel de la tierra en el desarrollo sostenible
- alimentación, agua y políticas territoriales
- tenencia de tierras y sistemas de gestión del territorio
- cuál es la interacción de los mercados de tierras, el registro de la propiedad, la planificación territorial y la valoración
- rediseño de los sistemas de gestión del territorio.

En cada uno de estos temas claves, la Mesa Redonda revisó la situación existente, bajo la rápidamente cambiante panorámica de la gestión del territorio. Investigó y ofreció sus recomendaciones acerca de cómo deberían de evolucionar las tenencias de las tierras, las instituciones e infraestructuras de gestión del territorio y los sistemas catastrales, para permitir responder a los retos de los cambios, en el siglo XXI.

La “Declaración de Bathurst sobre la Gestión del Territorio para el Desarrollo Sostenible” requiere de un serio compromiso para poder ofrecer una seguridad legal eficaz al acceso y tenencia de la propiedad, a todos los hombres y mujeres, incluidos los pueblos indígenas y a aquellos que viven en la pobreza, así como a otros grupos desaventajados. Identifica la necesidad de promocionar las reformas institucionales que faciliten el desarrollo sostenible y la necesidad de invertir en la necesaria infraestructura de gestión del territorio. Esto conferirá a la gente un acceso pleno e igualitario a las oportunidades económicas relacionadas con la tierra.

Y lo que es más importante, la Declaración justifica y demanda un compromiso por parte de la comunidad internacional y de los gobiernos, para que, antes del año 2010, se reduzca a la mitad el número de personas de todo el mundo que carecen de acceso efectivo a los derechos a la propiedad segura de la tierra.

Para cumplir este compromiso, la Mesa Redonda propone una serie de recomendaciones. Las recomendaciones acerca de políticas y reformas institucionales deben de asegurar que existe un enfoque integral y equilibrado, que tenga en cuenta todas las relaciones de tenencia, tanto en la sociedad urbana como en la rural. Se recomienda una participación plena y activa de las comunidades locales a la hora de formular e implantar dichas reformas. Es vital la necesidad de desarrollar infraestructuras

de gestión del territorio que resuelvan eficazmente los constantemente variables requisitos de la comunidad. Finalmente, se contempla que la tecnología de la información va a desempeñar un papel, cada vez más importante, en el desarrollo de la infraestructura necesaria y va a permitir al ciudadano un acceso eficaz a ella.

El desarrollo sostenible no se puede lograr sin una correcta Gestión del Territorio.

1. Buena información territorial
2. Mejora en la política de tierras
3. Mejora en la gestión y Gestión del Territorio
4. Mejor uso del suelo

## APÉNDICE 2

### Recomendaciones de la Declaración de Bathurst

Dado que, en la mayoría de los países en vías de desarrollo, más de la mitad de la población no tiene acceso a unos derechos seguros de propiedad de la tierra y dada la preocupación que existe en todo el mundo acerca de la sostenibilidad del desarrollo y a la creciente crisis urbana, la “Mesa Redonda de Bathurst” recomienda un compromiso mundial para:

1. Ofrecer una seguridad legal eficaz a la tenencia y acceso a la propiedad, a todos los hombres y mujeres, incluidos los pueblos indígenas, los que viven en la pobreza y otros grupos marginados.
2. Promocionar reformas esenciales en la gestión del territorio para el desarrollo sostenible y facilitar, a los hombres y mujeres, un acceso pleno e igualitario a las oportunidades económicas relacionadas con la tierra, tales como créditos y recursos naturales.
3. Invertir en la necesaria infraestructura de gestión del territorio, así como en la diseminación de la información territorial necesaria para lograr estas reformas.
4. Reducir a la mitad, en el año 2010, el número de personas del mundo que carecen de un acceso efectivo a unos derechos seguros de propiedad de la tierra

La Mesa Redonda, tras confirmar la Declaración de Bogor, ampliar el debate profesional sobre una gestión del territorio deseable y reconocer que la comunidad de naciones se ha comprometido, a lo largo de la última década, con los diversos planes de acción mundial de la Naciones Unidas surgidos de sus cumbres, recomienda lo siguiente.

5. Alentar a las naciones, a las organizaciones internacionales, a los políticos, a los administradores y a todas las partes interesadas, a adoptar y promover la “Declaración de Bathurst” en ayuda del desarrollo sostenible.
6. Alentar a todos los que intervienen en la gestión del territorio, a reconocer las relaciones e interdependencia entre los diferentes as-

- pectos de la tierra y la propiedad. En particular, existe la necesidad de una cooperación y coordinación funcional entre las instituciones encargadas de la cartografía y la topografía, el catastro, la valoración, la planificación física, la reforma territorial, la concentración parcelaria y el registro de la propiedad.
7. Alentar el flujo de información relacionada con la tierra y la propiedad, entre las distintas agencias gubernamentales y entre estas agencias y el público. Mientras que la recogida, custodia, mantenimiento y acceso a los datos debe de facilitarse a nivel local, debe reconocerse que la infraestructura de la información territorial debe pertenecer a un servicio nacional uniforme, para promover el compartir la información, dentro del país y entre naciones.
  8. Mejorar la seguridad de los sistemas de tenencia, acceso a la tierra y gestión del territorio, mediante reformas políticas e institucionales, y las herramientas adecuadas, prestando especial atención a las mujeres, a los pueblos indígenas, a los pobres y a otros grupos desfavorecidos. En muchas naciones, esto supondrá unos esfuerzos muy particulares en áreas con tenencias consuetudinarias o informales, y en las zonas urbanas, en donde el crecimiento de la población es rápido y las deficiencias son más generalizadas.
  9. Reconocer que, poco a poco, se puede conseguir una buena gestión del territorio, empleando sistemas relativamente sencillos, baratos y manejados por el propio usuario, y que suministren aquello que más se necesite para el desarrollo sostenible.
  10. Reconocer que el inaceptable aumento en los incidentes de violentas disputas por derechos de propiedad, puede reducirse mediante unas buenas instituciones de tenencia de tierras que se basen en datos de información territorial de calidad. Debajo de una buena gobernación subyace una buena información territorial. Cuando surgen los conflictos, deben de existir mecanismos, no costosos, de resolución de disputas y en un lugar que sea fácilmente accesible a todas las partes afectadas.
  11. Alentar a los organismos gubernamentales, locales y nacionales a que documenten y gestionen sus propios bienes territoriales.
  12. Reconocer que los mercados de tierras operan dentro de un rango de tenencias de tierras de los que la libre posesión es solo una de ellas. Es importante facilitar la eficaz operatividad de los mercados de tierras mediante unos adecuados marcos legales, enfocados a los problemas sociales y medioambientales.
  13. Con el fin de aumentar el conocimiento de la situación mundial de la gestión del territorio y de la tenencia de tierras, la ONU, con vistas a confeccionar un atlas del mundo, con su correspondiente documentación, va a realizar un estudio de temas mundiales de gestión del territorio, tales como gamas y aspectos de la tenencia, aglomeración urbana, disputas sobre terrenos, problemas e indicadores. Muchos de los datos que se necesitan ya están disponibles en bases de datos de la ONU.
  14. Como consecuencia de las dificultades de interpretación de los muchos términos relacionados con la gestión del territorio, se debe desarrollar un diccionario de fácil acceso, traducido a los idiomas adecuados y que facilite una mejor comprensión de la terminología empleada. Más aún, y en base a criterios seleccionados, se va a usar para preparar ejemplos de las "mejores prácticas" en el campo de la gestión del territorio. Esto puede hacerse empleando trabajos ya realizados por la FIG y la FAO.
  15. A la vista de la crucial importancia de los recursos humanos en la gestión del territorio, hay que asegurarse de que exista una formación y educación sostenida en este tema. En particular, las agencias internacionales deben preocuparse del desarrollo de cursos de formación multidisciplinarios y multinacionales en gestión del territorio y hacerlos disponibles a nivel local, mediante el uso de la moderna tecnología de la información.
  16. Las agencias nacionales e internacionales deben de organizar mesas redondas y efectuar estudios relacionados con aspectos tales como la calidad de la información y del acceso a la tierra, y otros temas relacionados con la distinción entre mujeres y hombres, con la legislación consuetudinaria y los derechos de los pueblos indígenas, con los sistemas de tenencia de tierras, con la interacción entre los derechos de tierras y aguas, con los catastros marítimos y con la gestión de los sistemas de gestión del territorio.
  17. A fin de coordinar la ayuda extranjera, los países que la soliciten deben desempeñar un papel más activo en la coordinación de dichas ayudas y preparar análisis de los perfiles del país, describiendo la situación de su gestión del territorio y la necesidad de mejoras. Basándose en esto, los países deben preparar un plan maestro, al que se deben de adherir todas las iniciativas y proyectos.
  18. Con el fin de asegurar el desarrollo sostenible de las aguas territoriales oceánicas, reclamadas a través de UNCLOS, las Naciones Unidas enfatizan la necesidad de que los países que hayan efectuado reclamaciones de este tipo, desarrollen una eficaz administración de recursos marinos, mediante una infraestructura nacional de datos espaciales
  19. Efectuar análisis y desarrollar indicadores de rendimientos, que sean capaces de realizar un seguimiento de la eficacia de los sistemas de gestión del territorio y de tenencia de tierras, en relación con el desarrollo sostenible y el alivio de la pobreza.
  20. La Mesa Redonda y la FIG apoyan enfáticamente la "Campaña Mundial para la Tenencia Segura" efectuada dentro de la implantación de la "Agenda Hábitat", lanzada por el UNCHS (Hábitat), y se comprometen a promocionar, en los programas de la FIG del futuro, actividades en los términos de esta campaña. ■

# Los sistemas GPS+GLONASS

Fernando Sahuquillo  
TOPCON ESPAÑA, S.A.

*En este artículo se analizan las ventajas que suponen los sistemas GPS+GLONASS, las diferencias fundamentales entre ellos y los argumentos en pro y en contra del sistema así como la gama de equipos Topcon con capacidad GPS ó GPS+GLONASS.*

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, de los sistemas de posicionamiento por satélite existen dos que son de similar fundamento teórico: Uno, el conocido como GPS, propiedad de los EEUU y cuyo control es en última instancia del gobierno de ese país. El otro, conocido como GLONASS, propiedad de Rusia y controlado por el gobierno ruso.



El desarrollo histórico de ambos sistemas ha sido muy diferente, y su situación actual también, pudiendo decir que el sistema GPS ha alcanzado su finalización según se tenía previsto, estando ya hace algunos años en fase de explotación y mantenimiento a pleno rendimiento, mientras que el sistema GLONASS está todavía sin concluir y ha atravesado por diversos problemas económicos y de decisión política. A pesar de ello, es un sistema que a día de hoy dispone de 10 satélites operativos (contra los más de 24 del sistema GPS) y esto hace que se trate de un sistema de difícil uso por sí solo, pero de posible utilización conjunta con GPS.

## QUE VENTAJAS APORTA GPS+GLONASS

El utilizar receptores capaces de recoger y procesar la señal proveniente de satélites de la constelación GPS y de la constelación GLONASS aporta sin duda algunas ventajas que veremos a continuación, pero antes quiero destacar una característica que no se va a ver beneficiada significativamente por el hecho de disponer de ambos sistemas y es la *precisión*.



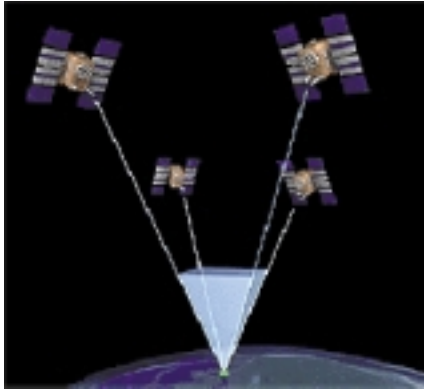
En realidad, y para poner un símil, es como si realizáramos una trisección inversa a 20 vértices conocidos ó a 50, el aumento de precisión no sería significativo. O como si midiésemos una distancia con cinta métrica 30 veces o 40. De hecho la precisión ya es "muy buena" (en modo diferencial y observando la fase) con solo el sistema GPS, pudiendo alcanzarse el centímetro o incluso los 5 mm utilizando el método adecuado (estático) en condiciones ideales.

Entonces: ¿qué aporta GLONASS? Fundamentalmente lo siguiente:

1. Mayor cobertura
2. Mayor velocidad de inicialización y reinicialización.

La mayor cobertura se nota en alguna situación como levantamientos urbanos, en los que los obstáculos (generalmente edificaciones) impiden el observar más de 4 satélites GPS. En estos casos, el disponer de una

segunda constelación como GLONASS puede aumentar el número de satélites a 5, 6 e incluso 7 satélites, haciendo posible el continuar trabajando en esas circunstancias. Esto también se puede producir en lugares angostos, como valles profundos y escarpados, acantilados y en definitiva en todos aquellos lugares donde la cobertura quede limitada por obstáculos de cierta importancia (por ejemplo en zonas de bosque



muy espeso, donde quizá no sea capaz en ese instante y lugar de captar más de 3 satélites GPS y 2 GLONASS).

Otro aspecto importante de los receptores GPS+GLONASS es su mayor velocidad de inicialización y

reinicialización. En la práctica se inicializa el receptor base y tras ello el receptor(es) móvil(es).

El tiempo necesario para inicializar los receptores depende entre otros de la posición de los satélites y de su número, además del algoritmo y calidad del receptor. Pero, suponiendo dos receptores idénticos en el mismo lugar y momento, que tengan recepción de señal de 8 satélites y que a uno de ellos se le ha indicado que no considere la señal de 4 de estos satélites, este receptor tardará más tiempo en inicializar que el que capta los 8 satélites.

Para hacernos una idea del tiempo que esto significa, podríamos decir por ejemplo que lo que un receptor tardaría 30 segundos, el otro lo conseguiría en solo 10.

De este modo un receptor con capacidad GPS+GLONASS siempre inicializará más rápido que un receptor sólo GPS, si el resto de condiciones son idénticas.

Pero más importante y útil que lo anterior es la rapidez en la reinicialización. En el caso de los receptores de fase de una o dos frecuencias sabemos que es necesario mantener la señal de los satélites continuamente durante el movimiento del receptor móvil.

Si se pierde la señal de algunos satélites (por ejemplo al pasar bajo un puente o en una zona de árboles espesa) y se captan 3 o menos, es necesario reinicializar el receptor.

La tarea de reinicializar el receptor es posible hacerla de uno de los modos siguientes:

- Estacionar en un punto cualquiera un tiempo adecuado para conseguir la reinicialización. Este tiempo es variable en función del tipo de receptor (mono o doble frecuencia), posición de los satélites (GDOP), algoritmos de cálculo del receptor, etc. Por ejemplo, con un receptor monofrecuencia no es extraño superar los 5 minutos.

- Estacionar en un punto conocido, por ejemplo un punto tomado anteriormente a la pérdida de señal de los satélites y que se señalizó adecuadamente para reposicionarse.

En estos casos la reinicialización es muy rápida, generalmente de unos pocos segundos.

Una variante de este método es utilizar una "barra de inicialización", que no es más que un punto situado a una distancia determinada y concreta del receptor base (es decir un punto conocido). Esta distancia se materializa mediante una barra de unos 50 centímetros acoplada en la antena situada en el receptor base. Este método se aplica para receptores monofrecuencia y es útil si el punto donde se ha perdido la señal está próximo a la base fija de referencia y se justifica por tanto volver a visitarle para reinicializar en pocos segundos.

- Utilizar la reinicialización en movimiento, también llamada "al vuelo" o bien OTF (On The Fly). Esto consiste en un algoritmo que incorporan los receptores de doble frecuencia, que les permite reinicializar después de haber perdido señal de satélites, mientras el receptor móvil se mueve al siguiente punto. De este modo, después de haber perdido señal no es necesario detenerse y se puede continuar el levantamiento sin más que moviéndose al siguiente punto por una zona suficientemente despejada.

En cualquiera de las tres formas de reinicialización descritas anteriormente, la aportación de satélites GLONASS al sistema GPS va a proporcionar una reducción en el tiempo de reinicialización muy significativa. Esto le ofrece al usuario una mayor comodidad y aumento de productividad.

## DIFERENCIAS ENTRE GPS Y GLONASS

Algunas diferencias entre la constelación GPS y GLONASS son, por ejemplo, el sistema de lanzamiento, así los satélites GPS los pone en órbita un cohete llamado Delta 2-7925 que transporta un satélite por cada lanzamiento, mientras que GLONASS pone en órbita sus satélites transportándolos en el cohete Proton K/DM-2, que es capaz de lanzar tres satélites en cada viaje.

El sistema GPS consta de 6 planos orbitales con órbitas inclinadas 55° y situados a una altitud de 20.180 km con un periodo de 11 h 58 min. El sistema GLONASS consta de 3 planos orbitales inclinados 64,8° y situados a 25.540 km con un periodo de 11 h 15 min 44 seg.

Por otro lado, el sistema GPS utiliza como efemérides los elementos Keplerianos, que permiten conocer la posición y trayectoria instantánea que va a seguir cada satélite. Estos elementos son los siguientes:

- a** = semieje mayor de la órbita
- e** = excentricidad de la órbita
- i** = Inclinación de la órbita
- w** = Argumento del perigeo
- W** = ascensión recta del nodo ascendente
- M** = anomalía media  $(GM/a^3)^{1/2}$

|                         | GLONASS           | GPS          |
|-------------------------|-------------------|--------------|
| Número de Satélites     | 21+3 (7)          | 21+3 (28)    |
| Vehículo de lanzamiento | Proton k/DM-2     | Delta 2-7925 |
| Sat. por lanzamiento    | 3                 | 1            |
| Planos Orbitales        | 3                 | 6            |
| Inclinación de Órbita   | 64,8              | 55           |
| Altitud de Órbita       | 25.540 km         | 20.180 km    |
| Período de Órbita       | 11:15:44          | 11:58:00     |
| Efemérides              | Pos/Vel/Acc       | Keplerian    |
| Elipsoide de Ref.       | PZ90              | VGS84        |
| Freq. L.1               | 1602MHz+n 9/16MHz | 1575.42      |
| Freq. L.2               | 1246MHz+n 7/16MHz | 1227.60      |

**Cuadro 1**

| <b>ESTADO DE GLONASS EL 08 SEPTIEMBRE 2000</b> |                         |
|--|-------------------------|
| <b>SATÉLITES, PLANOS, SLOTS Y CANALES</b>      |                         |
| Plano 1/ slot:                                 | 01 02 03 04 05 06 07 08 |
| Canal:   | 02 — — — — — 07 08      |
| Plano 2/ slot:                                 | 09 10 11 12 13 14 15 16 |
| Canal:   | — 09 — — 06 — 11 —      |
| Plano 3/ slot:                                 | 17 18 19 20 21 22 23 24 |
| Canal:   | — — — — — 10 — —        |

**Cuadro 2**

El sistema GLONASS usa como efemérides la posición, la velocidad y aceleración instantánea.

Otra diferencia entre ambos es el elipsoide de referencia. Así, GPS utiliza WGS84, mientras que GLONASS utiliza PZ90, ambos además de tener dimensiones distintas están también anclados en igual punto (el centro de la tierra y solidario a ella).

Por último, GPS transmite en dos frecuencias dentro de la banda L, que son L1=1575,42 MHz y L2= 1227,60 MHz, mientras que GLONASS

utiliza una frecuencia distinta para cada satélite (sólo los satélites opuestos en un mismo plano orbital tienen igual frecuencia), esto facilita su identificación, no siendo necesario que en el mensaje se incluya el número del satélite para que el receptor reconozca de donde proviene la señal. También todas las frecuencias están dentro de la banda L.

En el cuadro 1 se resumen las diferencias comentadas.

En el cuadro 2 se indican los slots o posiciones de cada satélite, en qué plano orbital se encuentra y qué canal (para calcular la frecuencia de emisión) de los satélites Glonass.

En el cuadro 3 aparece el estado de la constelación Glonass el 8 de septiembre de 2000. Desde esa fecha se han producido dos nuevos lanzamientos (6 satélites más).

Por todas estas diferencias, se comprende que la tecnología necesaria para combinar la señal GPS y GLONASS no está al alcance de cualquiera, siendo en la actualidad TOPCON, tras la compra de la empresa JAVAD, el fabricante puntero en la combinación de ambas tecnologías.

### ARGUMENTOS EN PRO Y EN CONTRA DE GPS+GLONASS

Es evidente que GLONASS no es un sistema hoy en día igual de eficaz que GPS, pero no es ésta la cuestión. La cuestión es si GPS+GLONASS es un sistema que aporte beneficios significativos a los usuarios con respecto a un sistema capaz sólo para GPS. La respuesta a esa pregunta es sí. Se obtienen ventajas de mayor cobertura y menor tiempo de inicialización y reinicialización. Así pues, para aquellos usuarios que prevean que pueden tener que trabajar en condiciones difíciles para GPS (pérdidas frecuentes de la señal o entornos con poca cobertura) será aconsejable que sus receptores tengan la capacidad GPS+GLONASS en lugar de solo GPS.

| GLONASS número | Cosmos número | Plano/slot | Frecu. canal | Lanzam. fecha | Intro fecha | Estado fecha  | Outage   |
|----------------|---------------|------------|--------------|---------------|-------------|---------------|----------|
| 775            | 2289          | 2/16       | 22           | 11.08.94      | 07.09.94    | no utilizable | 13.08.00 |
| 766            | 2308          | 3/22       | 10           | 07.03.95      | 05.04.95    | operativo     |          |
| 781            | 2317          | 2/10       | 9            | 24.07.95      | 22.08.95    | operativo     |          |
| 785            | 2318          | 2/11       | 4            | 24.07.95      | 22.08.95    | no utilizable | 13.08.00 |
| 776            | 2323          | 2/9        | 6            | 14.12.95      | 07.01.96    | no utilizable | 13.08.00 |
| 778            | 2324          | 2/15       | 11           | 14.12.95      | 26.04.99    | operativo     |          |
| 782            | 2325          | 2/13       | 6            | 14.12.95      | 18.01.96    | operativo     |          |
| 779            | 2364          | 1/1        | 2            | 30.12.98      | 18.02.99    | operativo     |          |
| 784            | 2363          | 1/8        | 8            | 30.12.98      | 29.01.99    | operativo     |          |
| 786            | 2362          | 1/7        | 7            | 30.12.98      | 29.01.99    | operativo     |          |

**Cuadro 3**

Como argumentos en contra se pueden barajar dos:

1. Inseguridad de perspectivas futuras del sistema
2. Precio de los receptores GPS+GLONASS

Respecto al primer punto, si bien es cierto que la economía rusa no atraviesa un buen momento, no deja de ser una gran potencia mundial y, de momento, el único sistema de posicionamiento global alternativo complementario a GPS. También decir que a finales del año 2000 se lanzaron, en el mes de diciembre, 3 nuevos satélites, lo que indica que el proyecto GLONASS no está desechado por el gobierno ruso, sino todo lo contrario.

En cuanto al segundo punto, TOPCON tiene productos lo suficientemente flexibles y modulares que rebaten este argumento, como se verá en el siguiente apartado.

### LA GAMA DE PRODUCTOS TOPCON

La marca TOPCON fabrica una extensa gama de equipos GPS topográficos.

Todos ellos son configurables como monofrecuencia o doblefrecuencia GPS y por tanto equivalentes a aquellos receptores de otros fabricantes de GPS que no tienen la opción GLONASS.

Una de las ventajas de los receptores Topcon es que el usuario puede ampliar la capacidad GPS a GPS+GLONASS y esto lo puede hacer en el momento de adquirir su equipo de forma permanente o bien en cualquier momento posterior a la compra. Así, se puede disponer de un receptor GPS y tras observar las dificultades en un trabajo concreto ampliarlo a GPS+GLONASS. Este cambio no precisa ampliar piezas o añadir componentes, basta con actualizar el *firmware* (software interno del receptor) convirtiendo esta ampliación en un proceso lo más sencillo y práctico posible.

Por otro lado, esta ampliación puede ser permanente o temporal. En este último caso se indica una fecha de inicio y de final de activación de esa opción. Se trata pues de un alquiler de la opción deseada.

Todo ello crea una gama de equipos flexible y totalmente adaptada a las necesidades del usuario. A continuación se muestran algunos modelos y sus posibles configuraciones:

- Legacy-E: GPS monofrecuencia  
 GPS doblefrecuencia  
 GPS+GLONASS monofrecuencia  
 GPS+GLONASS doblefrecuencia



- Legacy-H: GPS monofrecuencia  
 GPS doblefrecuencia  
 GPS+GLONASS monofrecuencia  
 GPS+GLONASS doblefrecuencia



- Odyssey: GPS monofrecuencia  
 GPS doblefrecuencia  
 GPS+GLONASS monofrecuencia  
 GPS+GLONASS doblefrecuencia  
 Configurado todo en un jalón



- Regency: GPS monofrecuencia  
 GPS doblefrecuencia  
 GPS+GLONASS monofrecuencia  
 GPS+GLONASS doblefrecuencia  
 Antena tipo *chocke ring* y receptor integrado



Además de esta flexibilidad, los receptores TOPCON incorporan otras funciones de alta tecnología, como la eliminación de interferencias dentro de la banda L, un algoritmo exclusivo para recibir señal bajo arboles, otro para reducir el efecto *multipath*, etc. Todo ello con un peso excepcional por su ligereza y un bajo consumo.

### CONCLUSIONES

Los receptores con capacidad GPS+GLONASS aportan ventajas tales como mayor cobertura y más rápida reinicialización, que son de gran importancia en algunas situaciones críticas para receptores sólo GPS. Además, Topcon ofrece la opción de configurar el mismo equipo a medida del usuario.

Por último, destacar que todos los receptores Topcon disponen de 40 canales (20 canales L1 + 20 canales L2), esto les permite recibir un elevado número de satélites; en la actualidad los GPS y los GLONASS, pero en el futuro próximo, cuando también esté disponible la constelación europea GALILEO, bastará probablemente una adaptación de *firmware* para que un mismo receptor capte la señal de satélites de la constelación GALILEO. ■

# Novedades Técnicas

## EQUIPOS LEICA PARA MEDIR EL PICO MÁS ALTO DE AMÉRICA

La altitud precisa del Aconcagua, el pico más alto de América, será anunciada a finales del mes de mayo, cuando regrese la expedición científica italo-argentina que, dirigida por el geólogo Giorgio Poretti, ha vuelto a medir la que es también la montaña más alta del hemisferio sur, utilizando los métodos de posicionamiento global (GPS) y de topografía terrestre más modernos.

Los científicos del equipo expedicionario de Poretti esperan con entusiasmo los resultados de la nueva medición para saber si revelan la tendencia a "perder" altitud mostrada por otros picos de Asia y África que se han vuelto a medir en los últimos años.

### ¿Después del Everest y del Kilimanjaro ahora también el Aconcagua?

En el pasado, debido a limitaciones técnicas, no eran posibles las mediciones de alta precisión de las cumbres más elevadas del mundo. Sin embargo, con la aparición en la década pasada de equipos de geodesia GPS sumamente precisos, se ha despertado el interés de volver a medir y confirmar las altitudes exactas de los picos más altos de cada uno de los continentes. El Everest, en Asia, y el Kilimanjaro, en África, se volvieron a medir utilizando el mismo equipo GPS de Leica Geosystems, el primero en proporcionar una precisión de cinco milímetros, la mejor precisión geodésica de las señales de los satélites de GPS Navstar.

En el Everest –vuelto a medir en 1992 por un equipo italo-chino-nepalés también dirigido por el profesor Giorgio Poretti– la altitud del pico más alto de la Tierra resultó ser de 8.846 metros, es decir, dos metros menos que en la medición anterior. Lo mismo ocurrió con el Kilimanjaro en 1999, cuando un equipo germano-tanzano, dirigido por Eberhard Messmer, llegó a la conclusión de que el punto más alto de ese volcán estaba a 5.893 metros sobre el nivel del mar, o sea, dos metros más bajo que en la medición anterior. De estos resultados no puede deducirse que los métodos empleados previamente para medir las cumbres fueran inadecuados ni que las montañas estén "encogiendo". A partir de ahora, sin embargo, al disponer de tecnología y sistemas

que ofrecen una precisión de unos cuantos milímetros, será posible medir con exactitud las cumbres y registrar sus movimientos verticales y horizontales.

Los resultados de la medición del Aconcagua serán sumamente precisos. De modo similar a la campaña del Everest, el experimentado equipo de Poretti, formado por geólogos, glaciólogos, topógrafos y alpinistas, ha utilizado los instrumentos terrestres más precisos del momento (taquímetros **Leica T2002/T3000/DI3000S**) y los más avanzados sistemas GPS (**Leica GPS500**).

### El Aconcagua supera al Monte McKinley

El Aconcagua, que en los mapas figura actualmente con una altitud de 6.959 metros sobre el nivel del mar, se encuentra en la cordillera de los Andes, cerca de la frontera de Argentina y Chile. Con sus casi 7.000 metros, el Aconcagua es considerablemente más alto que el Monte McKinley (6.194 metros), que se encuentra en Alaska y es la montaña más alta de la parte septentrional del continente americano.

Los Andes son el resultado de movimientos de placas tectónicas, al presionar la placa del Pacífico sobre la orilla occidental de la placa Sudamericana. A lo largo de millones de años esta presión ha ido empujando hacia arriba la cadena de montañas. Los movimientos de placas son los causantes de la gran actividad sísmica en California y de muchas erupciones volcánicas y terremotos en América Latina.

### Las montañas más altas de los seis continentes

| Continente          |             | Montaña más alta | Altura sobre el nivel del mar |
|---------------------|-------------|------------------|-------------------------------|
| Asia                |             | Everest          | 8.846 metros*                 |
| América             | (Sur)       | Aconcagua        | 6.959 metros***               |
|                     | (Norte)     | McKinley         | 6.194 metros**                |
| África              |             | Kilimanjaro      | 5.892 metros*                 |
| Antártida           |             | Monte Vinson     | 5.140 metros**                |
| Europa              | (Caucaso)   | Elbrus           | 5.642 metros**                |
|                     | (Alpes)     | Mont Blanc       | 4.808 metros**                |
| Australasia/Oceanía |             | Carstenz Pyramid | 4.884 metros**                |
|                     | (Australia) | Monte Kosciusko  | 2.230 metros**                |

\* Medida con Leica GPS 300/500

\*\* Medida con teodolitos Leica durante el siglo XX

\*\*\* Resultado de medición clásica; los datos de la nueva medición con Leica GPS500 estarán disponibles en mayo de 2001

## NUEVO EQUIPO Trimble Toolbox

Trimble ha presentado su equipo Trimble Toolbox para estudios topográficos. El nuevo Trimble Toolbox es el equipo más avanzado e integrado de instrumentos topográficos que puede adquirirse de un solo fabricante. Este producto supone un avance revolucionario en los usos que de la tecnología de la información hacen los profesionales de la topografía, la ingeniería civil y la construcción para aumentar la productividad y seguir siendo competitivos. El equipo Trimble Toolbox unifica el tradicional mundo de los instrumentos topográficos convencionales con el nuevo de los sistemas GPS mediante una solución común de tratamiento de la información.

*“Nos estamos anticipando al mercado de instrumentos topográficos con la gama de productos más amplia del sector. Hemos integrado las innovaciones aportadas por dos líderes en sus respectivos campos, Trimble y Spectra Precision, para crear una marca y una línea de productos unificada. Estos nuevos productos evidencian de una manera convincente los beneficios que reportará a nuestros clientes y distribuidores la adquisición de Spectra Precision por parte de Trimble”,* señala Karl Ramstrom, vicepresidente y director general de la división de ingeniería y construcción de Trimble. *“Los topógrafos e ingenieros civiles contarán ahora con las mejores herramientas de ubicación y software, que funcionan juntas a la perfección, fabricadas por el proveedor líder mundial de soluciones relacionadas con ubicación y localización.”*

En el muy competitivo sector de la construcción, aumentar la productividad es la clave del éxito. El topógrafo puede mejorar su productividad empleando herramientas fáciles de utilizar que hagan innecesarias las tareas tradicionales y proporcionen altos niveles de integración con otras etapas del proceso de construcción.

La gama unificada de productos topográficos contenida en el equipo Trimble Toolbox es un juego de herramientas compatibles, creadas con la tecnología más avanzada y diseñadas para simplificar y automatizar el

flujo de trabajo de los topógrafos. El juego de instrumentos Toolbox proporciona al topógrafo una flexibilidad total para elegir sólo las herramientas más adecuadas para cada trabajo. Incluye todos los elementos de la solución total, entre los que se incluyen diversos sistemas de estudios topográficos sobre el terreno, controladores topográficos y software de oficina. Desde estaciones totales mecánicas y robotizadas hasta sistemas GPS cinemáticos en tiempo real para sistemas precisos de nivelación; todo lo que necesitan los topógrafos para cualquier proyecto, desde la definición del concepto hasta su finalización, está a su alcance en una sola fuente.

La marca Trimble unificada, ahora incluye las innovaciones realizadas por Geodimeter, Zeiss Geodetic Systems y Trimble. Los sistemas de estudios topográficos sobre el terreno contenidos en el producto Trimble Toolbox incluyen las series de estaciones totales 3300, 3600 y 5600 para realizar estudios topográficos mecánicos o robotizados y, para topografía GPS, el nuevo sistema GPS Total Station 5700 (Estación Total GPS 5700).

El nuevo equipo Trimble Toolbox hace que la topografía integrada sea más fácil y más productiva, al permitir a los topógrafos pasar directamente de instrumentos convencionales a otros con tecnología GPS, beneficiándose de la simplicidad de los sistemas dotados de capacidades del tipo “conectar y listo”, gracias a la utilización de un controlador topográfico universal. Los datos topográficos procedentes de sistemas GPS o terrestres pueden correlacionarse y combinarse en una sola base de datos. De vuelta a la oficina, el controlador topográfico puede establecer comunicación con el software de oficina para procesar los datos almacenados sobre el terreno y convertirlos a más de 50 formatos de diseño, CAD, GIS y topográficos.

Para obtener más información visitar la página web de Trimble: [www.trimble.com](http://www.trimble.com)

## GLOBAL SURVEY JET (GSJ)

Acaba de aparecer en el mercado el nuevo programa Global Survey Jet (GSJ), desarrollado por la empresa Estudios ITAC, S.L.

GSJ es un novedoso programa para adquisición de datos de GPS y Eco-sondas, con representación gráfica en tiempo real, sobre plataforma AutoCad. Integra los principales sensores de mercado Ashtech, Javad, Leica y Trimble, dispone de total control sobre éstos y el resto de sensores y ecosondas con el estándar NMEA 0183.

Este programa realiza levantamientos topográficos, replanteos puntuales y lineales, batimetrías, navegación y actualización cartográfica, sistemas de información geográfica, etc., y genera, en tiempo real, puntos, líneas, polilíneas o bloques, en la capa, color y tipo de línea, según la tabla de códigos que el usuario establece. Trabaja en coordenadas UTM o bien en locales, realizando transformaciones Helmert, manteniendo su propia base de datos de transformaciones por obra.

Es capaz de realizar todos las tareas de manera simultánea y sencilla, como realizar un levantamiento topográfico a la vez que replantea un punto y, al adquirir cualquier posición, generar un objeto de AutoCad y enlazarlo con bases de datos Microsoft ACCESS, etc.

GSJ simplifica la labor en campo y elimina el trabajo de gabinete, todo ello en la plataforma más habitual, de esta manera centraliza la oficina técnica bajo las herramientas que trabajan sobre AutoCad, reduciendo equipos, programas y costes.

Para mayor información consulte a su distribuidor habitual de equipos de topografía, visite la página web [www.estitac.com](http://www.estitac.com) o diríjase a: **Estudio ITAC S.L. Avda. Mesa y López, 45 – local d4, 35010 – Las Palmas de Gran Canaria. Tel. 928261451 Fax: 928227516 E-mail: [estitac@idecnet.com](mailto:estitac@idecnet.com)**

# Bibliografía

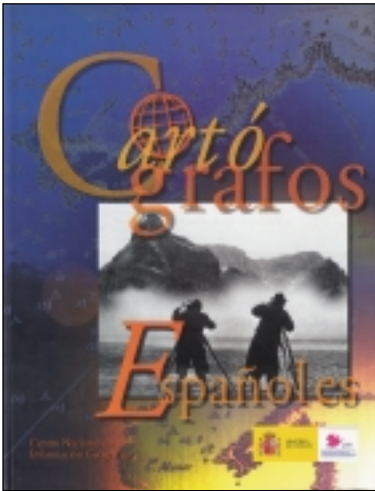
## **Cartógrafos Españoles**

**José Martín López**

**CNIG**

**Madrid, 2001.**

**320 págs. 4.500 Ptas. (IVA incluido)**



Son raros los libros de historia de la Cartografía editados fuera de España en los que se mencione, aunque sea de pasada, alguno de los nombres fundamentales en la historia de la Cartografía española, a pesar de haber sido nuestro país primera potencia cartográfica durante más de dos siglos. Muchas razones se han dado para explicar dicha situación, pero probablemente

la principal sea que tampoco ha habido, ni hay, muchos autores españoles dedicados a dar a conocer nuestro legado cartográfico. De hecho, hasta hace poco sólo había una historia de la Cartografía española, que no llevaba tal título, sino el de "España: La tierra, el hombre, el arte" ya que pretendía ser una Geografía de España en cuatro tomos, de los que sólo se editó el primero en 1937, siendo reeditado en 1939 pero esta vez sin que figurase, por motivos políticos, el autor de tan magnífico libro, D. Gonzalo de Reparaz, que acababa de morir en México.

Esta situación por fortuna ha cambiado de unos años a esta parte, gracias al esfuerzo de un puñado de personas con grandes conocimientos y mayor pasión por la Cartografía. Entre ellos destaca, sin duda, D. José Martín López, autor de "Cartógrafos Españoles", último, por ahora, de una serie de libros que sobre la historia de la Cartografía española ha venido publicando en los últimos años y de los cuales hemos ido informando a nuestros lectores según iban apareciendo en el mercado.

Es este libro una relación exhaustiva de todas aquellas personas que, por un motivo u otro, han tenido algo que ver con la Cartografía española: cartógrafos, editores, grabadores, ingenieros militares, geólogos, marinos y todos aquellos que a lo largo de la historia colaboraron en su creación y desarrollo. El término español es utilizado en esta obra en el sentido menos excluyente posible y siempre referido a la Cartografía, estando incluidos autores de nacionalidad no española pero que trabajaron en nuestro país, así como españoles que trabajaron en la cartografía de otros países.

De cada autor citado se indican los principales datos biográficos, las obras publicadas más notables y, en el caso de tratarse de documentos originales no impresos, el lugar donde se conservan, junto con la reproducción del retrato del biografiado si existe y, en algunos casos, la reproducción de alguna de sus obras.

La edición es muy cuidada, siendo la impresión en color y de muy alta calidad, tanto por los materiales empleados como por la maquetación del libro y por la selección y reproducción de las ilustraciones.

Creemos, sinceramente, que este es un libro que faltaba en la bibliografía española sobre Cartografía y realmente viene a llenar un hueco importante que existía, una vez cubierto cada vez más y mejor el relativo al patrimonio cartográfico español con la edición, cada vez más numerosa, de catálogos de cartografía.

De su autor, D. José Martín López, poco podemos decir que no sea ya conocido por la mayoría de nuestro lectores. Ingeniero Técnico en Topografía desde 1960, ingresó en el Cuerpo Nacional de I. T. en Topografía del IGN en 1961, empezando a dar clase en la E.U. de I.T. Topográfica de Madrid ese mismo año, donde continúa impartiendo las asignaturas de Cartografía, Fotointerpretación, Cartografía Temática e Historia de la Cartografía y de la Topografía como Profesor Titular.

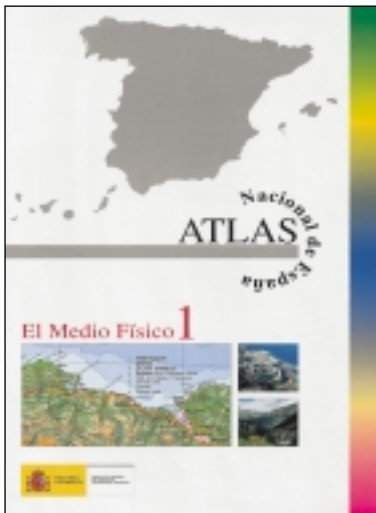
Profundo conocedor de la Cartografía tanto en su vertiente histórica como técnica es, además de asiduo colaborador de esta revista, autor de numerosos libros, entre los que podemos citar *Lectura de Mapas y Fotointerpretación* (ambos junto con D. Francisco Vázquez Maure), *Cartografía y Francisco Coello, su vida y su obra (1822-1898)*.

## **Atlas Nacional de España El Medio Físico I**

**IGN**

**Madrid, 2000.**

**248 págs. 6.000 Ptas. (IVA incluido)**



En 1986, por acuerdo del Consejo de Ministros se encomendó al Instituto Geográfico Nacional la realización del Atlas Nacional de España. Dicha obra, que fue culminada en 1993, se presentó en su momento en formato grande y compuesta por una serie de 47 cuadernillos independientes agrupados en temas y con un total de más de 2.200 páginas, siendo inminente la aparición de una nueva

edición actualizada de dicho Atlas en seis tomos a gran formato, de la que en su momento informaremos en estas páginas.

Con el fin de satisfacer todos los sectores posibles de demanda de este producto, el IGN acaba de publicar, en dos tomos y formato medio, el tema *El medio Físico* de dicho Atlas Nacional de España, estando ya a la venta el primero de ellos, dedicado a la cartografía del territorio nacional, realizada en XXV hojas a doble página y escala 1:500.000, tablas de datos geográficos y un índice toponímico.

La edición es de gran calidad, permitiendo la lectura cómoda de los mapas gracias al gran acierto en la elección de las fuentes y tipos de la rotulación y de la gama de tintas hipsométricas elegida que, en contra de lo que se estila actualmente, no empasta la información si no que, como debe ser, la realza y completa.

Las Tablas de Datos Geográficos abarcan temas tales como población, espacios naturales, hidrografía (ríos, humedales, embalses, etc.), orografía (principales cumbres y puertos por provincia), indicando en cada dato la hoja del MTN50 en la que se encuentra.

El índice toponímico es exhaustivo, conteniendo 27.640 registros ordenados alfabéticamente y con distinto color para elementos orográficos, hidrográficos y entidades de población. Va precedido por un pequeño glosario de términos geográficos utilizados.

En breve se publicará el segundo tomo, dedicado a la hidrología, geología, climatología, geofísica, etc., hasta completar todos los temas referentes a nuestro entorno físico.

## **Forma y dimensiones de la Tierra (síntesis y evolución histórica)**

**Mario Ruiz Morales y Mónica Ruiz Bustos**

**Ediciones del Serbal**

**Barcelona, 2000.**

**378 págs. 4.900 Ptas. (IVA incluido)**



La historia de la ciencia es probablemente una de las materias más interesantes de la historia de la Humanidad y también de las más amenas, estando en los últimos tiempos poniéndose de moda, lo que es de agradecer por parte de aquellos lectores aficionados a ella, que tradicionalmente debían recurrir a ediciones raras o, peor aún, a las realizadas en otros idiomas, y por los autores, que siempre fueron

más numerosos de lo que se cree pero que casi nunca encontraban editor dispuesto a publicar sus libros.

Si apasionante es la historia de la ciencia en general, igual lo es la de la Geodesia en particular; pues no es más que la del intento del hombre a lo largo de la historia por entender, conocer y medir el planeta que habita, lo cual no es poco, y esto es lo que es el libro *Forma y dimensiones de la Tierra*, una historia de la Geodesia desde la antigüedad hasta nuestro días.

A lo largo del libro no sólo se nos dan noticias históricas, si no que también se reproducen los fundamentos matemáticos y físicos de las diversas teorías que sobre la forma y dimensiones de la Tierra se han ido sucediendo, con lo que se aprecia de forma clara la evolución de esta ciencia, desde los antiguos egipcios hasta el GPS, de forma amena y rigurosa.

Los autores de este libro son ambas personas relacionadas profesionalmente con la Geodesia, la cual conocen y practican. D. Mario Ruiz Morales, I. T. en Topografía, Dr. en Matemáticas e Ingeniero Geógrafo, es director del IGN en Andalucía Oriental y profesor de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Granada, donde imparte las asignaturas de Geodesia, Topografía y Fotogrametría. Dña. Mónica Ruiz Bustos es Ingeniero en Electrónica e Ingeniero Geógrafo, estando especializada en el tratamiento de datos georreferenciables y en la actualización automatizada del Atlas Nacional de España.

# Vida Profesional

## FESTIVIDAD DE SAN ISIDORO DE SEVILLA

El Pasado 28 de abril tuvieron lugar en Madrid los tradicionales actos de celebración de la festividad de San Isidoro de Sevilla, patrón de los Ingenieros Técnicos en Topografía, organizados por la Junta de Gobierno del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía y la Delegación Territorial del COITT en Madrid-Castilla-La Mancha, con la colaboración de la Asociación del Cuerpo Nacional de Ingenieros Técnicos en Topografía.

Los actos comenzaron a las 10 horas con la celebración de una Santa Misa por el alma de nuestros compañeros fallecidos en el presente año, en la iglesia de San Bruno, próxima a la sede de la Junta de Gobierno del COITT.

A continuación, los asistentes se desplazaron a los salones del Hotel Mardroño, donde el Decano del COITT, D. Miguel Ángel Muñoz Gracia, dirigió unas palabras a los presentes e hizo entrega de una placa, como homenaje y reconocimiento a sus muchos años de dedicación profesional, a los siguientes Ingenieros Técnicos en Topografía colegiados que se han jubilado en este último año:

- D. José González Molés
- D. Eduardo Martín Díez de Oñate
- D. Luis Cuende Llanos
- D. Manuel Sánchez Venero
- D. Rogelio Latorre Silva



**D. Miguel Ángel Muñoz Gracia, decano del COITT, dirigiéndose a los asistentes**



**Entrega del diploma y la placa al Colegiado de Honor D. Ángel Rivero Martínez**

- D. Ildefonso Polo Cerezo
- D. Narciso García Linares
- D. José A. Dana Naranjo
- D. José Luis Suárez Rodríguez
- D. Ricardo Cid Blanco
- D. Gabriel Casado Jiménez
- D. Ceferino Prieto Diego
- D. Dionisio López Lucía

A continuación, se procedió a la entrega de un diploma y una placa, conmemorativos de su nombramiento como Colegiados de Honor, a D. Ángel Rivero Martínez y a D. Emilio Colombo Sánchez, quienes agradecieron a los presentes tal distinción.

Como conclusión, se sirvió un cóctel a los asistentes, que fue amenizado por nuestro compañero Julio Diéguez García que, con su voz de tenor, interpretó varias piezas del repertorio lírico español.



**Entrega del diploma y la placa al Colegiado de Honor D. Emilio Colombo Sánchez**

## CLAUSURA DEL CURSO DE FORMACIÓN Y EDICIÓN DEL MTN50

Los pasados días 2 y 9 de marzo fueron clausurados respectivamente el I y II Curso de Formación y Edición del MTN50, celebrados en Madrid y organizados por la Delegación Territorial de Madrid-Castilla-La Mancha del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía y el Instituto Geográfico Nacional, a iniciativa de este último.

Estos cursos, eminentemente prácticos, pretendían abrir nuevas expectativas de trabajo para los Ingenieros Técnicos en Topografía que desarrollan su profesión en las distintas administraciones públicas y en empresas dedicadas a la producción cartográfica.

La serie cartográfica del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (MTN50) y su correspondiente base de datos digital, es un producto

resultante de la generalización y selección de la información contenida en el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 (MTN25), partiendo de sus hojas actualizadas y mediante el uso de aplicaciones informáticas generadas y desarrolladas por el propio Instituto Geográfico Nacional.

Para la realización de estos cursos se ha contado con la inestimable presencia del personal del IGN que trabaja en esta área y que, una vez más, ha demostrado su alta cualificación técnica y docente, a tenor de lo expresado por los propios alumnos.

Todo ello ha conducido al buen fin de los cursos y por ello nos congratulamos con el IGN por el éxito de los mismos.



**Profesores, organizadores y alumnos del I Curso de Formación del MTN50**



**Asistentes al II Curso de Formación del MTN50 junto a profesores y organizadores**

## OFRENDA A SAN ISIDORO EN EL INICIO DEL NUEVO MILENIO

La Delegación Territorial en Castilla y León del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía ha organizado una visita a la Real Basílica de San Isidoro en León para el día 26 de mayo, fecha marcada por los monjes responsables de dicho templo, con el fin de celebrar la festividad de San Isidoro de Sevilla, patrono de los I. T. en Topografía, este primer año del tercer milenio.

A continuación reproducimos el programa de dichos actos, así como la forma de poder participar en los mismos.



**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS  
TÉCNICOS EN TOPOGRAFÍA.  
DEMARCACIÓN DE CASTILLA Y LEÓN**

### **"OFRENDA A SAN ISIDORO DE SEVILLA EN EL INICIO DE UN NUEVO MILENIO"**

26 de mayo de 2001

**REAL COLEGIATA DE SAN ISIDORO DE LEÓN**

*"La ciencia geométrica, según se dice, la inventaron los egipcios. Al inundar el Nilo todas las tierras y cubrirlas de limo se veían precisados a repartir de nuevo las parcelas, dividiéndolas por líneas y medidas, lo que dió nombre a tal arte. Arte que, con el tiempo, llegó a tal perfección que los sabios nos miden los espacios del mar, del cielo y del aire."*

(Etimologías, III, 10, 1)

Isidorus, Hispaniae Primas.



### **OFRENDA A SAN ISIDORO EN EL INICIO DEL NUEVO MILENIO**

26 DE MAYO DE 2001

#### **PROGRAMA DE ACTOS**

**10,30 horas.** Recepción a los colegiados y acompañantes en la plaza de San Isidoro.

**11,00 horas.** Santa Misa en la Real Colegiata de San Isidoro en la que se llevará a cabo solemnemente la Ofrenda de los Ingenieros Técnicos en Topografía a su patrono San Isidoro de Sevilla, Doctor de las Españas.

**12,00 horas.** Visita a la Real Colegiata, Museo y Panteón de los Reyes de León, acompañados por el Abad-Prior de la Colegiata, DOM Antonio Viñayo González.

**14,30 horas.** Comida de Hermandad en un céntrico restaurante de la ciudad de León.

*El precio del cubierto para la Comida de Hermandad es de 5.000 pesetas, tanto para colegiados como acompañantes.*

*Ingreso de su importe en la cuenta de CAJA DUERO, nº 2104-0232-89-9107170458, a nombre del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Demarcación de Castilla y León.*

## COOPERACIÓN DE LA DELEGACIÓN TERRITORIAL DE MADRID-CASTILLA-LA MANCHA DEL COITT CON LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ARQUEOLÓGICA DEL EMIRATO DE SHARJAH (E.A.U.)

En la Delegación Territorial de Madrid-Castilla-La Mancha del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía se ha recibido la carta, aquí reproducida, del Ministerio de Cultura e Información del Gobierno de Sharjah (Emiratos Árabes Unidos) dirigida a la Junta de Gobierno de dicha Delegación Territorial, en reconocimiento a la cooperación llevada a cabo por ésta con la Universidad Politécnica de Madrid, Vicerrectorado de Investigación y Relaciones Internacionales, a través del Departamento de Ingeniería Cartográfica y Topográfica en la E.U.I.T. Topográfica de Madrid, en relación con el Proyecto de Investigación Arqueológica PB 98-0737, "Nuevas Tecnologías de la Ingeniería Aplicadas a la Arqueología", que dirige su Catedrático, Dña. Mercedes Farjas Abadía.

La colaboración prestada por la Delegación Territorial de Madrid-Castilla-La Mancha ha servido para costear los gastos de viaje del equipo desplazado hasta aquellas tierras de Oriente, para reanudar la toma de datos de campo. En esos yacimientos arqueológicos, desde hace varios años, se están desarrollando proyectos de nuestra especialidad dentro de un marco internacional de cooperación.

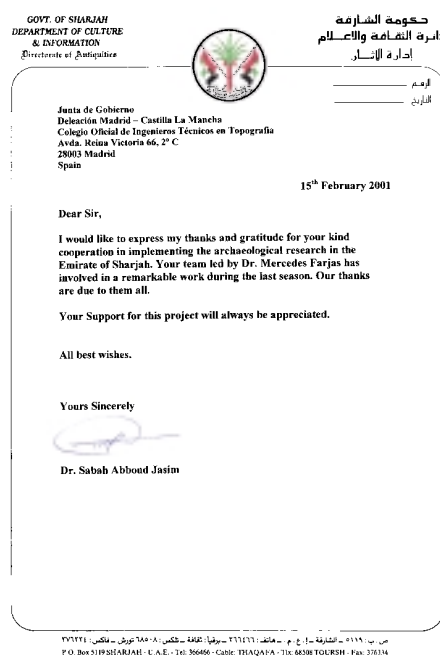
El primer objetivo del proyecto consiste en proporcionar a los arqueólogos cartografía básica, a diferentes escalas, que pueda ser utilizada por los equipos multidisciplinares que participan en la excavación como soporte de información específica.

En una segunda línea de estudio, se pretende crear modelos de documentación arqueológica que contribuyan a la divulgación museológica del fenómeno. Estos modelos, en formato papel servirán de guía en visitas a los emplazamientos y en soporte digital se convertirán en plataforma de productos multimedia que podrán ser expuestos en los mu-

seos arqueológicos.

Esta investigación se está desarrollando en el marco del convenio firmado entre la Universidad Politécnica de Madrid y el Ministerio de Cultura e Información del Emirato de Sharjah, con la colaboración de la Universidad Politécnica de Valencia desde 1999, contando, además, con el apoyo de la Delegación Territorial de Madrid-Castilla-La Mancha de nuestro Colegio, así como la participación de diferentes empresas del entorno de la Topografía.

Desde estas páginas animamos a todos los organizadores y colaboradores que han participado en este proyecto a que sigan aportando su buen hacer; su esfuerzo y el mejor de sus ánimos, congratulándonos con ellos por el éxito que están consiguiendo.



**Carta del Ministerio de Cultura de Sharjah**



**Tumba circular localizada en los yacimientos arqueológicos del Emirato de Sharjah**

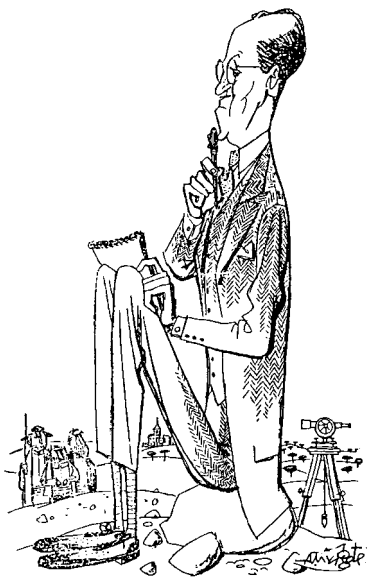


**Equipo de alumnos del EUIT Topográfica de Madrid durante el desarrollo de sus actividades**

## NECROLÓGICA

El pasado 13 de marzo falleció en su domicilio madrileño el Ingeniero Técnico en Topografía D. Rafael Castellano Gallego. Habiendo ingresado en el Cuerpo de Ayudantes de Geografía y Catastro (posteriormente llamado de Peritos Topógrafos y actualmente de Ingenieros Técnicos en Topografía) por oposición el año 1927, prestó sus servicios como tal en el Instituto Geográfico Nacional, donde se jubiló en 1977.

A su faceta como profesional de la Topografía unió la de humorista de gran talla y representante de la literatura cómica de vanguardia, formando junto a Álvaro de Laiglesia, Fernando Perdiguero "Cero" y Evaristo Acevedo los llamados "cuatro mosqueteros" del humor nuevo que se iniciaba en los años 50 del pasado siglo.



Fue colaborador juvenil de Buen Humor, el caldo de cultivo revolucionario de los 20 y 30, que luego pasaría a Gutiérrez y después a La Codorniz. Compartió amistad y tareas con nombres hoy míticos: Ramón Gómez de la Serna, López Rubio, Edgar Neville, Jardiel, Tono, Mihura. Pero fue sin duda en La Codorniz donde su ingenio deslumbró en innumerables secciones que el olvido no ha podido enterrar: el Conde Basilio, el Baronet y la Huérfana, Doña Eduvigis, Diálogos para Gentes Bien Nacidas, el Chiste Explicado, los Militares, Lord Pepewood, la Técnica del Hogar, los poemas castúos del Gelpi y el tío Gediondo, el Areopagita y tantas otras, que firmaba como Rafael, Castellano, Errecás, R.C., Xantipas, Ralph du Chatelier, etc. Fue el creador de las fotonovelas con el diálogo cambiado, el de la Entreviú Impertinente (después tan imitada), y sus fotos antiguas con pie disparatado e ilógico no han sido superadas todavía.

En el campo de la novela, ganó el Premio Internacional Legión de Humor en su primera edición de 1955 con "Pepe" (nombre que después sería el germen de otro genial semanario: Don José), y repitió el mismo premio, en su segunda época, en 1955, con "Pan, amor y ecología (Vivencias castúas)". Otros libros suyos fueron "El conde Basilio y los fantasmas" y "La tasca de Topsy".



Perteneció al primer intento de Academia de Humor española, la Legión de Humor (1953-1963), y a su continuación, la fundada como tal en 1989, de la que era Superpresidente.

Como gran grafómano que era y amante de su profesión de Topógrafo, también colaboró en publicaciones como la desaparecida revista Mappa de la E.U. de I.T. Topográfica de Madrid y, por supuesto, en esta revista. A continuación reproducimos su colaboración en el número I de Técnica Topográfica (nombre anterior de Topografía y Cartografía), correspondiente al período septiembre-octubre de 1973.

### Ambiciosa

*Madri, quidría casalmi  
con un señorino d'esos  
qu'andan mediendo los campos  
y les icin ingenieros,  
u, cuantimás, los potógrafos,  
que too es uno y lo mesmo.  
Son mu majos y mu jueltis,  
que da mucho gusto velos  
trajinando en las senaras  
subiendo y bajando cerros.*

*¡Juy, madri, si me vagara  
el ligal con uno d'ellos!*

*Como jiciera casorio  
no me vías más el pelo,  
qu'a la mesma capital  
mus ibamo inderechus.*

*Iba a estal como una reina,  
en un piso d'esos nuevos,  
los que icin pol la arradio  
que gastan confol modelno;*

*con su mijaja e lavaora,  
teleinvision, calol negro,  
too llenino e muebilis  
que lo jicieran parejo.*

*Me iba a jeteal e limpio,  
a merchal nuevos arreos,  
pa, endimpués, espelotami  
y tomar el sol a reo  
en una d'esas piscinas,  
pus icin qu'es mu hengiénico.*

*¡Juy, qué vía iba a chupalmí  
sin dil a sachal al güelto,  
ni andal trillando en la era,  
ni a gobernal los ovejos  
ni denguna e las faenas  
que mi train jibao el cuelpo!*

*¡Juy, madri, si me vagara  
ligal con un ingeniero!*

RAFAEL CASTELLANO

## Relación de Altas y Bajas habidas en el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía en el año 2000

En el número anterior de TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA, en la relación de **Bajas de Colegiados por Jubilación y Voluntarios** correspondiente al año 2000 se produjo un error, figurando los mismos nombres en ambos epígrafes, siendo la correcta la que figura a continuación.

| BAJAS DE COLEGIADOS                             |                 |               |
|---|-----------------|---------------|
| <b>JUBILADOS</b>                                |                 |               |
| González Moles, José                            | Andalucía       | C. Valenciana |
| Polo Cerezo, Ildelfonso                         | Andalucía       | Extremadura   |
| Rodríguez Prieto, Leoncio                       | Andalucía       | Extremadura   |
| Casado Jiménez, Gabriel                         | Castilla y Leon | Extremadura   |
| Dana Naranjo, José A.                           | C. Valenciana   | Extremadura   |
| Mezquita Calvo, Luis                            | Extremadura     | Extremadura   |
| Bachiller Ríos, Juan                            | Extremadura     | Galicia       |
| Delgado Delgado, Gregorio                       | Galicia         | M-C-M         |
| Cid Blanco, Ricardo                             | Galicia         | M-C-M         |
| Martínez Núñez, Emilio                          | M-C-M           | M-C-M         |
| Fernández Freire, Ulpiano                       | M-C-M           | M-C-M         |
| De Lucas Benedicto, José M <sup>a</sup>         | M-C-M           | M-C-M         |
| Lacue Barcos, Juan                              | M-C-M           | M-C-M         |
| González Gutiérrez, Tirso                       | M-C-M           | M-C-M         |
| Martín Díez de Oñate, Eduardo                   | Navarra         | M-C-M         |
| <b>VOLUNTARIOS</b>                              |                 |               |
| Ramos Galán, M <sup>a</sup> Isabel              | Andalucía       | M-C-M         |
| Ruiz Jiménez, Fco. José                         | Andalucía       | M-C-M         |
| Mazuecos Moraga, Alfonso                        | Andalucía       | M-C-M         |
| Sánchez Pérez, Diego                            | Andalucía       | M-C-M         |
| Ruiz Capiscol, Juan                             | Andalucía       | M-C-M         |
| Vera Reyes, Ana Rosa                            | Canarias        | M-C-M         |
| Collado de Pablos, M <sup>a</sup> Cruz          | Castilla y León | M-C-M         |
| Naranjo Martín, Pedro                           | Castilla y León | M-C-M         |
| Godall Roig, David                              | Cataluña        | M-C-M         |
| Carreras Guevara, Rosa                          | Cataluña        | M-C-M         |
| Felipe Castillo, David                          | Cataluña        | M-C-M         |
| García Pellicer, M <sup>a</sup> Luisa           |                 | M-C-M         |
| Montero Sáez, Antonio                           |                 | M-C-M         |
| Santos Donoso, M. Angel                         |                 | M-C-M         |
| Berrocal Nieto, Rosa                            |                 | M-C-M         |
| Ricardo Méndez Iglesias, Fco.                   |                 | M-C-M         |
| Del Sol García, Anselmo                         |                 | M-C-M         |
| García Fernández, Efrén                         |                 | M-C-M         |
| González Chasco, Joaquín                        |                 | M-C-M         |
| López Alvarez, Guillermo                        |                 | M-C-M         |
| Baranda Gómez, Miguel A.                        |                 | M-C-M         |
| Paredes Ortega, José Luis                       |                 | M-C-M         |
| Pozo Cerezo, Marina                             |                 | M-C-M         |
| Hernández Barrachina, Montserrat                |                 | M-C-M         |
| Morales Pando, M <sup>a</sup> Antonia           |                 | M-C-M         |
| Pérez Muñoz, Pedro A.                           |                 | M-C-M         |
| Arauzo García, M <sup>a</sup> Belén             |                 | M-C-M         |
| Pizarro Valdés, José                            |                 | M-C-M         |
| Cano Blázquez, Alberto                          |                 | M-C-M         |
| Monjo Calderón, Isabel M <sup>a</sup>           |                 | M-C-M         |
| González del Castillo Dacal, Víctor J.          |                 | M-C-M         |
| Monco Torrubias, Angel                          |                 | M-C-M         |
| Bello Marcos, Víctor                            |                 | M-C-M         |
| Riesco Martín, Carmen                           |                 | M-C-M         |
| Ortiz Niño, Lara                                |                 | M-C-M         |
| Gismera Casas, Esther                           |                 | M-C-M         |
| Carrete Bravo, Ana                              |                 | M-C-M         |
| Cabañas Palomar, Eva                            |                 | M-C-M         |
| Camacho Serrano, Juan                           |                 | M-C-M         |
| Rodríguez Sánchez Montañez, Rosa M <sup>a</sup> |                 | M-C-M         |
| Martínez Blanco, M <sup>a</sup> . Pilar         |                 | País Vasco    |
| Puente Asso, M <sup>a</sup> Isabel              |                 | País Vasco    |
| Exposito Murua, Raúl                            |                 | País Vasco    |
| Calvo Melero, Miguel                            |                 | País Vasco    |
| Rodríguez Ramos, Julio J.                       |                 | País Vasco    |
| López de Lapuente Santoyo, Aitor                |                 | País Vasco    |
| Romero León, Cristina                           |                 | País Vasco    |
| Aguado Garrido, Desiderio                       |                 | País Vasco    |
| Martín Ruiz de Angulo, Virginia                 |                 | País Vasco    |