

Nuestra portada:

“Carlos Barruero junto a la estatua del Caballero de la Barre, Mártir de la Libertad de Pensamiento”

Vol. XXIV - N.º 138-139
Enero-Feb.-Mazo-Abril
2007

DIRECTOR
Carlos Barruero 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

topografiaycartografia@top-cart.com

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

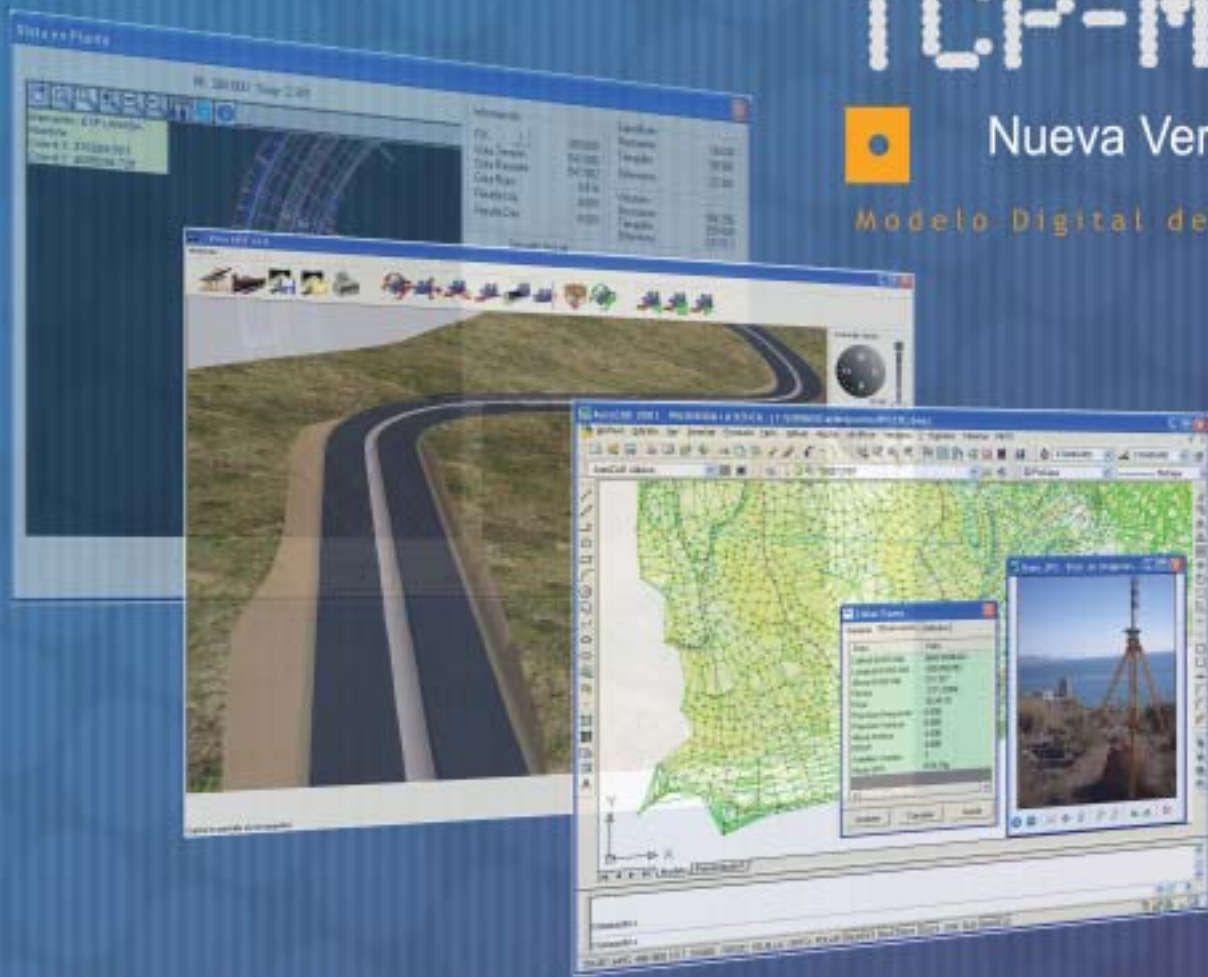
Sumario

Editorial	3
Entrevista a D. Jesús S. Miranda Hita Director General del Catastro	4
Topografía Romana (y III) Isaac Moreno Gallo	8
¿Por qué copiar un Sistema de Información Territorial de un país desarrollado no funciona en un país en vías de desarrollo? Nhu Trung Tran y Don Grant	22
Alternativas del GPS aerotransportado para un posicionamiento de precisión en cartografía aérea Mohamed M. R. Mostafa	32
La estación de referencia permanente GPS de la Escuela Politécnica Superior de Ávila: EPSA Manuel Pérez Gutiérrez, Alfonso Núñez García del Pozo	38
Los discursos de recepción del General Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero en representación de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Mario Ruiz Morales	48
El papel de la Cartografía en el mundo de las Infraestructuras de Datos Geoespaciales Milan Konencny, García, José Vega Pérez, Antonio Godoy Guerrero, Marcos A. Pérez Delgado y Fernando Toscano Benítez	78
Datos facilitados por el Observatorio Astronómico Nacional	88
Novedades Técnicas	94
Vida Profesional	98
Índice Comercial	109

TCP-MDT

Nueva Versión 5.1

Modelo Digital del Terreno



levantamientos proyectos replanteos carreteras urbanizaciones
canteras topografía construcción urbanismo ingeniería



INTELLI-MDT

Modelo digital del terreno
con CAD incluido

ORTO-3D

Visualización 3D a
partir de ortofotos
y MDT's

TCP-GPS

Replanteo y toma
de datos con GPS

TCP-ET

Replanteo y toma
de datos con
estación total

TCP-TUNEL

Replanteo y toma
de datos de túnel



Una solución
para cada necesidad
www.aplitop.com

Editorial



Se nos ha muerto, "como del rayo", nuestro amigo Carlos Barrueso, compañero, colega y gran amigo "a quien tanto queríamos...".

Se nos ha ido fiel a su manera de hacer: con resolución, de una vez y sin titubeos, con la cabeza alta, la mirada fija y con la determinación impresa en su rostro.

Se nos ha ido sin hacer ruido, sin producir molestias, sin exigir de los demás atención, cuidados, tiempo, dolor...

Se nos ha ido como un hombre, en el más amplio y profundo significado de la palabra hombre; como un hombre bueno, en el buen sentido de la palabra "bueno", como decía su admirado y querido D. Antonio Machado.

Se nos ha ido y nos ha dejado un vacío infinito, un dolor amargo, intenso y profundo; un dolor que sólo produce la ausencia de las personas a quienes de verdad apreciamos, a quienes queremos, a quienes han formado, de una u otra forma, parte importante de nuestra vida, quienes han compartido con nosotros trabajos, preocupaciones, penas y alegrías; de quienes han participado con nosotros en proyectos que han supuesto ilusión, trabajo, generosidad y entrega de todos.

Se nos ha ido y uno cree que nunca nadie llenará el vacío que nos ha producido; otras personas vendrán que desarrollen las labores que él desempeñaba, pero nadie, nunca, podrá ocupar su puesto, ni en el Colegio, ni en nuestras vidas, ni en nuestros corazones.

Tu memoria, querido Carlos, tu recuerdo, la convivencia desde hace tantos años (¿te acuerdas cuando nos presentó Luis Martínez, allá por los 70, cuando querías ingresar en la Escuela ?...) han dejado tan profunda huella en todos nosotros...; es tanto el cariño que has sabido despertar en cuantos tuvimos la suerte de conocerte y trabajar contigo, que nos va a resultar infinitamente difícil olvidarte y ser conscientes de que ya no estás ahí, a la vuelta del teléfono, para consultar, departir, discutir y decidir sobre temas que a todos nos afectan; te nos has ido, querido "rojo", sin consultarnos, como siempre solías hacer, sólo que esta vez, nos dejas sin aliento, sin sangre en las venas y con el corazón roto de dolor, de pena y angustia; que allí donde estés, si es que hay algún sitio donde estar, te llegue nuestra dolida queja por haberlo hecho así, junto con el más intenso, fuerte y profundo abrazo que nunca nadie te haya dado y que surge de la inmensa, fuerte y profunda amistad que, sin aspavientos ni notoriedad, siempre nos unió.

Adiós, querido e inolvidable amigo, adiós...

En nombre de TODA la Junta de Gobierno

Pedro J. Cavero Abad
Decano

Entrevista a D. Jesús S. Miranda Hita, Director General del Catastro

1. Tras los importantes avances experimentados en estos últimos años por la Dirección General del Catastro ¿Cuáles son los retos que afronta para el futuro?

La colaboración interadministrativa y la permanente aplicación de las tecnologías más avanzadas han sido los pilares sobre los que se ha venido edificando el actual modelo de Catastro, crecientemente orientado hacia la prestación de servicios al ciudadano y a las más diversas Instituciones y Administraciones Públicas.

Avanzar en el desarrollo de estos principios generales, consolidados en el Real Decreto Legislativo 1/2004, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario, es sin duda el reto fundamental al que hoy se enfrenta la Dirección General del Catastro. Y digo avanzar, porque ya hace tiempo que iniciamos el camino de la cooperación, del uso intensivo de las nuevas tecnologías y de la satisfacción generalizada de las necesidades de información territorial.

2. ¿En qué medida se han desarrollado esos tres elementos que cita?

Actualmente existen suscritos más de 700 convenios de colaboración con otras tantas Administraciones Públicas para la tramitación de altas o modificaciones de bienes urbanos, que comprenden cerca del 75 por 100 de los inmuebles de esta clase existentes en el país, y en los que se emplean los más avanzados procedimientos informáticos al servicio de su más segura e inmediata incorporación en la base de datos del Catastro y, consecuentemente, de su mejor aprovechamiento entre los ciudadanos y Organismos Públicos demandantes de información catastral.

Por otro lado, hace apenas cuatro años comenzó su andadura la Oficina Virtual del Catastro, plataforma actualizada diariamente y destinada a la consulta, certificación e intercambio de información catastral, en la que se puede acceder gratuita y libremente a toda la información cartográfica y literal de los 74 millones de inmuebles que tenemos registrados. Durante el año 2006 la Oficina Virtual del Catastro, a la que se puede acceder desde nuestra página Web (www.catastro.meh.es) recibió más de 11, 5 millones de visitas, y a través de ella se realizaron más de 143

millones de consultas y se obtuvieron cerca de 2,4 millones de certificados.

Como le decía, desplegar plenamente el conjunto de instrumentos de cooperación que recoge nuestra más reciente normativa mediante nuevos y más ambiciosos convenios de colaboración, desarrollar nuevos canales de servicio como los recientemente implantados a través de la Televisión Digital Terrestre y asumir más exigentes compromisos con los ciudadanos, como los que recoge nuestra renovada Carta de Servicios, son hoy nuestras apuestas fundamentales para el futuro.

3. ¿Se pretende ir hacia la creación de un Catastro que sea un auténtico Censo de Bienes Inmuebles de España, en el que tengan tanta importancia los datos geométricos y de aseguramiento de la propiedad como los datos fiscales, en lugar del hasta hace poco existente, que era un Catastro con fines puramente fiscales?

Ciertamente, el Catastro español es heredero de una tradición tributaria que hunde sus raíces en los albores del Siglo XVIII, cuando se desarrolló una vasta operación catastral destinada a censar el conjunto de bienes inmuebles de nuestro país para sobre ellos establecer un único tributo, más justo y de más sencilla gestión.

No obstante, la salvaguarda de principios fundamentales como el de seguridad jurídica, las necesidades de planificación de las más variadas políticas públicas o la gestión justa y eficiente de subvenciones han venido demandando la existencia de un registro público universal de bienes inmuebles de carácter multifuncional, sostenido sobre las posibilidades de los nuevos sistemas de información geográfica y disponible en todo momento para el ejercicio de numerosas competencias administrativas o judiciales, así como para la mejora de la eficiencia de algunos mercados mediante, por ejemplo, la minoración de los costes de transacción que supone la inmediatez y gratuidad de nuestra información.

En la actualidad, la precisa definición geométrica de los inmuebles y su vinculación con la protección del derecho de propiedad y, por ende, con el Registro de la Propiedad, es materia de la máxima importancia para

el Catastro, en el que la identificación inequívoca de un inmueble que ofrece la cartografía catastral mediante la asignación a cada uno de ellos de una referencia catastral única, es hoy probablemente una tarea de tanta relevancia como la que pueda significar la vertiente tributaria de nuestra actividad.

4. ¿Cuál es la situación en este momento de los Puntos de Información Catastral?

Los Puntos de Información Catastral son buen ejemplo de la convergencia entre los principios de cooperación, apuesta por las últimas tecnologías y desarrollo de nuevas plataformas de servicio público. Hace poco más de dos años que se ofreció a las Administraciones Públicas y a los diferentes agentes intermedios en operaciones inmobiliarias la posibilidad de su implantación y hoy son ya cerca de 2.500 los que están en funcionamiento, fundamentalmente en Ayuntamientos y sedes colegiales de diferentes colectivos profesionales, como son los Ingenieros Técnicos en Topografía o los Gestores Administrativos.

Como sabe, a través de los Puntos de Información Catastral, conocidos como PIC, un titular catastral, simplemente identificado con su DNI, o su representante debidamente autorizado, pueden obtener información a través de la Oficina Virtual del Catastro de todos los bienes que figuren inscritos a su nombre en todo el territorio de competencia de esta Dirección General, lo que evita a muchos miles de ciudadanos el desplazamiento a nuestras oficinas territoriales y universaliza el acceso telemático a la información catastral.

5. ¿Qué novedades podremos ver en el futuro?

A medio plazo, los PIC ofrecerán nuevos servicios vinculados a la presentación de declaraciones catastrales así como todos aquellos que se vayan incorporando en régimen de consulta ordinaria a través de la Oficina Virtual del Catastro, siendo materia de reflexión en este momento la posibilidad de que puedan convertirse en una herramienta para la consulta general de información territorial más allá de la estrictamente catastral. Además, el proyecto de Ley regulador del derecho de acceso a la Administración Electrónica nos lleva a que para 2010 todos nuestros servicios se han de prestar a través de la Oficina Virtual del Catastro.

6. ¿Cómo valora el regreso de los Ingenieros Técnicos en Topografía, técnicos pioneros en la realización del Catastro de rústica en España, a las labores catastrales mediante este Acuerdo firmado por la Dirección General del Catastro y el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía? ¿Qué espera la Dirección General del Catastro de dichos técnicos?

Los Ingenieros Técnicos en Topografía nunca han estado alejados de la actividad catastral, y desde que aquellos primeros geómetras formaran el primer Catastro nacional, en el alumbramiento de nuestro Siglo de las

Luces, la relación ha sido muy estrecha, con las oscilaciones propias del diferente protagonismo que el Catastro ha tenido en la vida de nuestro país.

La actividad descriptiva del territorio que han venido desarrollando los topógrafos ha sido, sin duda, instrumento acreditativo y probatorio de no pocas incorporaciones y alteraciones al Catastro, por lo que la suscripción de un convenio de colaboración como el ahora firmado no viene sino a consolidar una relación largamente mantenida que ahora se reviste de formalidad jurídica en el marco de nuestra apuesta por el rigor cartográfico.

En este sentido, profundizar en esa relación permitirá garantizar la suficiencia e idoneidad de la documentación que debe acompañar a las operaciones de transformación de la estructura de la propiedad que han de ser declaradas ante el Catastro, mediante la intervención de un cualificado profesional en la materia y la supervisión que ofrece su organización colegial, en la que, desde luego, confiamos mucho.

7. ¿Cómo valora dicho Acuerdo, así como los firmados con otros colegios profesionales?

La valoración sólo puede ser positiva, ya que, como le decía, una de las estrategias fundamentales que viene siguiendo la Dirección General del Catastro para mantener una base de datos inmobiliaria plenamente actualizada y crecientemente disponible, es la intensificación de las alianzas con Administraciones Públicas, Instituciones y Colectivos intervinientes en la actividad inmobiliaria, por lo que, muy recientemente, hemos ampliado nuestro abanico de colaboradores.

Particular trascendencia ha tenido en este sentido la suscripción de convenios de colaboración con diferentes Colegios Profesionales, como los de Abogados, Arquitectos, Gestores Administrativos o el firmado con el de Ingenieros Técnicos en Topografía, dado que agrupan a reconocidos colectivos cuya intervención en los procedimientos declarativos de alteraciones inmobiliarias permite profesionalizar las relaciones entre el obligado tributario la Administración, con las evidentes ventajas que aporta para la fiabilidad de las operaciones de incorporación de datos al Catastro y para la protección de los derechos de los ciudadanos.

8. ¿Cree que el interés de los ciudadanos porque sus bienes inmuebles figuren exactamente descritos en el Catastro irá en aumento independientemente de las consecuencias tributarias que se pueden desprender de ello?

La ocultación intencionada de nuevos bienes inmuebles o de sus alteraciones no es un fenómeno ni mucho menos generalizado, por lo que puede decirse que su incidencia es escasa, en la perspectiva del medio plazo, para la disponibilidad de un Catastro completo y actualizado.

Al margen de algunos comportamientos individuales, la falta de información precisa sobre que hay que declarar, cuando y como ha venido

siendo causa de buena parte de las infracciones catastrales detectadas, por lo que ha sido voluntad de esta Dirección General profundizar en la supresión de obligaciones así como en la búsqueda de nuevas colaboraciones con aquellas Administraciones Públicas o colectivos profesionales que pueden ofrecer a los ciudadanos información suficiente sobre sus responsabilidades en materia catastral.

Además, las indudables ventajas que ofrece la correcta identificación de los inmuebles en el Catastro, tanto desde la perspectiva de la protección del derecho de propiedad como de ocasionales beneficios para la percepción de ayudas públicas, como las vinculadas a las subvenciones a la agricultura procedentes de la Unión Europea, son ya argumentos suficientes para superar, en mi opinión, posibles comportamientos elusivos en el cumplimiento de este tipo de obligaciones tributarias.

9. ¿En que medida se han suprimido esas obligaciones?

Por ejemplo, se han establecido diferentes regímenes de comunicaciones de alteraciones ante el Catastro, que exoneran de la obligación de declarar al ciudadano, entre los que probablemente el más conocido sea el de Notarios y Registradores de la Propiedad respecto a transmisiones de dominio, en los que sólo se excepcionan algunos supuestos concretos, facilitándose así el mantenimiento permanente de la información catastral, al tiempo que se reducen eventuales incumplimientos de los obligados tributarios.

Más novedosa es la fórmula de comunicaciones recogida en nuestra última regulación normativa, mediante la cual un Ayuntamiento puede eximir a sus ciudadanos de la obligación de declarar ante el Catastro por aquellas alteraciones realizadas sobre bienes urbanos para las que medie licencia o autorización administrativa.

10. ¿El disponer de unos datos exactos de las propiedades tendría como consecuencia un más justo reparto de las cargas fiscales y, por tanto, una menor tasa impositiva?

La gran virtud que caracteriza al Catastro español, en tanto que registro universal y exhaustivo de bienes inmuebles, es la de permitir el desarrollo de políticas tributarias, sociales o económicas orientadas a la equidad, al ser un instrumento que permite un conocimiento completo de la riqueza inmobiliaria, que obviamente es manifestación inequívoca de la capacidad económica de los ciudadanos.

Mantener permanentemente actualizado el Catastro es, en consecuencia, fuente de equidad y objetivo prioritario de esta Dirección General, al que sirven las numerosas fórmulas de colaboración que ya le he comentado así como nuevos instrumentos como el régimen de comunicaciones al que acabo de referirme.

Si desde la óptica de la descripción física de los inmuebles su incorporación sistemática es fuente de equidad, no lo es menos su valoración

en términos económicos, para lo que la implantación de mecanismos de valoración regular al servicio de la determinación de valores de referencia puede ser una buena ayuda además de un elemento muy potente para favorecer la transparencia del mercado inmobiliario.

11. ¿Considera que la colaboración con los Notarios y Registradores, además de la legalmente establecida, se incrementará en el futuro? ¿Qué influencia cree que tendrán los nuevos artículos 170 y 171 del Reglamento del Notariado en el desarrollo de esta colaboración?

La colaboración con Notarios y Registradores de la Propiedad ha venido siendo francamente positiva y sólo cabe pensar en avanzar hacia un futuro de relaciones más estrechas. Hasta el momento, la información suministrada por los distintos fedatarios públicos al Catastro se ha consolidado como la fuente más importante de incorporación de alteraciones jurídicas por cambio de titularidad, siendo utilizada también para el desarrollo de actuaciones inspectoras o como soporte de la valoración catastral a partir del análisis de los valores de transacción que recogen las escrituras públicas.

Los artículos 170 y 171 del nuevo Reglamento del Notariado apuntan precisamente hacia un horizonte de mayor entendimiento, por cuanto confirman la posibilidad de incorporar una certificación catastral descriptiva y gráfica al título público y añaden la posibilidad de que los otorgantes insten la modificación de la descripción física de los predios cuando esta no coincida con la que existe en el Catastro, para lo cual, muy probablemente, se establecerán nuevos cauces de colaboración que permitan atender de manera más ágil la subsanación de las discrepancias advertidas. En este aspecto, desde luego, la colaboración de los Ingenieros Técnicos en Topografía puede resultar de mucha ayuda.

12. En este sentido, ¿Cree posible a corto plazo que se instaure la obligación legal de incluir los datos geométricos de los bienes inmuebles, es decir, un plano con coordenadas realizado por un técnico competente, en las escrituras de los mismos y en las inscripciones en el Registro de la Propiedad, desapareciendo de esta forma las descripciones literales que tantos problemas han dado y dan para la correcta identificación y delimitación de dichos bienes?

La tradicional identificación de los predios mediante su descripción literal, completada en términos similares, por la de sus colindantes, ha venido siendo fuente tradicional de inconcreciones, hoy resueltas en el Catastro mediante la precisa identificación de los inmuebles en la cartografía catastral y su correspondencia con un identificador único y universal como es la referencia catastral.

Por lo tanto, la adición de una certificación catastral descriptiva y gráfica en cualquier título público entiendo que ya garantiza suficientemente su correcta identificación, sin olvidar que la simple consignación de la refe-

rencia catastral en la escritura permite efectuar cualquier comprobación ulterior sobre la identidad del inmueble a través de la Oficina Virtual del Catastro.

En consecuencia, no es en la fase de acreditación de la propiedad ante terceros donde los profesionales en el ejercicio de su actividad pueden aportar mayor valor; sino que lo es, como ya comentaba anteriormente, en la de documentación de los procedimientos de incorporación de alteraciones ante el Catastro, procedimientos en los que debe garantizarse que las modificaciones instadas se corresponden exactamente con las producidas en la propia realidad inmobiliaria.

Quisiera también comentar la reciente incorporación a la Oficina Virtual del Catastro de un nuevo servicio que permite la libre y gratuita obtención por cualquier ciudadano de un documento descriptivo y gráfico, sin datos protegidos, de cualquier inmueble inscrito en el Catastro, lo que permitirá incorporar a las más diversas operaciones inmobiliarias aquellos datos físicos de los inmuebles que gozan de la protección de un registro administrativo.

13. A diario se encuentran técnicos dedicados a labores catastrales con las descripciones de las fincas que recogen su número de finca registral, no apareciendo en las mismas su correspondiente referencia catastral, es decir, se sabe qué finca registral es pero no qué finca catastral, resultando a veces harto difícil descubrirlo ¿Para cuando calcula que se tendrá la tan ansiada concordancia Catastro-Registro?

La concordancia entre Catastro y Registro de la Propiedad es una cuestión recurrente y de enorme trascendencia por cuanto la precisa correspondencia entre la realidad material de un inmueble y los derechos sobre él constituidos resulta de capital importancia para la seguridad jurídica en el tráfico inmobiliario. Como ya le he comentado, hoy resulta obligado incorporar la referencia catastral de los inmuebles a cualquier título público en los que se autoricen operaciones de trascendencia inmobiliaria, lo que sin duda es un buen camino para garantizar la correspondencia entre la información registral que nace de la escritura pública inscrita y el Catastro.

En todo caso queda mucho por hacer; no sólo porque aún son muchos

los inmuebles sin correspondencia, sino porque debemos profundizar conjuntamente con la Dirección General de los Registros y del Notariado y los Colegios de Notarios y Registradores en estas herramientas de coordinación, hasta lograr el objetivo de que las fincas registrales dispongan siempre de un reflejo cartográfico-catastral sobre el que además se pueda dar fe pública. Es evidente que un proyecto de esta envergadura, ni se improvisa ni se realiza en unos meses, por lo que debemos pensar en un horizonte temporal de medio-largo plazo, lo cual no significa que no estemos trabajando ya para alcanzarlo, sino todo lo contrario.

14. ¿Considera que los pasos hasta ahora dados por la Dirección General del Catastro, entre los que se incluyen la firma de este Acuerdo y la de otros similares, facilitan y mejoran el conocimiento entre los ciudadanos de las tareas que desarrolla la Dirección General del Catastro? ¿Considera que además se deberían dar otros?

Como le he dicho, hoy el Catastro en España tiene una clara orientación hacia la prestación de servicios al ciudadano y a las Instituciones y Administraciones Públicas demandantes de información catastral, por lo que el conocimiento entre los ciudadanos de la oferta de servicios que pone a su disposición la Dirección General del Catastro es un asunto de la mayor importancia para nosotros.

La suscripción de Acuerdos como el alcanzado con el Colegio de Ingenieros Técnicos en Topografía supone una nueva expansión de nuestra oferta de servicios y, en consecuencia, es un hito importante en nuestro decidido camino por la senda de la cooperación hacia la satisfacción generalizada de necesidades de información catastral.

Avanzar en la disponibilidad de nuevos canales de acceso a la información catastral mediante nuevas herramientas tecnológicas y la suscripción de nuevos acuerdos de colaboración es un objetivo estratégico para la Dirección General del Catastro que, sin duda, redundará en un mejor conocimiento entre los ciudadanos de la tarea que realizamos. Para ello esperamos contar con nuevos colaboradores convencidos como nosotros de la necesidad de cooperar para satisfacer las necesidades de una ciudadanía cada vez más consciente de sus derechos y demandante de servicios más eficientes. ■

Topografía Romana (y III)

Isaac Moreno Gallo

INGENIERO TÉCNICO DE OBRAS PÚBLICAS

MINISTERIO DE FOMENTO

DEMARCACIÓN DE CARRETERAS DEL ESTADO EN ARAGÓN. ZARAGOZA

(Continuación) ➔

TÉCNICAS

Si el conocimiento sobre los instrumentos topográficos más útiles y precisos utilizados por los romanos es hoy muy escaso, no podemos decir que de las técnicas empleadas se sepa mucho más.

Los textos clásicos son generalmente parcos sobre este asunto o, mejor dicho, el bagaje escrito conservado desde época romana sobre estos temas es prácticamente inexistente. Los textos de carácter científico siempre levantaron la sospecha entre los posteriores modos de entender la vida y probablemente la mayoría se destruyeron intencionadamente o, sencillamente, no se transcribieron.

Hemos visto como el dominio de la ciencia trigonométrica era ya muy completo en la época romana al haber sido heredados gran parte de los conocimientos del mundo helenístico. A partir de aquí, la formación de triángulos fáciles de resolver, que permitieran descubrir las magnitudes buscadas en el terreno, era solo cuestión de ingenio.

En orden a la dificultad de resolución es preferible plantear, siempre que sea posible, un triángulo rectángulo. En ellos, la resolución del tercer ángulo viene a ser inmediata, la aplicación del teorema de Pitágoras lo resolverá sin recurrir a otras fórmulas más complejas. Será fácil inscribir o relacionar otros triángulos menores a partir de los que establecer las semejanzas de Tales, o aplicar el teorema del cateto o de la altura y, finalmente, será de muy sencilla aplicación la tabla de cuerdas Ptoloméica.

Si esto no es posible de inmediato, puede intentarse reducir a dos rectángulos los triángulos que no lo son para resolverlos con los teoremas diversos conocidos, o aplicar la semejanza de Tales trasladando los ángulos que se precisen con los instrumentos adecuados, o aplicando el teorema del seno con ayuda de la tabla de cuerdas (senos) si se dispone de ella.

En definitiva: elegir siempre el camino más corto y sencillo en cada caso.

No nos cabe la menor duda de que los técnicos que construyeron los acueductos que hoy nos asombran, o la red de carreteras interminable y de excelente calidad que hoy descubrimos, dominaban éstas y otras muchas técnicas a la perfección. Los resultados les avalan.

Sin embargo, los primeros tratados topográficos europeos de que tenemos noticia, ya en el siglo XVI, de los que hemos ido dando noticia en este trabajo y donde estas técnicas de resolución trigonométrica aparecen representadas con cierta precisión, responden a una trigonometría básica, aunque eficaz. De las técnicas de resolución triangular basadas en los sabios de la antigüedad apenas se recogen las de Tales y Pitágoras. Las funciones trigonométricas más complejas, basadas en las cuerdas o senos de los ángulos, coseno, tangente, etc., no se aplican, a pesar de ser conocidas en el mundo árabe desde al menos seis siglos antes.

Estas técnicas de medición del terreno mediante el empleo de triángulos, como constante desde los primeros tiempos de la ciencia topográfica moderna, fueron explicadas en las obras de Lastanosa, Kircher y Pomodoro, como compendio del conocimiento topográfico del Renacimiento. En todas ellas, el empleo del rectángulo es la técnica más socorrida; pero también la semejanza de Tales es un recurso valiosísimo que se emplea frecuentemente en estos momentos. Utilizando dioptras sobre cuadrantes geométricos o pantómetros, cuya construcción ya contaba con elementos de precisión suficiente, se realizaban levantamientos taquimétricos que sin duda permitían dibujar mapas y planos de detalle con aceptable precisión. En ese momento se realizaron algunos acueductos en Europa para abastecer ciudades, al estilo de como lo hicieron los romanos, pero con ciertas deficiencias no desdeñables, al no disponer de la excelente técnica constructiva romana.

La propia ciudad de Toledo dispuso de un ingenio mecánico diseñado por Juanelo Turriano, relojero y astrónomo de Carlos V y de Felipe II, para elevar el agua del Tajo a la ciudad. Pero este ingenio, que causó admiración en su época, se alejaba mucho de la eficacia del abastecimiento de aguas romano, no solo por la mala calidad de las aguas que apor-

taba, sino por la evidente diferencia de lo que tiene que ser una obra de ingeniería duradera, de bajo mantenimiento y sin partes móviles, tal y como era en época romana el sifón que vencía la profunda vaguada del Tajo para conducir el agua a la ciudad.

Volviendo a la técnica romana, es difícil precisar si los romanos aplicaban sistemáticamente la tabla de senos en la resolución de triángulos. Probablemente, a pesar de los múltiples caminos de resolución que siempre se presentan, existan casos en los que no sea posible resolver sin la aplicación del seno del ángulo. Además, en ocasiones, su aplicación aporta soluciones de mayor precisión que los otros caminos que requieren medir muchas más magnitudes de apoyo y por tanto más susceptibles de inducir errores.

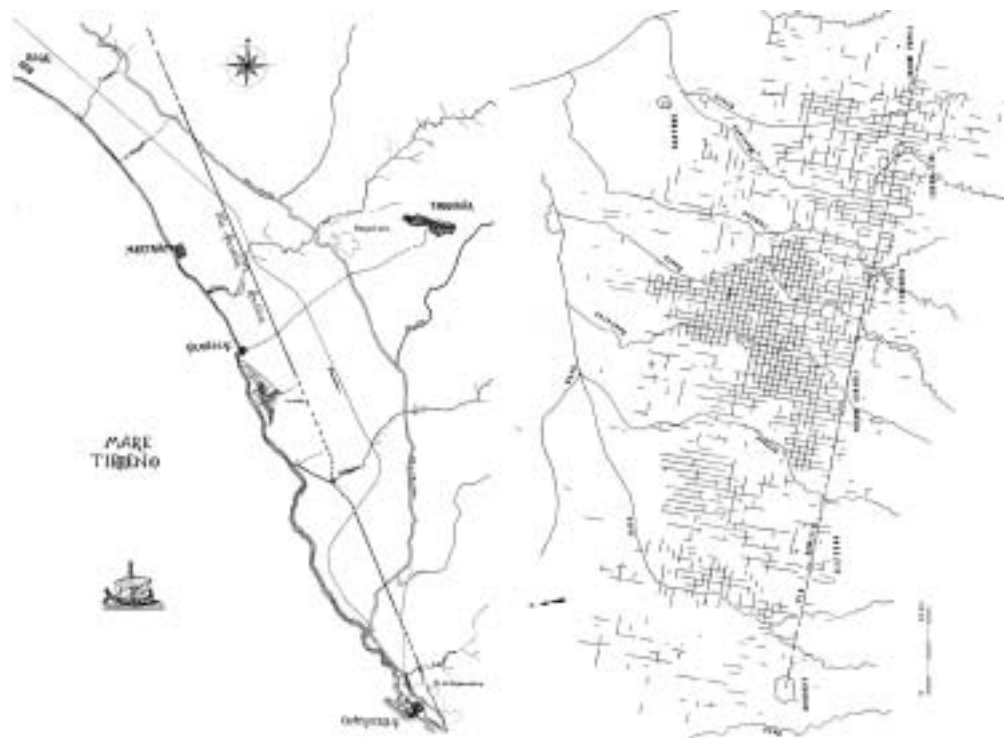
La resolución gráfica a gran escala de los triángulos, sobre mesa y papel, es otro recurso no desdeñable en el que es necesario pensar en más de una ocasión si no queremos recurrir fórmulas trigonométricas complicadas y de las que no se tiene la certeza de haber sido conocidas en tiempos de Roma. Tal es el caso de la fórmula derivada del teorema del coseno, cuyo origen parece encontrarse en la cultura islámica.

Hay que insistir no obstante en que a partir del análisis de las obras de ingeniería que se han conservado, de los conocimientos matemáticos que sabemos que poseían y de la instrumentación topográfica conocida, podemos deducir las técnicas empleadas para la realización de algunas de las obras tan bien planificadas que conocemos; no pocas de las cuales hoy seguirían siendo un gran reto para la ingeniería.

Medición del terreno, Geodesia y triangulación.

La medición del terreno tanto en planta como en alzado se ha reducido desde siempre a un problema de resolución de triángulos, como polígono elemental a partir del que podemos formar los demás polígonos y por la posibilidad de reducir a triángulos cualquiera extensión de terreno.

La primera cuestión que se presenta es la de establecer la posición real de los lugares en la superficie de la tierra y la posibilidad de representar, a escala, su posición en los mapas.



A la izquierda, tramo perfectamente recto de la Vía Aurelia, entre Forum Aurelii (Montalto di Castro) y Centum Cellae (Civitavecchia), con 55 kilómetros. Gráfico de D. Sterpos.. A la derecha, centuriación de 80 kilómetros de lado, sobre la Vía Aemilia, al oeste de Bolonia (Italia), según Chouquer (1981).

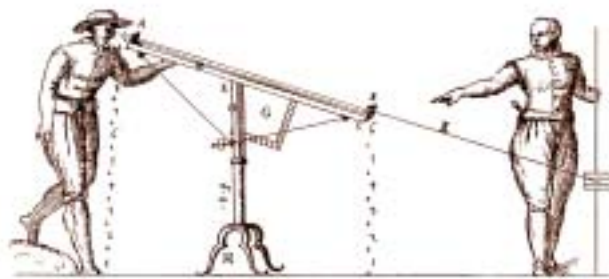
Para ello, es necesario calcular las distancias rectas de los lugares a representar respecto a un punto conocido y la dirección en que estos se encuentran, es decir, el ángulo respecto a una línea inicialmente conocida. Esta línea puede ser la que se orienta al norte desde el punto de partida, en cuyo caso el ángulo se llama acimut, o la formada por los dos puntos de partida conocidos que forman la base.

Son varios los factores que nos inducen a pensar que la triangulación del terreno, incluso en muy grandes extensiones, era un hecho habitual en el mundo romano. La precisión de las largas alineaciones que recientemente se ha comprobado gracias al apoyo de la fotografía aérea no es posible sin el apoyo de esta técnica.

Se conocen alineaciones de carretera asombrosas, por ejemplo en la Vía Apia, entre Roma y Tarracina (Terracina) con más de 90 kilómetros y otro buen tramo de la Vía Aurelia, entre Forum Aurelii (Montalto di Castro) y Centum Cellae (Civitavecchia), con 55 kilómetros de asombrosa rectitud. Éste último caso solo pudo ser observado con ayuda de la fotografía aérea por los técnicos del Instituto de Topografía Antigua de Roma⁵⁶. Grandes alineaciones se constatan también en la Vía Domitia, en la Provenza francesa, en grandes zonas de las llanuras del norte de la Galia y en todos los sitios en los que el terreno fue propicio para ello.

Los límites externos de los grandes repartos de tierra romanos que se conocen (centuriato), tienen frecuentemente más de 50 kilómetros de

⁵⁶ STERPOS, D. 1970, p. 22: *La Strada Romana in Italia*.



Ejemplo de uso de una dioptra con movimiento vertical en los Veintiún Libros de los Ingenios y la Máquinas.

lado mayor en el cuadro que los limita, siendo perfectamente perpendiculares sus límites⁵⁷. Esta precisión no se puede lograr a partir del arrastre de la cuadrícula menor si no todo lo contrario, la centuriación quedará geométricamente perfecta fijando previamente los límites externos con precisión.

Del mismo modo, fijar con precisión el ángulo que con la base debe formar la línea que forman el punto de inicio y el de destino, en el caso de cualquier alineación de más de 10 kilómetros, es una operación de enorme dificultad, imposible de realizar con métodos de alidada simples, tal y como ocurre cuando se quiere situar correctamente los puntos externos de una centuriación para que formen un rectángulo perfecto.

Costoso es también el posicionamiento preciso de la captación y del destino de un abastecimiento de aguas para la correcta valoración de su viabilidad, de su longitud y sobre todo de la caída total del agua que ha de producirse, considerando que conducciones entre 50 y 100 kilómetros eran frecuentes en el Imperio.

Todas son labores difíciles que requieren de una muy precisa medición del terreno con una labor de triangulación, en muchas ocasiones perfectamente útil para varias misiones a la vez de las ya mencionadas.

Las técnicas y los instrumentos explicados en los siglos del Renacimiento sirven bien para estas labores, pero no son pocas las obras singulares de los romanos cuya realización sobrepasa estas leves mediciones que figuran en los gráficos de la edad moderna.

Pensamos que las labores de triangulación más complejas en época romana fueron realizadas con ayuda de elementos auxiliares luminosos, faroles de señales del tipo de los utilizados en tantas tareas de transmisión de mensajes. Estos permiten visuales muy largas en la noche, en determinadas condiciones atmosféricas de más de 10 kilómetros, y por tanto posibilitan la construcción de cadenas de triángulos muy grandes y de extraordinaria precisión. Por supues-

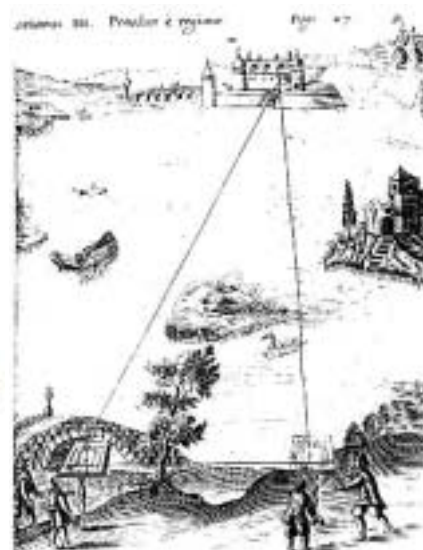
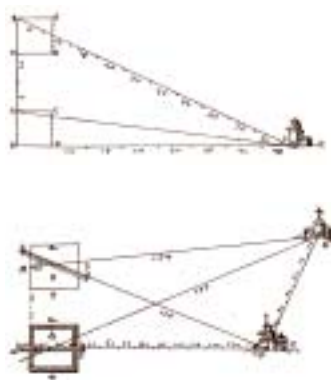
to, serán obligadas operaciones de cierre de la malla sobre la misma base de partida, con comprobaciones reiterativas, reparto de errores constatados entre los ángulos medidos y otras técnicas básicas en topografía que hoy mismo se emplean y en las que no nos entretendremos ahora.

A partir de estas cadenas es fácil establecer desde el punto de partida el ángulo de ataque de una alineación que debe prolongarse durante decenas de kilómetros hasta llegar al punto de destino deseado, o el rectángulo exterior de la más grande de las centuriaciones. En las líneas así formadas se establecerán y comprobarán además otros puntos intermedios y los tramos parciales se rellenarán mediante métodos de alidada más simples como la alineación con jalones o con cualquier otro sistema.

Agrimensura

La medición, el establecimiento y el levantamiento de mapas de parcelas agrarias es una de las misiones más antiguas encomendadas a la ciencia topográfica. Su carácter ritual en los pueblos antiguos alcanzó su máxima expresión en tiempos de Roma. Ya hemos visto que la groma, siendo un instrumento deficiente en estas labores, sigue apareciendo entre los agrimensores romanos, probablemente gracias al carácter ritual que se les confiere tanto al aparato como al proceso mensor.

La reducción del terreno agrícola a polígonos medibles es sin embargo un proceso imprescindible para aplicar la justicia en el reparto, usufructo y transmisión de las fincas, como obliga la vital importancia económica que desde el neolítico tiene la actividad agrícola para la humanidad. Precisamente, es en tiempos de Roma cuando este proceso alcanza un carácter paradigmático. Éste es un momento en el que los avances de la conquista y la adhesión de ingentes cantidades de nuevos terrenos al Imperio, con su subsiguiente reparto entre grandes terratenientes proce-



Ejemplos de utilización del cuadrante geométrico en los Veintiún Libros de los Ingenios y la Máquinas. A la derecha, la misma técnica usando el pantómetro, explicada en la obra de Gaspare Schotto.

⁵⁷ FAVORY, F. 1997: *Via Domitia et limitatiomm romaines en Languedoc oriental: la centuriation. Sextantio-Ambrussum. Voies romaines du Rhone à l'Ebre: Via Domitia et Via Augusta.*

Nadie podía controlar al espacio...hasta que apareció.



SPATIAL IMAGING

En un mundo dominado por la tecnología, solo había algo que podía salvarles. Y que les permitiese ver el mundo en una dimensión completamente nueva. Anunciando la primicia mundial de un nuevo y potente sensor. Trimble® VX™ Spatial Station.

VX TECNOLOGÍA MUY EXCEPCIONAL

PRESENTÁNDOSE AHORA MUNDIALMENTE:

WWW.TRIMBLE.COM/SPATIAL

TRIMBLE VISION
IMAGING
TECHNOLOGY

UN INSTRUMENTO. INNUMERABLES APLICACIONES.

Diseñada para capturar escenas y coordenadas en 2D y 3D, Trimble® VX™ Spatial Station permite una rápida entrada en Spatial Imaging. Optimizadas para una rápida adquisición de datos, las soluciones Trimble Spatial Imaging reducen la distancia entre el mundo geoespacial y las mediciones terrestres.

AMPLÍE SUS HORIZONTES Y LAS POSIBILIDADES DE SU EMPRESA.

Trimble VX Spatial Station es la herramienta perfecta para integrar escaneados de resolución estándar e imágenes digitales con medidas de coordenadas de precisión topográfica. Trimble VX produce dibujos 2D clásicos y mejorados, levantamientos de ejecución 3D mejorados con colores, seguimiento de inspecciones, detección de colisiones y cálculos de volumen/superficie.

TECNOLOGÍA TRIMBLE VISION™

La tecnología Trimble VISION™ ofrece video en vivo en la pantalla del controlador, permitiendo que los usuarios identifiquen y capturen, rápida y fácilmente, los datos correspondientes con una eficacia inmediata.

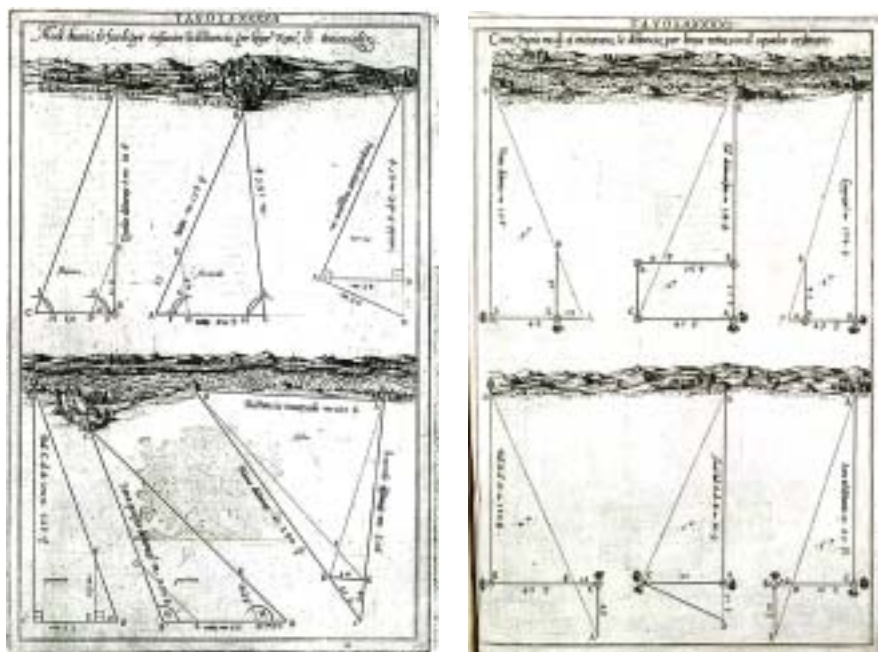
SISTEMA ÓPTICO AVANZADO

Tecnologías de escaneado 3D, de estación total óptica y de video integradas en una sola plataforma.

SOFTWARE TRIMBLE REALWORKS SURVEY™

El software Trimble RealWorks Survey™ les permite a los usuarios crear escenas de ejecución para desarrollar presentaciones 2D o 3D atractivas.





Ejemplos de cálculo de distancias mediante resolución de triángulos con el empleo del teorema de Tales. Gráficos de la obra de Giovanni Pomodoro de 1603.

Los múltiplos de la medida básica de superficie, el pie cuadrado (0,0876 m²)⁶⁰, formaban extensiones de superficie variadas, entre las más comunes el *actus* (14.400 p²=1.261 m²), el *iugerum* (28.800 p²=2.523 m²), *haeredium* (57.600 p²=5.046 m²), *centuria* (5.760.000 p²=504.576 m²), y el *saltus* (144.000.000 p²=12.610.440 m²).

Pues bien, si a partir de un *actus*, un cuadrado de 35,5 m de lado, quisiéramos construir con una groma solamente un *saltus*, un cuadrado de 3551 m de lado (100x100 *actus*), el resultado sin duda no sería un cuadrado. Nos atrevemos a poner en duda que el resultado fuese un cuadrado incluso utilizando la más precisa escuadra de agrimensor⁶¹. Trasládemos de esta forma el problema a los límites externos de una centuriación de más de 20 *saltus* de lado y reduciremos a lo imposible la solución por estos métodos.

dentes de los mandos retirados del ejército o entre colonos de diversa naturaleza, incrementaban la producción, la riqueza y el poder del Imperio hasta límites nunca conocidos.

Debemos a Frontino⁵⁸ muchos de los datos que sabemos sobre la forma de limitar con justicia el terreno y otros detalles de esta cuestión. Columela nos aporta también numerosos datos, entre ellos el hecho de que cualquier medida de superficie en Roma estaba referida a pies cuadrados⁵⁹.

No queda más remedio que utilizar métodos de triangulación para comprobar la exactitud de las alineaciones y del ángulo de la parcelación. Incluso si los lados mayores se trazan mediante dioptra, con ayuda de señales luminosas en la noche, deberemos cerrar los triángulos para comprobar que el ángulo sigue siendo de 90° en el punto de cierre opuesto al de partida. Esto es triangulación.

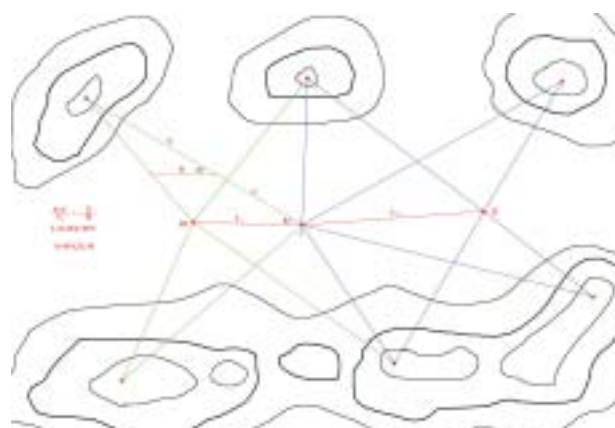
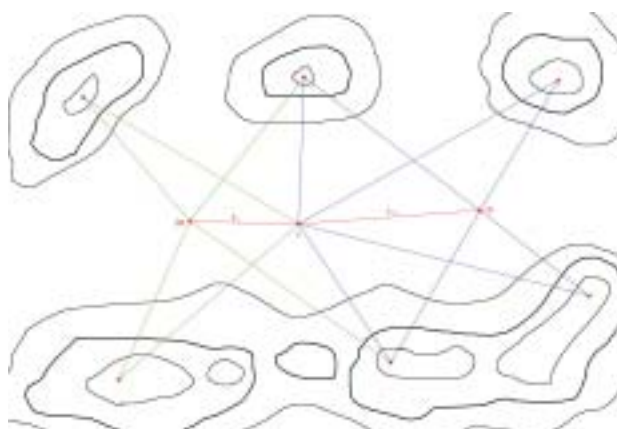
Construidos los límites exteriores de la parcelación y divididos estos en centurias (710 m de lado = 20x20 *actus*) es cuando entrarán en juego las escuadras de agrimensor para las divisiones menores.

⁵⁸ Frontino no era un técnico pero si un alto funcionario muy relevante al que se le encomendaron a lo largo de su vida diversas funciones. Tenía la costumbre de escribir sobre las labores que desarrollaba y de esta forma nos ha aportado datos muy valiosos sobre técnica, derecho, administración, medidas etc.

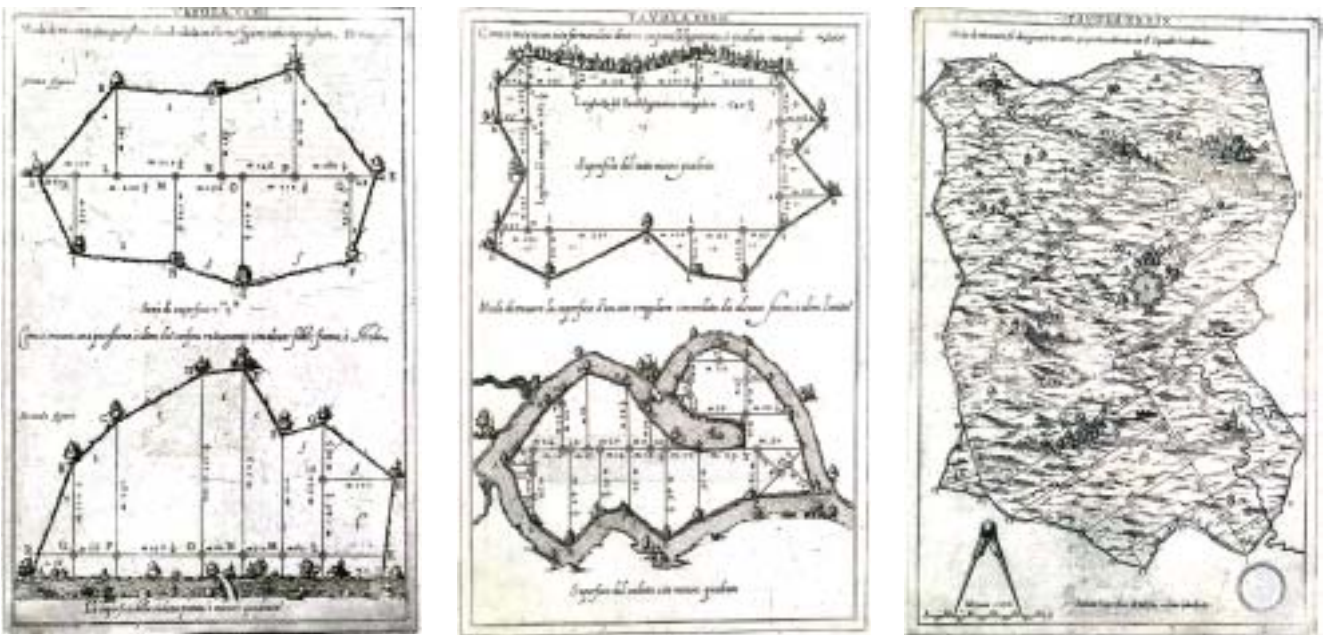
⁵⁹ COLUMELA. *De re rustica* 5, I.

⁶⁰ RESINA SOLA, P. 1990, p. 24: *Función y técnica de la agrimensura en Roma (II)*... ob. cit.

⁶¹ Véase sobre los límites de uso de la escuadra de agrimensor, DOMÍNGUEZ GARCÍA-TEJERO, F. 1958, p 68: *Topografía General y Agrícola*... ob. cit



Ejemplos de procedimientos de triangulación mediante el empleo de bases auxiliares. A la derecha, empleando el teorema de la semejanza de triángulos para ahorrar las visuales desde las cumbres.



Gráficos del tratado de Giovanni Pomodoro, con ejemplos de medición de fincas por reducción a polígonos regulares y a la derecha, procedimiento de levantamiento del plano de una finca, en todos los casos empleando la escuadra de agrimensor.

Problema diferente al de la difícil construcción de un gran *centuriato* romano, es el de la medida, parcelación o traslado al plano de superficies relativamente pequeñas. En estos casos la escuadra de agrimensor es siempre la indicada. Representaciones de estas operaciones hemos visto en los tratados modernos de los siglos XVI y XVII. Pomodoro recoge varios de estos casos, en los que aconseja, del mismo modo en que lo hacía Frontino, reducir a polígonos las fincas irregulares utilizando la escuadra.

Trazado de carreteras

Cuando el ingeniero romano planificaba la comunicación entre dos ciudades escogía con sabiduría el mejor de los corredores que le permitiera el trazado con pendientes suaves sin grandes costos y a la vez que no le alejase mucho de la línea recta. Este extremo que hemos comprobado en muchas ocasiones⁶², lejos de ser fruto de la casualidad, debemos imputarlo al ingenio de los técnicos que sabían auxiliarse de los instrumentos necesarios para determinar la forma del terreno, las distancias y la altitud de los puntos clave para el trazado.

En definitiva, era necesario poseer mapas de precisión que permitieran la elección correcta del trazado y las alternativas más adecuadas cuando el terreno quebrado aconsejaba alejarse de la línea recta.

Para levantar estos mapas es necesaria la formación de mallas de triángulos que posteriormente se rellenan con nuevos datos hasta conformar el terreno en su totalidad. No sabemos como los romanos podían ex-

presar la altimetría en estos mapas ya que no consta que utilizaran las curvas de nivel, pero de alguna forma dibujarían al menos los puntos más altos y los collados, con indicación de la diferencia entre ellos.

Establecido el trazado general, con señalamiento de los puntos de paso obligado en el terreno, mediante el empleo de dioptras y si es necesario con técnicas de visualización a grandes distancias, los jalones son el instrumento más versátil para completar el trazado en los tramos parciales formados.

Por tanto, no parece necesario recurrir a otras hipótesis de trazado rebuscadas y menos mediante el uso de instrumentos ineficaces para esta misión, como la groma, tantas veces visto así en los textos modernos, o mediante técnicas extrañas de aproximación sucesiva a la alineación definitiva⁶³, en los que habría que emplear varios días para el trabajo que eficazmente hecho no lleva más de unas horas.

Para el establecimiento de las pendientes de forma que sean las mínimas posibles, uniformes y siempre por debajo de las máximas recomendadas, existen varios instrumentos de suma sencillez que servirán perfectamente para esta misión. Del mismo modo que la groma no tiene ninguna utilidad en estas labores de trazado, el corobate no sirve para el replanteo de carreteras ya que traslada puntos en el plano horizontal y por tanto es inútil para trazar las pendientes habituales en las carreteras.

Son mucho más eficaces instrumentos más sencillos como la propia dioptra, o mucho más versátiles y manejables, como las niveletas de cuyo origen, probablemente por su propia sencillez de construcción y

⁶² MORENO GALLO, I. 2004: *Vías Romanas. Ingeniería y técnica constructiva*. Ministerio de Fomento. Madrid.

⁶³ LEWIS, M.J.T. 2001, pp. 222 y ss: *Surveying Instruments of Greece and Rome*. Cambridge University.

uso, nada se puede precisar, o el eclímetro, sencillo aparato medidor de pendientes, consistente en un limbo vertical graduado sujeto con la mano o sobre un pie vertical, en el que se instala una regla que puede proveerse de pínulas y que girando sobre el centro del limbo indica el valor de la pendiente.

Las niveletas se utilizan poniendo las dos primeras a unos seis metros de distancia una de otra y con el desnivel entre ellas que se pretenda arrastrar, estando referenciada la primera a la cota de partida. La tercera se va desplazando sobre el terreno indicando las cotas de trazado buscadas y esto se produce cuando su parte superior se rasantea mediante la visual lanzada desde las dos primeras. El sistema está basado en el principio de proyección de dos líneas horizontales que se sitúan en un mismo plano, no necesariamente horizontal pero siempre perpendicular al vertical.

El mismo principio de proyección de líneas situadas en un mismo plano, pero en este caso vertical, es el que se utiliza para el trazado en planta mediante jalones, antiguamente llamados banderolas. También se usan en grupos mínimos de tres de forma que aseguren el arrastre de la línea dentro del plano formado por los dos que marcan la dirección.

Vemos, por tanto, que el trazado de carreteras en planta y en alzado no requiere de instrumentos complicados una vez establecidos con precisión los puntos obligados de paso, a una distancia razonable entra ellos.

Canalización de las aguas y técnicas de nivelación

No podemos decir sin embargo lo mismo del trazado de canalizaciones de agua a lámina libre. Es bien conocida por los técnicos de hoy la extremada precisión necesaria en las pendientes requeridas para conducir el agua, de forma que garanticen el éxito de la misión. El agua no solo debe de llegar perfectamente a su destino si no que además no deben surgir problemas en el canal por motivo de la velocidad inadecuada del líquido durante su funcionamiento.

Evidentemente tiene que ser conocida la velocidad ideal del agua en función del tipo de revestimiento del canal y de la propia calidad del líquido, ya que las sedimentaciones y las concreciones pueden producir tantos problemas en la durabilidad del canal como las erosiones. Pero, una vez establecida esta velocidad óptima, mediante las técnicas que para ello existen, fijado el caudal requerido y la sección mojada, la pendiente del canal será aquella que garantice el cumplimiento de los parámetros buscados.

Este complicado equilibrio que los romanos supieron establecer magníficamente en la gran mayoría de los acueductos que aún hoy se pueden analizar, representaba una gran responsabilidad para los técnicos que intervienen en la construcción de estas obras, empezando por los topógrafos.

⁶⁴ VITRUVIO. De Architectura. Lib. VIII, cap. V.

Debía conseguirse, no sólo que la captación estuviera a la cota suficiente, labor harto difícil cuando esta se hallaba a decenas de kilómetros, si no que además la pendiente se ajustase en todo momento a lo establecido. Ningún error en el replanteo del alzado pasaba desapercibido, incluso cuando en primera instancia la canalización funcionase aparentemente bien, las consecuencias acababan siendo en ocasiones nefastas por los problemas a que hemos aludido inherentes a la alteración de la velocidad óptima del líquido en cada caso.

La nivelación debía ser, por tanto, absolutamente precisa.

La forma de trabajar con el corobate consistía en proyectar el plano horizontal de la cota de partida a lo largo del terreno que debía soportar la canalización. A continuación se disminuía o incrementaba la cota, dependiendo del sentido del replanteo respecto a la dirección del agua, en proporción exacta a la distancia recorrida por el canal.

Para ello, el estacionamiento del aparato se realizaba en los puntos desde los que se visualizase más porción del terreno sobre el que se pretendía construir el canal. Previamente se había proyectado a esos puntos, con el propio corobate, la cota que se deseaba arrastrar.

Una cuestión de vital importancia es la consideración del error de nivelación ocasionado por la esfericidad de la tierra, asunto éste que sabemos que los romanos conocían a la perfección. Baste transcribir las palabras de Vitruvio⁶⁴: *Quizá algún lector de las obras de Arquímedes dirá que no se puede hacer una verdadera nivelación por medio del agua, porque Arquímedes sostiene que el agua no tiene una superficie horizontal, si no que es de forma esférica y tiene su centro en el centro de la tierra.*

Pero los técnicos romanos conocían bien no solo los secretos del funcionamiento del agua sino también el valor del radio de la Tierra. Recordemos que Eratóstenes de Cirene ya, hacia el 200 a.C., calculó el radio de la tierra con excelente precisión.

Aún admitiendo un cierto error en el valor del radio de la Tierra considerado por los técnicos romanos, en el caso de admitir el apuntado por Ptolomeo, el cálculo del error de nivelación derivado de la esfericidad de la Tierra estaba perfectamente a su alcance, dada su extremada sencillez.

Incluso considerando un radio terrestre de un valor en torno al 80 % del real, la consideración del error de esfericidad de la Tierra no reporta variaciones que impidan el éxito de la nivelación final.

En visuales a grandes distancias, el error de nivelación por este concepto es sin duda el mayor de los que se producen, pero a la vez el mejor conocido. Por este motivo no nivelaban con el corobate a distancias superiores a 70-80 metros. Como hoy tampoco se hace, en nivelaciones itinerantes, ésta es la distancia recomendada.

Esta cuestión ha sido siempre conocida por los técnicos de las conducciones hidráulicas y de hecho se menciona este extremo en más de una



POCKET & TABLET CARTOMAP 5.6

Pocket y Tablet CARTOMAP facilitan el trabajo en obra con diversos aparatos GPS, estaciones totales manuales, motorizadas y robotizadas en modo remoto, distanciómetros... de diferentes fabricantes (Leica, Topcon, Trimble...) y con diferentes equipos Pocket PC (Itronix, Topcon FC100, Trimble Recon y ACU Leica Allegro...) y Tablet PC (UMPC, Toughbook...).

La rapidez, calidad y funcionalidad de *Pocket y Tablet CARTOMAP 5.6* establecen un nuevo hito en la operativa diaria del trabajo en obra y proporciona una plataforma de trabajo homogénea para todo su parque de instrumentos.

Tablet CARTOMAP facilita la comunicación entre campo y oficina técnica para la mayor eficacia en la elaboración de proyectos y ejecución de Obras de Ingeniería Civil, Urbanismo, Minería, Hidrología, Aeropuertos, Catastro, Agrimensura...

Puede solicitarnos una demostración adecuada a su problemática, sin ningún compromiso.

- Captura de datos
- Topografía analítica de campo
- Modelos Digitales del Terreno
- Curvado
- CAD 2D/3D
- Croquis automático asociativo
- Perfiles longitudinales
- Perfiles transversales
- Rasantes
- Replanteo
- Control de calidad
- Secciones tipo
- Ficheros Shapefile y mucho más...



→ El autocroquis realiza el dibujo en tiempo real, según la codificación.



→ Se pueden incorporar ortofotos junto con cartografía en formato DXF.



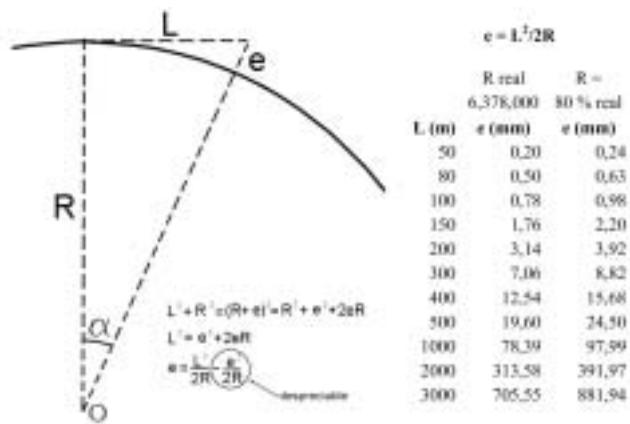
→ Se puede replantear cualquier punto y en cualquier PK, con funciones específicas y control de calidad.

POCKET & TABLET CARTOMAP

¡Desde 625€!

licencia adicional de CARTOMAP Básico "Topografía y Curvado"

ANEBA Geoinformática, S.L.
BARCELONA • MADRID • HAMBURGO
info@aneba.com • Tel. 933.633.820



ocasión en los Veintiún Libros de los Ingenios y las Máquinas, atribuidos a Juan de Lastanosa, recomendándose en ellos distancias para nivelar no mayores de 50 pasos⁶⁵.

Pero en ocasiones la nivelación se hacía conveniente y hasta necesaria a grandes distancias. Entonces, sabiendo la importante influencia que este error tenía para este tipo de nivelaciones, los romanos utilizarían la corrección necesaria.

Este es el caso, por ejemplo, de proyecciones del nivel desde bases situadas en una ladera contraria a la de la canalización que, facilitando mucho la labor topográfica, estaba sin embargo más alejada de la distancia recomendable.

Estos supuestos son muy frecuentes cuando las nivelaciones han de cubrir largas longitudes en terrenos abruptos. Consideremos que las ventajas que encontramos en las nivelaciones a corta distancia, debido al bajo error producido por la esfericidad terrestre, las perdemos al vernos obligados a estacionar muchas veces el aparato para avanzar en el arrastre de la cota. Por mucha precisión que queramos emplear en las referencias colocadas, los cambios de estación son el factor que más induce a errores impredecibles en todas las labores topográficas y por supuesto en las de nivelación.

Este factor tan elemental que cualquier técnico con responsabilidades topográficas reales en la nivelación de las aguas debe saber perfectamente, por la cuenta que le tiene, es ignorado sistemáticamente en el grueso de los textos que modernamente se han ocupado de la topografía antigua, probablemente por estar realizados por autores sin experiencia en esta ciencia.

Algunos especialistas en este tema se han preocupado por el error que el corobate tipo mesita, propuesto hoy mayoritariamente por la arqueología, puede ocasionar en las labores de nivelación. Se consideraron los errores por motivos de apreciación ocular, de refracción, por deformaciones del aparato, etc., ignorando el más importante de todos, el inherente a la esfericidad de la Tierra. Aún así, se demostró que el replanteo del acueducto de Nîmes no pudo realizarse con ese supuesto co-

robate y al sumar el efecto de todos estos errores considerados se concluye⁶⁶: las nivelaciones por el sistema ojo-corobate pueden ser afectadas de errores de apreciación de más de 3,9 cm en 50 m y por extensión, de cerca de 80 cm. en un kilómetro.

Deducción de la que extraemos dos ideas: primera, que el corobate tipo mesita es malo de solemnidad para la nivelación de las aguas, segunda que, como los errores no se acumulan en el mismo sentido incremental en los distintos estacionamientos, el autor considera seriamente la posibilidad de realizar nivelaciones a un kilómetro de distancia, ignorando, en efecto, el error ocasionado por la esfericidad de la tierra.

Sin embargo, la consideración del error de esfericidad, tiene aún otras aplicaciones muy interesantes que trataremos someramente aquí. Por ejemplo, la posibilidad de realizar nivelaciones de itinerario en tramos enormes entre uno y tres kilómetros, usando el sistema de faroles de señales luminosas en la noche y aplicando después el error de esfericidad correspondiente para fijar la cota correcta en esos puntos. Luego, puede utilizarse la referencia así colocada para la valoración de los errores de estacionamiento acumulados en la nivelación fina del itinerario, en distancias cortas, no mayores de 70 metros.

Otro supuesto muy interesante es la determinación del nivel exacto en los largos sifones que en tantas ocasiones se realizaron⁶⁷. Nivelar con precisión itinerando a lo largo del valle, descendiendo notablemente para volver a ascender; puede ser una labor muy compleja, acompañada de otras muy costosas como la deforestación, etc. El número de estacionamientos puede ser tan grande que haga inasumible el error provocado por esta cuestión. Una sola visual nocturna, aplicando el error de esfericidad, nos dará la cota más precisa de entre las que se pueden obtener por traslación desde el otro extremo.

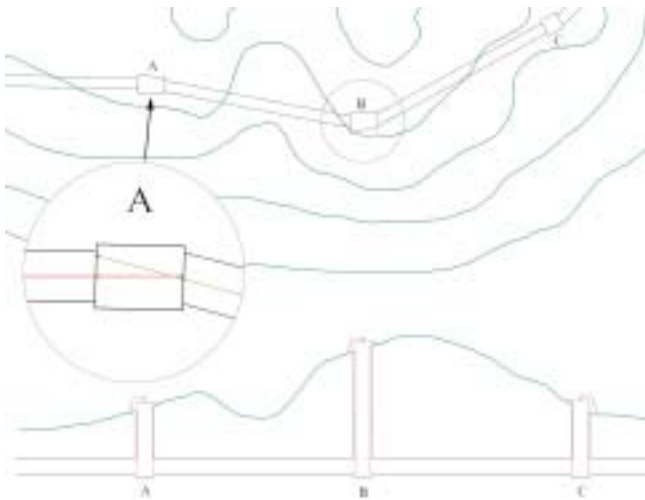
Para todas estas operaciones es necesario calcular la distancia horizontal a la que se halla el punto de la cota trasladada. Para ello, es necesario poner en juego otras operaciones de topografía que determinen esta distancia. Por ejemplo la sencilla medición, desde una base auxiliar con estaciones en sus extremos, de los ángulos que forman las visuales de la base con el punto lejano, forzando a que uno de estos ángulos sea el recto.

Los romanos, en su labor de replanteo de la conducción del agua, darían una última nivelación de precisión al canal, la que sirve para el refino final. Fuera el canal excavado sobre el terreno, en el interior de una galería, instalado sobre arquerías o sobre muros de sostenimiento, esta última nivelación se realizaba con el corobate siguiendo el itinerario so-

⁶⁶ LARNAC, C. 2000: *Les limites du système «œil-chorobate» pour l'implantation de l'aqueduc de Nîmes. Autour de la Dioptré d'Héron d'Alexandrie.* Centre Jean-Palme. Université de Saint-Étienne.

⁶⁷ En los sifones muy largos, aunque el técnico romano pudiera saber con la mayor precisión la cota idéntica en los dos extremos, realmente dejaban intencionadamente una caída del agua muy notable, de hasta varios metros, entre ambos extremos ya que las pérdidas de carga eran muy importantes y a lo largo de la vida del sifón las fugas las incrementaban aún más.

⁶⁵ Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas. Libro cuarto, p. 57.



Forma de proceder al replanteo de una galería de acueducto trasladando los datos de alineación y cotas desde el exterior.

bre la propia caja del canal ya construido, en el sentido de avance, desde donde es muy ventajoso trabajar con el aparato y realizar comprobaciones iterativas del desnivel acumulado en los diversos tramos, dejando entonces referencias permanentes sobre el propio canal.

Hay que suponer que, dadas las enormes distancias en las que se mantenía la pendiente constante y previamente determinada para cada tramo, se reservaban en el perfil longitudinal pequeñas caídas de nivel de resguardo para posibilitar correcciones en esta última fase de nivelación. Si no fuese necesario el empleo de estos resguardos, estos pequeñísimos saltos se absorbían en los pozos de registro, creándose en ellos un pequeño salto hidráulico.

Estos pozos, reservados en principio a facilitar la construcción y el mantenimiento, servían finalmente para varias funciones simultáneamente. Al producirse en ellos un ensanchamiento de la sección, la velocidad disminuía de todas formas para recuperarse de nuevo a la salida. Precisamente disponían en ocasiones de areneros para recoger la sedimentación que se producía por este motivo. Además de la función hidráulica evidente, constituían la mejor vía de conexión del acueducto con el exterior, marcando en superficie la situación de la canalización subterránea.

Perforación de galerías

La construcción de túneles era muy frecuente en las obras públicas romanas. Probablemente la que más dificultad revestía era la de las galerías destinadas a la conducción de agua que, además, eran numerosísimas. Tengamos en cuenta que habitualmente en un acueducto la conducción subterránea constituía el mayor porcentaje de la conducción, con mucha diferencia sobre los tramos construidos en superficie o sobre arquerías.

La estrechez y las reducidas dimensiones de la galería dificultaban mucho su construcción pero también su replanteo tanto en planta como en alzado.

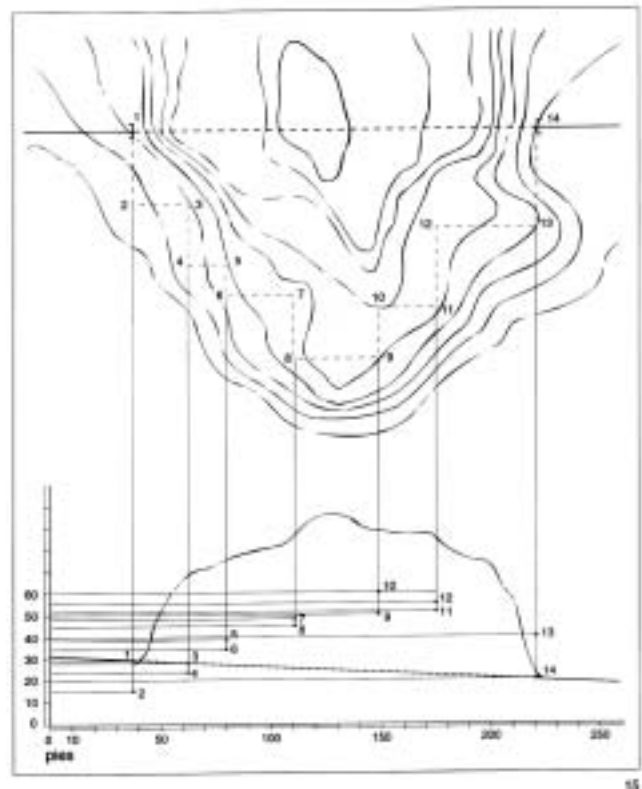
El trazado de estas galerías dependía en muchos casos del terreno que tenían encima. Trazar la galería como proyección de la planta establecida en superficie era lo más habitual. La galería podía ser recta o ir describiendo quiebros, normalmente en los pozos de registro, que siempre se promediaban a cierta distancia.

El replanteo de la galería se trasladaba desde la superficie al canal a través de los pozos. Estos eran construidos siempre antes que la canalización, fijando en su fondo la cota de la canalización y la dirección que debía llevar mediante la ayuda de hilos con plomadas.

Una vez trasladados estos datos al interior de la galería, esta se podía empezar a excavar desde cualquiera de los pozos y en cualquiera de las direcciones. Se fijaba en el techo de la galería un hilo bien tensado con clavos, de él se colgaban plomadas y mediante ayuda de iluminación artificial podía mantenerse la dirección perfectamente.

Mediante el nivel de agua (*libra aquaria*) puede llevarse la cota, a partir de cualquiera de los pozos, a través de la galería y en cualquiera de las direcciones, aplicando el incremento de cota necesaria por unidad de longitud según la pendiente requerida. Pueden establecerse para ello marcas en el techo o en la pared una vez refinada a su perfil definitivo.

El nivel de agua trabaja bien en pequeñas longitudes de unos diez o veinte metros, ya que en mayores distancias y con los materiales utilizados en la época (intestino de animales) pueden producirse roturas, fugas u



Propuesta de Adam para el replanteo de una galería en terreno muy quebrado y sin embargo usando un itinerario en la propia superficie.

otros problemas. Por tanto, es necesario arrastrar la cota en pequeños tramos.

Excavada una importante longitud de galería, antes del refino definitivo del suelo del canal, puede introducirse un corobate en el interior y realizar los estacionamientos necesarios para marcar el nivel con mayor precisión, ayudándose de iluminación artificial para ver la referencia horizontal móvil en cada punto a nivelar dentro de la galería.

Uno de los retos, en la topografía de las galerías de los acueductos, era el replanteo de la perforación simultánea por las dos bocas, en montañas muy inaccesibles en las que no existía posibilidad de guiarse mediante pozos intermedios que hubieran requerido de enorme altura o sencillamente no eran necesarios por la poca distancia total de la galería.

Existen muchos casos de esta índole en los que las huellas de excavación delatan el comienzo por las dos bocas y el encuentro de la obra en el tramo central⁶⁸.

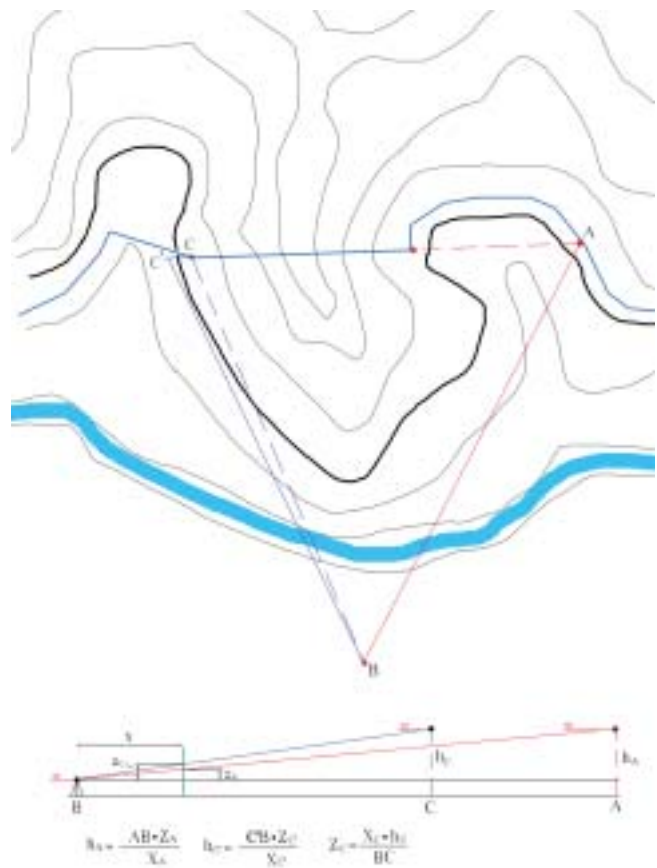
Adam⁶⁹ propuso un método en el que, utilizando un corobate y una groma que debían estacionarse muchas veces, pretendía arrastrarse la dirección y el nivel deseados hasta la otra boca. Este método requiere de tantos estacionamientos de ambos aparatos, normalmente muchos más que los idealizados en la pequeña colina que dibuja, con tan enorme acumulación de errores por este motivo, que llegar a la boca contraria con la dirección y la cota deseada realmente hubiera sido prodigioso. Eso, sin contar el esfuerzo de los múltiples apeos del corobate tipo mesita que utiliza, para los que en determinadas laderas se necesitaría de verdaderos andamiajes, una labor de deforestación de las laderas para posibilitar la visualización, etc.

Pero, ciertamente, ninguno de los grandes acueductos de la antigüedad hubiera sido realidad mediante el empleo de esas técnicas. Los técnicos de Roma poseían unos excelentes conocimientos topográficos y matemáticos, así como instrumentos suficientemente potentes como para llevar a cabo estas labores con éxito. La certificación de estos extremos puede encontrarse en la comprobación geométrica de sus propias obras.

La trigonometría era probablemente mejor dominada por los romanos que lo que se supone, de forma que existirían pocos problemas que no supieran resolver. Como suele ocurrir en topografía, existe más de un método para llegar a la misma solución, no obstante, hemos preferido plantear una solución a la perforación del túnel empleando un procedimiento en el que sólo es necesario el empleo de una trigonometría ele-

mental y con el menor número posible de estacionamientos y operaciones. Uno de estos ejemplos puede examinarse en el gráfico siguiente.

Este tipo de operaciones de replanteo, en obras cuya correcta ejecución reviste tan gran responsabilidad, es aconsejable realizarlas más de una vez, usando bases distintas de apoyo en cada ocasión y tantas veces como sean necesarias mientras los resultados difieran en algo. Las observaciones realizadas en los acueductos conservados, apuntan a que



Replanteo de una galería en terreno muy quebrado y sin posibilidad de continuar el itinerario en superficie: Se resuelve a partir del apoyo de un punto exterior B desde el que se visualicen los extremos de la alineación del túnel.

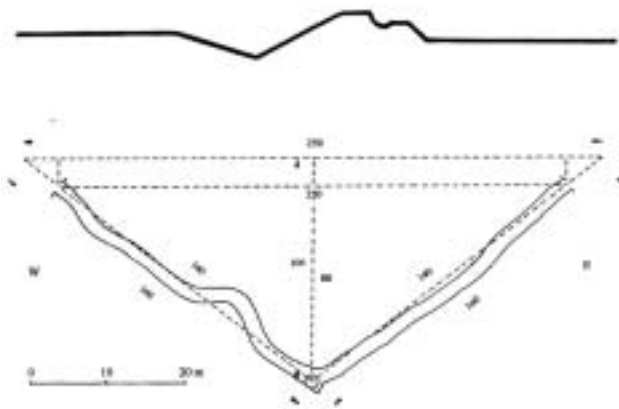
Se elige un punto C' en la ladera de salida con el que fijaremos el plano vertical que incluirá al eje del túnel. Se calculan las distancias horizontales BA y BC' mediante cualquiera de los métodos indirectos ya tratados: Podemos aplicar semejanza de triángulos a partir de otros semejantes formados en el plano vertical u horizontal. Podemos formar un triángulo rectángulo cuyo cateto mayor queremos medir, midiendo previamente con precisión el cateto menor sobre el terreno. Elegiremos el método en función de las disponibilidades de terreno para cada caso.

Medimos el ángulo en B para resolver el triángulo con estos tres datos (los dos lados y el ángulo en B). Los ángulos en A y C' fijarán la alineación en los extremos.

Mediante la ayuda de una mira vertical y las propiedades de semejanza de triángulos (gráfico inferior), calculamos el gradiente de altura entre A y B y luego entre B y C'. Finalmente fijaremos el punto C, el de salida del túnel, en su alineación y cota correcta.

⁶⁸ Son famosos el túnel de la isla de Samos (Grecia), de Briord (Francia) o el de Bologna (Italia), en el que se detectaron problemas serios en el encuentro de las galerías iniciadas por ambas bocas.

⁶⁹ ADAM, J. P. 1989, pp. 9 y ss. 2ª ed. esp. 2002: *La Construcción romana. Materiales y técnicas...* ob. cit.



A la izquierda, arriba, el trazado en planta del túnel de Samos, en Grecia, con importantes sinuosidades en el encuentro central, hasta hoy achacadas a problemas topográficos, abajo, el trazado del túnel de Chagnón en el acueducto del Gier, dibujado en la obra de Grewe (1998), con quiebros extraños en el trazado.

A la derecha, túnel de un acueducto de suministro minero en Llamas de Cabrera-Valle Airoso (León). Se aprecian las paredes de dura cuarcita excavadas mediante la técnica combinada de fuego y agua. Estas formaciones geológicas ocasionaban en muchas ocasiones rodeos en el trazado.

durante el transcurso de la obra de perforación las labores de replanteo dentro de la galería se reiteraban periódicamente con el fin de prevenir posibles desviaciones. Cuando estas desviaciones se hacían inevitables por error o por la naturaleza geológica de los materiales encontrados⁷⁰ se efectuaban de esta forma las correcciones necesarias.

Otras facetas más sencillas del replanteo subterráneo podían encontrarse en los túneles de carretera, de los que hemos conocido varios, que normalmente eran más cortos que los de los acueductos y desde luego mucho más espaciosos, lo que resolvía mucho los problemas.

Por último, tenemos el caso de las galerías mineras. Normalmente estas galerías iban persiguiendo las vetas de los minerales que se extraían y, salvo que fueran destinadas a la inundación posterior para la canalización de las aguas que debían arruinar la montaña, no requerían grandes labores de replanteo.

El trazado en planta, cuando era requerido, se transmitía desde el exterior a través de los pozos de ventilación o de las bocas de entrada. Sin embargo, por motivos de seguridad, siempre era necesario mantener las pendientes de las galerías dentro de unos límites razonables y por tanto la nivelación de los corredores subterráneos era frecuente. Para ello se utilizaban instrumentos específicos, sencillos para trabajar en la oscuridad y eficaces para conseguir resultados con las escasas referencias que en el interior de la mina existen. Los eclímetros suspendidos son los más adecuados para ello.

⁷⁰ Asunto éste poco o nada estudiado, que podría aportar pistas importantes sobre la causa del desvío en algunas galerías.

CONCLUSIÓN

La topografía de la antigüedad sigue siendo una de las disciplinas más desconocidas en nuestro tiempo. En ello acompaña a la propia Ingeniería del viejo Imperio, ciencia en la que se ignora tal vez más de lo que se sabe y en la que quedan por descubrir aspectos fundamentales. Estas incógnitas pueden y deben afrontarse a partir del propio análisis de las obras de ingeniería romana y, en esta labor, tendrán que intervenir los profesionales y técnicos que posean los conocimientos y formación adecuada para desentrañarlas.



Eclímetro especial para construcciones subterráneas indicando el valor de la pendiente. Va suspendido del cable fijado siempre en la línea de la clave de la galería que es la guía básica para el replanteo subterráneo.

Es necesario partir de la base de que no es posible la realización de muchas de estas obras con métodos rudimentarios o sin conocimientos bastantes en ingeniería hidráulica, o de caminos según el caso. Que estas obras no son viables sin la aplicación a gran escala de una avanzada ciencia topográfica, que es también necesario estudiar la planificación, la metodología técnica empleada de forma aceptable y razonable, los procedimientos y rendimientos mínimos en la ejecución y en definitiva cualquier otro factor técnico que condicione la obra.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAM, J. P. 1989, ed. esp. 2002: *La Construcción romana. Materiales y técnicas*.
- ATHANASIOS KIRCHER. 1631: *Pantometrum Kircherianum*
- CHOISY, A. 1899: *Histoire de l'architecture*. Diverses rééditions, par exemple Vincent Fréal et Cie 1964.
- CLEOMEDES: *De motu circulari corporum coelestium*. Siglo I d. C.
- COLUMELA. *De re rustica* 5, 1.
- COZZO, G. 1928: *Ingegneria Romana*, Mantegazza di Paolo Cremonese, Rome
- DELLA CORTE, M. 1922. *Groma*. Monumenti antichi della reale Accademia dei Lincei, 28.
- DOMÍNGUEZ GARCÍA-TEJERO, F. 1958, p 68: *Topografía General y Agrícola*. Salvat Editores. Madrid.
- ESTEBAN PIÑERO, M. 2003. Las Academias Técnicas en la España del siglo XVI. Quaderns d'Història de l'Enginyeria Volum V 2002-2003
- FAVORY, F. 1997: *Via Domitia el limitatiòn romaines en Languedoc oriental: la centuriation. Sextantio-Ambrussum*. Voies romaines du Rhone à l'Ebre: Via Domitia et Via Augusta.
- FERNÁNDEZ DE MEDRANO, S. 1700: *El architecto perfecto en el arte militar*. Bruselas.
- FISCHER, I. 1975: *Another look at Eratosthenes' and Posidonius' Determinations of the Earth's Circumference*. Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, vol. 16.
- FRONTINO. *De limitibus*.
- GARCÍA TAPIA, N. 1997: *Los veintidós libros de los ingenios y máquinas de Juanelo atribuidos a Pedro Juan de Lastanosa*. Gobierno de Aragón, Zaragoza.
- GREWE, K. 1985: *Planung und Trassierung Römischer Wasserleitungen dans Schrifftenreihe der Frontinus-Gesellschaft*. Supplémentband I. Wiesbaden.
- HEIBERG, J. L. 1912: *Heronis Alexandrini Opera quae supersunt omnia* (Leipzig).
- HERON. *Autómatas*.
- HERON. *Sobre la Dioptra*.
- HIGINIO GROMATICO. *De limitibus constituendi*.
- KRETZSCHMER, F. 1966: *La technique romaine*. Documents graphiques réunis et commentés, Bruxelles.
- LARNAC, C. 2000: *Les limites du système «œil-chorobate» pour l'implantation de l'aqueduc de Nîmes*. Autour de la Dioptra d'Héron d'Alexandrie. Centre Jean-Palme. Université de Saint-Étienne.
- LEWIS, M. J. T. 2001.: *Surveying Instruments of Greece and Rome*. Cambridge University.
- MARCHAND, G., PETITOT, H. Y VIDAL, L. 2000: *L'équerre d'arpenteur de l'Orme à Ennemain (Somme)*. Autour de la Dioptra d'Héron d'Alexandrie. Centre Jean-Palme. Université de Saint-Étienne.
- MARTIN, Jean [Traducteur] et GOUJON, Jean [Dessinateur]. 1547: *Architecture ou Art de bien bastir, de Marc Vitruve Pollion auteur romain antique, mis de latin en Francoys, par lan Martin Secretaire de Monseigneur le Cardinal de Lenoncourt*. Création / Publication Paris : pour la veuve et les héritiers de Jean Barbé et pour Jacques Gazeau.
- MORENO GALLO, I. 2004: *Vías Romanas. Ingeniería y técnica constructiva*. Ministerio de Fomento. Madrid.
- NEUGEBAUER. 1938: *Ubre eine Methode zur Distanzbestimmung Alexandria-Rom bei Heron*. Copenhagen.
- PÁEZ CANO, R. 2003: *La esfera. La tierra plana medieval como invención del siglo XIX*. Tesis de Maestría en Comunicación, ITESO. Guadalajara, México. 150 pág. Rubén Páez Kano, es investigador del Instituto Tecnológico y de Estudios superiores de Occidente (ITESO), en Méjico.
- PERRAULT, Claude (traducteur) 1675: *VITRUIVE. Les dix livres de l'architecture*. Diverses rééditions, par exemple Les Libraires Associés, Paris 1965.
- POMODORO, G. 1603: *Geometria prattica*. Geometria prattica dichiarata da Giouanni Scala sopra le tauole dell'ecc.te mathematico Giouanni Pomodoro tratte d'Euclide et altri authori: opera per generali da guerra, capitani, architetti, bombardieri e ingegneri cosmografi, non che per ordinarii professori di misure. - Nouamente ristampato. - In Roma: appresso Giouanni Martinelli, 1603
- RESINA SOLA, P. 1990. *Función y técnica de la agrimensura en Roma (II). Instrumental técnico y sistema de medidas agrarias*. Topografía y Cartografía. Colegio de Ingenieros Técnicos en Topografía.
- RESINA SOLA, P. 1998: *Algunas precisiones sobre los campamentos romanos*. Florentia Liberritana. Revista de estudios de Antigüedad Clásica.
- RESINA SOLA, P. 2003: *El Agrimensor en Roma*. En Grecia y Roma: Sus gentes y sus cosas. GARCÍA GONZÁLEZ, J. M., POCIÑA PÉREZ, A. Granada. 2003.
- SCHÖNE, H. 1903: *Hérons von Alexandria Vermessungslehre und Dioptra*. Leipzig.
- SCHOTTO, Gaspare. 1690: *Pantometrum Kircherianum, hoc est instrumentum Geometricum novum a Celeberrimo viro P. Athanasio Kirchero*. Herbipoli, 1690.
- STERPOS, D. 1970: *La Strada Romana in Italia*.
- URREA, Miguel de (traductor). 1582: *Marco Vitruvio Pollión, De Architectura*. Alcalá de Henares: Juan Gracián, 1582.
- VINCENT, M. 1858: *Geodesic de Heron de Byzance*. Notices et extraits des manuscrits de la Bibliotheque Imperiale, XIX 2. Paris.
- VITRUVIO POLIÓN, Marco. 1787. *Los diez libros de Architectura*. En Madrid: En la Imprenta Real, 1787. ■

Leica SmartPole

Medición sin paradas con estacionamiento al vuelo



Modo convencional: su levantamiento topográfico debe iniciarse con el estacionamiento. Ya no, gracias al Leica SmartPole.

Imagínese llegar al campo y directamente empezar a trabajar con la máxima productividad. Con el SmartPole no precisa puntos de control. Gracias a las características únicas GPS/TPS del SmartPole, cada punto puede usarse como control independientemente del orden de medición, así el estacionamiento se produce al vuelo. Nuestra única base de datos recompone automáticamente los puntos medidos una vez que el procedimiento se ha completado. Ahora, así es un estacionamiento Smart.



El Leica SmartPole tiene otra característica irresistible: conmutación instantánea entre GPS y TPS. Esta es una gran ventaja porque cuando está midiendo es posible encontrar situaciones donde usted puede ver el cielo o la estación total pero no ambos. Con el SmartPole usted simplemente cambia de global a terrestre sin perder un detalle.

El SmartPole es extremadamente ligero de peso y complementa el Sistema Leica 1200 con numerosos beneficios adicionales. Descúbralos ahora.

Leica Geosystems, s.l.
Nicaragua, 46, 2ª 4ª
E-08029 Barcelona
Tlf.: (+34) 93 494 94 40
Fax: (+34) 93 494 94 42
www.leica-geosystems.com

- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

¿Por qué copiar un Sistema de Información Territorial de un país desarrollado no funciona en un país en vías de desarrollo?

Nhu Trung Tran
TECOS (VIETNAM)

Don Grant
UNIVERSIDAD DE MELBOURNE (AUSTRALIA)

Resumen

La FIG y otras organizaciones internacionales han demostrado que un sistema de administración territorial y su herramienta de soporte, el Sistema de Información Territorial, desempeñan un papel clave en el desarrollo socio-económico sostenible de un país. Esto es debido a que la tierra, uno de los principales objetos del sistema, continúa siendo escasa y, en consecuencia, muy valiosa.

Los sistemas de administración territorial y los sistemas de información territorial están muy bien establecidos en muchos de los países desarrollados, incluidos Holanda, Alemania, Canadá y Suecia. Han sido muchos los donantes y las organizaciones financieras que han apoyado a los países en vías de desarrollo en la construcción de sistemas de este tipo. Los países en vías de desarrollo también están deseosos de disponer de este tipo de sistemas. Existen proyectos para establecer e implementar sistemas de información territorial, que a menudo copian los sistemas de los países desarrollados.

Los autores de este artículo han tenido en cuenta algunos de los aspectos de las estructuras institucionales, de las condiciones legales y de las demandas de los usuarios hacia un sistema de información territorial, desde el punto de vista de su implantación en Vietnam. Piensan que las características distintivas de este país han hecho que fracasaran las copias, que se identifican según sigue:

Los Sistemas de Información Territorial en Vietnam requieren de una infraestructura de datos espaciales con múltiples facetas (temas y resoluciones), que es muy diferente de la de un sistema basado en parcelas (resolución única), como sucede en los sistemas de información territorial de muchos de los países desarrollados. La Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) permite la captura, mantenimiento y empleo de los datos de muy diferentes temas y para distintos niveles de gestión: nacional, provincial, de distrito o de comuna.

Los Sistemas de Información Territorial en Vietnam no sólo son una herramienta para el registro de territorio y el mercado de las propiedades inmobiliarias, sino que también son un sistema para monitorizar las políticas territoriales, de modo que el próximo reajuste y las próximas modificaciones alcancen las metas sociales de reducir la pobreza, proteger el medio ambiente y conseguir que el desarrollo socio-económico sea sostenible.

Un país en vías de desarrollo, debido a sus estructuras institucionales y a la interacción de las mismas con las estructuras sociales, tiene una mayor necesidad de obtener una visión más completa del panorama territorial, con todas sus implicaciones socio-económicas. El Sistema de Información Territorial adecuado para un país en vías de desarrollo debe ser capaz de ofrecer una sólida base para la planificación económica y medioambiental. Ciertamente, ésta es la teoría de los países desarrollados, pero existe escasa evidencia de que lo sea en la práctica. En consecuencia, los países en vías de desarrollo requieren una metodología de Sistemas de Información Territorial más compleja que los Sistemas de Información Territorial de uso más sencillo de muchos de los países desarrollados.

Abstract

FIG and other international organizations have demonstrated that a land administration system (LA) and its supporting tool—Land Information System (LIS)—play a key role in sustainable socio-economic development of a country. This is because land, one of the major objects of the system, continues to be scarce and therefore more valuable.

LA and LIS are very well established in many developed countries including the Netherlands, Australia, Germany, Canada and Sweden. Many donors and funding organizations have supported developing countries to build such systems. Developing countries are also eager to have such systems. Projects, to implement and establish LIS, have often replicated systems from developed countries.

The authors of this paper have considered some aspects of the institutional arrangements, legal conditions and user demands of a LIS as they relate to Vietnam. They believe that the distinctive characteristics of this developing country, which create the failure of copying, are identified as:

LIS in Vietnam requires a multi-faceted (theme and resolution) spatial data infrastructure, which is different from a parcel based system (single-resolution) of LIS in many developed countries. The spatial data infrastructure allows for capture, maintenance and use of data for different themes for different management levels of nation, province, district and commune.

LIS in Vietnam is not only a tool for land registration and the land market but also a land policy monitoring system for the next re-adjustment and modification to achieve the societal goals of poverty reduction, environmental protection and sustainable socioeconomic development.

A developing country, due to its institutional arrangements and the interplay with a range of social structures, has a greater need to gain a holistic view of the landscape with its economic and social implications. The LIS suitable for developing countries must be capable of providing a sound base for economic and environmental planning. This is certainly the theory in developed countries but there is little evidence that it is so in practice. Accordingly developing countries may require a more complex approach to an LIS than the relatively simple use of the LIS in many developed countries.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Generalidades

La FIG y otras organizaciones internacionales han demostrado que un sistema de administración territorial y su herramienta de soporte, el Sistema de Información Territorial (SIT), desempeñan un papel clave en el desarrollo socio-económico sostenible de un país¹. Esto es debido a que la tierra, uno de los principales objetos del sistema, continúa siendo escasa y, en consecuencia, muy valiosa.

Los sistemas de administración territorial y los SIT están muy bien establecidos en muchos de los países desarrollados, incluidos Holanda, Alemania, Canadá y Suecia. Han sido muchos los donantes y las organizaciones financieras que han apoyado a los países en vías de desarrollo en la construcción de sistemas de este tipo. Los países en vías de desarrollo también están deseosos de disponer de este tipo de sistemas. Existen proyectos para establecer e implementar SIT, que a menudo copian los de los países desarrollados. Sin embargo, los datos estadísticos y la práctica muestran que el número de éxitos alcanzados de esta forma es muy limitado, tal vez con las excepciones de Malasia y Tailandia². Hasta el momento, Vietnam no ha demostrado estar adecuadamente posicionado para adoptar el estilo de SIT de un país desarrollado. Por tanto, el artículo va a intentar demostrar por qué copiar un SIT de un país desarrollado no suele funcionar en un país en vías de desarrollo.

Antes de entrar en una discusión más detallada, consideraremos que un sistema de administración territorial es un procedimiento para determinar, registrar y diseminar la información acerca de la tenencia, valor y uso del suelo a la hora de implementar unas políticas de gestión y planificación territorial (UNECE, 1996). El Sistema de Información Territorial

(SIT), tal y como fue definido por la FIG, es una herramienta para la toma de decisiones legales, administrativas y económicas, y una ayuda para la planificación del desarrollo. Por un lado, consta de una base de datos que contiene datos territoriales de un área definida, referenciados espacialmente, y por otro, de los procedimientos y técnicas para la recogida sistemática, el procesamiento y la distribución de los datos. De forma breve, consideraremos que el SIT es una herramienta para la implantación de un sistema de administración territorial y, en la práctica, para ofrecer la oportunidad de una planificación estratégica seria del desarrollo nacional.

I.2. Esquema del artículo

Muchos investigadores han aportado respuestas a la cuestión de por qué copiar el SIT de un país desarrollado no funciona en un país en vías de desarrollo. Los investigadores, y aquellos que toman las decisiones, han reconocido las diferencias entre los SIT, los Sistemas de Administración Territorial y los Sistema Catastrales de un país desarrollado y los de un país en vías de desarrollo. Por ejemplo, en los primeros balbuceos del desarrollo de la tecnología de la información, los escolares han empleado la expresión de "que sea adecuado" cuando se discutían los SIT para los países en vías de desarrollo (Jeyanandan, Williamson y Hunter, 1990). Recientemente, al discutir los sistemas "adecuados" para los países africanos (Fourie y al., 2000), se han identificado dos requisitos clave para los SIT de los países en vías de desarrollo:

- Necesidad de poder extenderse a los más pobres
- Necesidad de acomodar una amplia gama de identificadores (no sólo parcelas).

Sin embargo, estos investigadores tienden a explicar la falta de éxito al copiar los sistemas de los países desarrollados, mediante razones que incluyen las políticas territoriales poco claras, la pobreza de los marcos legales, la falta de recursos humanos y la impaciencia o entusiasmo en copiar cualquier sistema. Estas conclusiones se encuentran enseguida al final de cualquier estudio de investigación o informe de implementación de

¹ La declaración de Bathurst afirmaba que el desarrollo sostenible sin una administración territorial eficaz es simplemente retórico y no se conseguirá.

² Sin embargo, en estos dos países las condiciones que prevalecían en el momento de la implantación del SIT occidental eran muy diferentes de las que generalmente se encontraban en el resto de Asia.

proyectos de SIT (Williamson, 1994; Helge, 2003; Milka, 2003). Por ejemplo, Milka cita que para alcanzar el éxito con un Sistema de Administración Territorial, se requiere una buena "gobernación (políticas claras, organización adecuada, falta de corrupción), recursos adecuados, una metodología culturalmente sensible, equidad, etc. De no ser así, se debe aspirar a unas metas menos ambiciosas y sencillamente, preparar una política territorial, crear una organización sencilla y unificada de administración territorial, reconocer y apoyar a las estructuras tradicionales de la propiedad y tender hacia, y mejorar gradualmente, un registro justo de títulos de propiedad ..."

En contraste, los autores de este artículo consideran que la pobreza de los marcos legales, las organizaciones inadecuadas, los diferentes requisitos técnicos y los sistemas burocráticos, son características intrínsecas (y que es poco probable que cambien en un futuro próximo) de un país en vías de desarrollo. Por supuesto, pensamos que estas características existentes deben adaptarse y revisarse, pero tardará cierto tiempo en establecerse un marco legal y las condiciones que imperan hoy día en el Oeste³. Así pues, creemos que un SIT debe diseñarse para ser operativo y desarrollarse en un entorno dinámico, en lugar de lo que algunos designarían como un entorno bien desarrollado y relativamente estable. Sin duda, no cabe duda a los autores de que existe una diferente metodología intelectual de planificación, tanto a nivel estratégico como táctico, entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo, con el énfasis situado, en los países en vías de desarrollo, en una planificación oportuna e incremental, lo que ocasiona un extenso periodo de planificación estratégica y un corto intervalo de tiempo entre la planificación táctica y la implementación operativa. De ahí que, en muchos de los países en vías de desarrollo, y sin duda en Vietnam, sea más adecuado un entorno dinámico.

Para reforzar sus hipótesis, los autores describirán brevemente (en las secciones 2 y 3) algunos de los aspectos más relevantes de los SIT, tanto para los países desarrollados como para los países en vías de desarrollo. Luego, en la sección 4, considerarán las diferencias en el marco legal, en la aplicación del área de las actividades y en los requisitos técnicos de los SIT en los países en vías de desarrollo. En la sección 5 se ofrecerán algunas conclusiones.

En conjunto, parece necesario que los revisores nacionales efectúen de forma adecuada más investigación a nivel local, para lograr, mediante una intervención apropiada, la adopción de un SIT dentro de las estructuras institucionales ya establecidas, y en evolución, de Vietnam.

³ Uno debería cuestionarse seriamente la evidencia de que culturas muy bien establecidas, como la vietnamita, jamás adopten completamente las estructuras y tendencias del Oeste. El contenido de un SIT, su enfoque y sus disposiciones institucionales deben ciertamente estar de acuerdo con la historia y la cultura del país en cuestión, y no adaptar sistemas (algunos relativamente noveles) que sean ajenos a la esencia del país.

I. LA ADMINISTRACIÓN TERRITORIAL Y LOS SIT EN UN PAÍS DESARROLLADO: EL CASO AUSTRALIANO

I.1. La Política Territorial y otras estrategias relevantes del desarrollo socio-económico

La situación de los SIT en Australia, desde la colonización europea de finales del siglo XVIII, se fragmentó, debido a la creación inicial de colonias individuales, que más tarde se convertirían en los Estados de una Federación, establecida en 1901. En este aspecto, la gran diferencia entre Australia y Vietnam es la falta de un control directo por parte del Gobierno Federal sobre los SIT, o lo que es lo mismo, sobre la propiedad o los derechos sobre los terrenos que no estuviesen expresamente dedicados o fuesen adquiridos para uso de la Commonwealth.

De acuerdo con esto, los aspectos catastrales son responsabilidad de todos los Estados, y hasta muy recientemente la cartografía de los Estados y cualesquiera otras medidas de cooperación, que eran tomadas para evitar la duplicación de algunos trabajos, como los vuelos fotogramétricos cerca de las fronteras, eran realizadas a través de acuerdos voluntarios entre los Estados y la organización relevante dentro del Gobierno de la Commonwealth.

Sin embargo, existen determinados acuerdos y tratados internacionales en los que el Gobierno Federal ha intervenido, y que son vinculantes para los Estados, en lo referente al territorio y a los usos del suelo. Otras organizaciones intergubernamentales, tales como la Comisión del Río Murray, la Agencia de la Gran Barrera de Coral y los Tribunales de Australia, también disfrutaban de un gran peso sobre las políticas y las decisiones relacionadas con el medio ambiente, con el uso de los grandes sistemas hidrográficos australianos, con las aguas costeras e internacionales adyacentes a Australia, con las políticas forestales y con las tierras de los aborígenes. El Gobierno Federal también ha tomado medidas para proteger el medio ambiente, mediante tratados internacionales, acuerdos con los Estados y mediante una financiación directa que alivie o prevenga los grandes problemas, tales como la destrucción de los bosques o la polución de las vías acuáticas; además, ofrece iniciativas de empleos alternativos para salvaguardar el medio ambiente.

I.2. Estructura institucional

Las disposiciones institucionales en los Estados que son responsables de los Sistemas de Administración Territorial en Australia han sido específicas para cada Estado. Las diversas responsabilidades burocráticas se localizaban inicialmente en actividades gubernamentales usuales, tales como la cartografía y la topografía, el registro territorial, la agricultura y la construcción de vías de transporte. El haber tenido en los Estados unos antecedentes comunes, ha llevado a una legislación y a unas prácticas relacionadas con el territorio (de demarcación, concentración y procedimientos de mercados de bienes inmuebles) semejantes en todo el país. La legislación territorial inicial se basó en la Legislación Británica,

pero en 1859 sobrevinieron grandes cambios, con la adopción de lo que fue conocido como el Sistema Torrens. Se consideró que era más adecuado para un país emergente, y las características del sistema fueron ampliamente adoptadas en la región y también en otros lugares. Los SIT surgieron en los años sesenta y existió poca coordinación en el gobierno acerca de la dirección a seguir y los sistemas a adoptar. Sencillamente, cada agencia adoptó un SIT como una forma de mejorar su funcionamiento. Las agencias topográficas intentaron introducir normas y procedimientos, pero esto, hasta muy recientemente, no fue considerado esencial. Durante los veinte últimos años se han experimentado notables avances, tanto en las administraciones públicas como en el sector privado, con la finalidad de racionalizar la adquisición y el mantenimiento de los SIT. También ha habido grandes iniciativas para contratar este trabajo en el sector privado.

Recientemente, dentro de la administración pública, ha existido la tendencia a fusionar agencias de naturaleza similar. Esto se ha aplicado a integrar agencias de medio ambiente o de administración territorial, según las líneas adoptadas en Vietnam y en las regiones próximas. Simultáneamente, ha existido un intento de coordinar y maximizar los recursos de los SIT en cada Estado de Australia y también a nivel de la Commonwealth. La mayoría de los Estados habían, sin duda hasta hace muy poco, centralizado las operaciones de registro territorial, en tanto que se descentralizaba la cartografía, la topografía, la concentración parcelaria y la valoración de terrenos.

1.3. Tendencias de los SIT y su prioridad en los planes de desarrollo

Desde un punto de vista catastral, el sistema de información territorial se desarrolló a partir de la cartografía catastral disponible, digitizando los productos cartográficos. A este proceso se le aplicaba un cierto grado de control gráfico y de control sobre el terreno y cada Estado establecía una base de datos catastral digital (BDCCD) empleando las mejores fuentes cartográficas disponibles. A la vez, se realizaron labores de cooperación para planificar una mejora y un nuevo diseño de estas bases de datos digitales iniciales. Las bases de datos catastrales han sido agregadas entre sí por las Public Sector Mapping Agencies de Australia (PSMA), que se creó a partir de todas las agencias cartográficas jurisdiccionales de Australia, dando lugar a un producto catastral nacional. Este PSMA ha confeccionado cooperativamente otros diversos conjuntos de datos nacionales, tales como el del sistema de vías de comunicación y un archivo nacional geocodificado con las direcciones postales de cada parcela. Estas iniciativas han generado un conjunto de datos espaciales de ámbito nacional para la administración pública y para el sector privado, suministrando el acceso y valor añadido al mismo. Ha servido de base para otros temas de medio ambiente, así como para su uso comercial.

2. EL SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN TERRITORIAL Y EL SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL EN UN PAÍS EN VÍAS DE DESARROLLO: EL CASO DE VIETNAM

2.1. La Política Territorial y el marco de trabajo legal para las transacciones de terrenos están en evolución

En Vietnam fue promulgada la primera legislación territorial por la Asamblea Nacional en el año 1987. Sin embargo, no fue hasta la legislación territorial de 1993 cuando Vietnam reconoció los siguientes cinco derechos: Intercambiar, transferir, arrendar, heredar e hipotecar las tierras y sus derechos individuales. Esta política ha acarreado notables resultados:

- Vietnam ha pasado de ser, en 1986, un importador de alimentos a ser el segundo país exportador de arroz del mundo.
- Vietnam ha pasado de tener, en 1993, un 58% de la población viviendo en la pobreza a un 37% en el año 1998 y un 29% en el año 2002 (World Bank, 2004).

Estos respetables y notables resultados no significan que el marco de trabajo legal de Vietnam cumpla en su totalidad los requisitos de la sociedad existente en la actualidad. El marco legal que trata los temas territoriales está en transición y deberá refinarse de año en año y paso a paso⁴, con el fin de atender a los imperativos.

Se trata de un desarrollo progresivo⁵ y debe ser, por naturaleza, cauto. La legislación territorial ha sido modificada y adaptada a las necesidades sociales en múltiples ocasiones (en los años 1998, 2001 y 2003), y es probable que se adopte una nueva. En cada versión han existido los correspondientes decretos, circulares y decisiones, publicadas bajo la forma de directrices de la implementación de la legislación territorial, que a la larga se plasmarán en un Código Territorial. Hasta ahora, ha habido cinco decretos en apoyo de la Legislación Territorial del año 2003. Sin embargo, se cree que el número de estas guías para la implementación de la legislación territorial se verá incrementado en el futuro. Por ejemplo, el concepto de derecho de propiedad aplicado a los usos del suelo, descritos en la legislación territorial del año 1993, ha sido modificado en las subsecuentes versiones de los años 1998 y 2003, y, a nivel local, aun están siendo implantados. Esto se modificará o enmendará de nuevo en la próxima versión de la legislación territorial del año 2008.

⁴ El frecuente uso de la expresión "paso a paso" cuando se discute cualquier tipo de progreso en Vietnam, refleja una metodología evolucionaria y la conciencia de que el cambio debe de ser gradual, controlado y responsable.

⁵ Los procesos democráticos han sido introducidos a lo largo de cientos de años en los países occidentales, según el curso "natural" de los eventos, pero en el caso de Singapur, Malasia, Corea del Sur y Taiwán han tenido que serlo en escasas décadas. Estas rápidas transiciones han traído un crecimiento económico, pero a costa de una notable disrupción y tensión social.

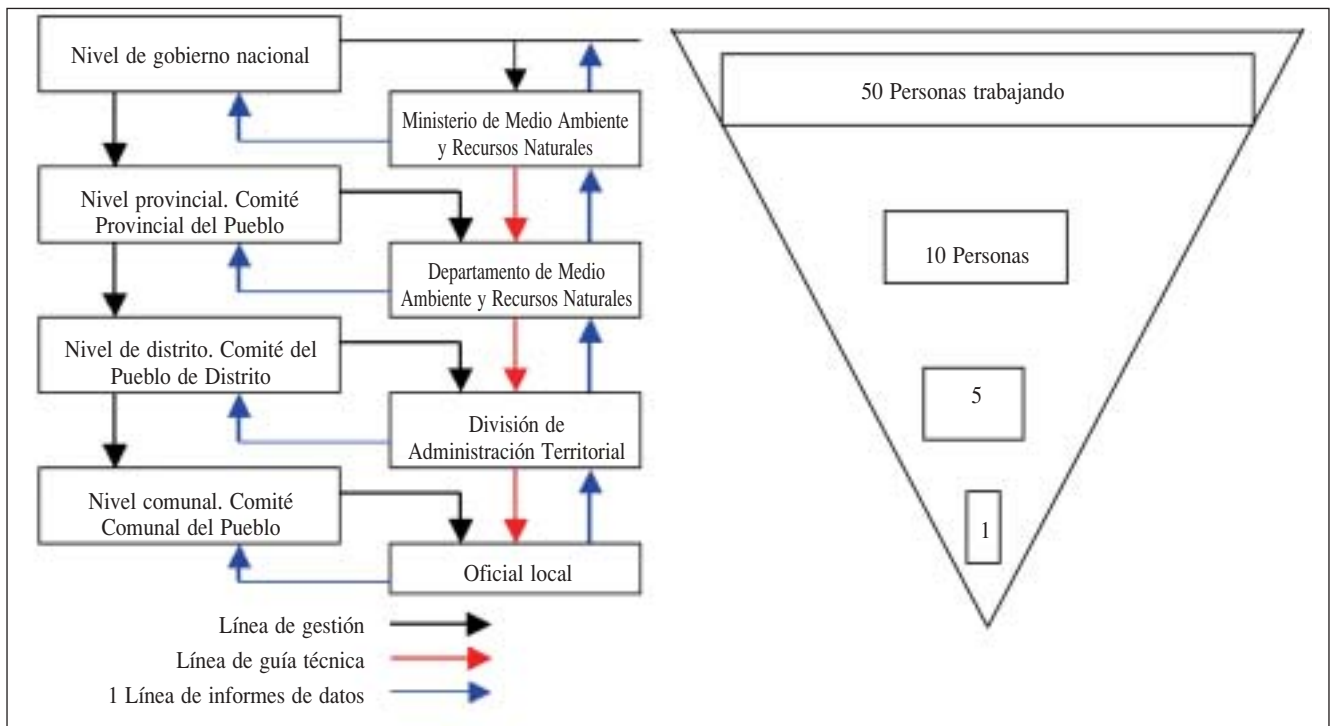


Figura 1: El esquema jerárquico del Sistema de Administración Territorial de Vietnam y el número de personas que trabajan en cada nivel del sistema.

Para acompasar estos cambios y modificaciones, Vietnam necesita más tiempo para experimentar y adquirir experiencia práctica con estos conceptos nuevos, con el fin de evaluar su efectividad. Esto es, a lo largo de la historia, una parte indispensable de los desarrollos.

2.2. Estructura institucional y organizativa

En Vietnam, el sistema de administración territorial se organiza a través de una estructura jerárquica, con cuatro niveles de gestión administrativa.

La figura 1 describe esta estructura mediante los dos diagramas de flujo de la izquierda. El primer diagrama de flujo de la izquierda es el del gobierno a nivel nacional y subsecuentemente los Comités del Pueblo para cada uno de los niveles provinciales, de distrito y comunales. En el lado de la derecha, la estructura administrativa comienza en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y luego prosigue hacia el nivel local a través de departamentos, divisiones y oficiales locales. En este sistema, el lado izquierdo actúa como el tomador de decisiones y el derecho como soporte técnico. De acuerdo con la Legislación Territorial, cada nivel tiene diferentes mandatos, deberes y responsabilidades a la hora de abordar el Sistema de Administración Territorial (Legislación Territorial del año 2003)

El triángulo de la derecha de la figura 1 muestra una estimación del personal que trabaja dentro del Sistema de Administración Territorial, en la planificación de los usos del suelo, en el registro territorial y en las estadísticas de los usos del suelo. El número aproximado de personas que

trabajan en cada nivel es de 50 a nivel nacional, 5 a nivel de distrito y 1 a nivel comunal.

2.3. El SIT de Vietnam

Tanto el concepto de SIT, como el de registro territorial, no son nuevos en Vietnam, desde la primera introducción, en 1993, de los cinco derechos del uso de la tierra. En consecuencia, la demanda de un sistema automático (un SIT) y la presión de tener que utilizar tecnologías de la información, tales como los SIG y la cartografía digital, crearon en Vietnam una fuerte presencia de los SIT. El gobierno de Vietnam ha gastado una considerable cantidad de esfuerzos y dinero para el establecimiento de SIT, tanto de ámbito nacional como provincial. Existen, por ejemplo, funcionando varias aplicaciones de SIT que han sido desarrolladas por agencias del gobierno bajo presupuesto gubernamental, tales como Famis CaDB (para la cartografía automática y el registro territorial), del año 1997, y CLIS y ViLIS, del año 2003.

Además, con una metodología más sistemática, el Programa Sueco-Vietnamita para la Reforma de la Administración Territorial (CPLAR), financiado por la Agencia Internacional Sueca para el Desarrollo, ha apoyado un programa muy completo sobre la administración territorial. Este programa incluía como componente un SIT, que se inició en 1997 y concluyó en el año 2000. El PLIS, un producto del programa del SIT, se diseñó y probó en cuatro provincias piloto: Thai Nguyen, Ha Nam, Dong Nai y Soc Trang (CPLAR, 2000). El programa de Refuerzo de la Gestión del Medio Ambiente y Administración Territorial (SEMLA), financiado también por la Agencia Internacional Sueca para el Desarrollo e iniciado

NUEVA VERSIÓN DE NUESTRA
ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL

Digi3D

CARGA GRANDES MODELOS SIN CONSUMIR
MEMORIA. VISUALIZACIÓN MÁS NÍTIDA.
SOPORTA ADS40, KONOS, DGN,
DWG.

NUEVO MÓDULO DE MDTOP PARA TRAZADO DE VIALES.

REALICE FÁCILMENTE TRAZADOS,
ALZADOS, PERFILES LONGITUDINALES
Y TRANSVERSALES, CUBICACIONES...

digi

- **Digi3D**
Estación de fotogrametría digital
- **TopCal21**
Cálculos topográficos
- **MDTop**
Modelos digitales del terreno
- **AeroTri**
Programa de aerotriangulación

digi

Nuevo OrtoBatch

Generación en grupo de ortofotos,
ajustes radiométricos automáticos,
mosaicos y corte por hojas en un
único programa y en sencillos pasos.
Más info en

<http://www.digi21.net/ob/>

PLAN RENOVE

CAMBIA CUALQUIER TOPCAL
DE MS-DOS, CON O SIN
LLAVE, POR EL NUEVO
TOPCAL21 PARA WINDOWS,
LLENO DE NOVEDADES,
POR SÓLO 600 €

www.digi21.net

902 21 51 21

Ctra. Canillas 138
2º planta, oficina 16 C
28043 Madrid.

en noviembre del 2004, extenderá una metodología global de Sistemas de Administración Territorial y ampliará específicamente el desarrollo de los sistemas medioambientales y de información territorial.

3. DISCUSIÓN

Respuesta a la pregunta: ¿Por qué el copiar un sistema de información territorial de un país desarrollado no funciona en un país en vías de desarrollo?

3.1. Razón 1: Diferentes marcos de trabajo legales y distintos tipos de instituciones

En Vietnam, los SIT han de desarrollarse y operar dentro de unos marcos de trabajo legales y de unos tipos de instituciones que están experimentando continuos cambios, según tratan de adaptarse a las demandas de la sociedad. Todas las decisiones y documentos legales necesitan de un cierto periodo de adaptación, para ajustarse, madurar y combinarse con la autentica realidad de la vida práctica. En múltiples instancias, algunos procedimientos o directrices no se implementan a nivel local, incluso aunque sean efectuados de forma manual. Por ejemplo, una decisión especificaba que todos los documentos catastrales se archivaran con cuatro copias en cada uno de los cuatro niveles administrativos. Esto fracasó desde el mismo momento de su aprobación. Por otro lado, el SIT es un sistema informático y sólo puede funcionar armoniosamente si los procedimientos y pasos para efectuar cada tarea están claramente definidos. Este no es a menudo el caso y, en consecuencia, surgen prácticas inconsistentes que llevan un tiempo en ser evaluadas y monitorizadas. Los plazos y los rendimientos pueden no cumplirse debido a la realidad del entorno físico, como, por ejemplo, un fallo del abastecimiento de agua o la ausencia de comunicaciones electrónicas.

El SIT debe funcionar con muchos clientes de la administración. La figura 1 muestra cómo el SIT de Vietnam debe tratar simultáneamente con ocho clientes en los cuatro niveles del sistema. En el futuro, el entorno institucional se verá refinado una y otra vez. Sin embargo, el SIT no debe esperar a que se haya alcanzado esta situación perfecta para comenzar a suministrar información territorial al usuario final.

Los recursos humanos son limitados en el ámbito local (véase la base del triángulo de la figura 1). Existe un número significativo de oficiales trabajando en el ámbito nacional y provincial, pero este número es bastante limitado en los ámbitos de distrito y comuna. En la práctica, los ámbitos nacionales y provinciales requieren de mucha información general sobre el territorio, que obviamente sólo se encuentra disponible en los ámbitos de distrito y comuna. En resumen, el SIT en un país en vías de desarrollo debe funcionar en un entorno flotante, con un marco de trabajo legal en evolución y unos entornos institucionales inadecuados y variables.

3.2. Razón 2: Distintos ámbitos y áreas de actividad del SIT

El área geográfica de la actividad de un SIT en un país en vías de desarrollo es diferente de la de un país desarrollado. Desde el comienzo de su implantación, el SIT ha cubierto en Vietnam todo tipo de áreas geográficas, en las que varían mucho las condiciones socioeconómicas, culturales y geográficas. En las etapas iniciales de la implementación del proyecto, a menudo se sugería que el SIT debería concentrarse más, en las zonas urbanas y rurales⁶, en las actividades de los mercados inmobiliarios (Helge, Onsrud, 2003). Sin embargo, el SIT y el Sistema de Administración Territorial en Vietnam deben, en primer lugar, servir a las estrategias de reducción de la pobreza, que se extenderán a través de áreas urbanas y rurales, así como en las zonas remotas y montañosas. (Interministerial Poverty Mapping Task Force, 2003). Esto se debe a que, hasta el año 2010, la reducción de la pobreza es una de las mayores prioridades del plan de desarrollo socioeconómico del gobierno de Vietnam.

Sin embargo, las diferentes condiciones geográficas y el impacto de los distintos usos del suelo crea distintos requisitos en el SIT, aun incluso teniendo muchas partes en común. Vietnam tiene 64 provincias, y normalmente cada provincia requiere alguna atribución especial en sus sistemas⁷. En consecuencia, para atender estos requisitos se han hecho propuestas para el desarrollo de dos versiones simultáneas del SIT: una será la versión estándar (que sirve como SIT nacional para aquellas necesidades comunes y estandarizadas) y otra, que será un Sistema de Información Local Territorial, que atienda los requisitos locales únicos (CPLAR, 2000). Es todavía un tema vigente de debate cuando se trata del desarrollo del SIT en Vietnam.

Es difícil, y a veces imposible, identificar en un SIT de un país en vías de desarrollo las áreas de actividad prioritarias. Existen muchas presiones en conflicto al existir recursos limitados. Se entiende que el SIT es una herramienta para el sistema de administración de dicho territorio, que incluye la planificación de los usos del suelo, la concentración parcelaria, el registro territorial, la valoración de las propiedades territoriales y otras actividades de los mercados inmobiliarios ¿Qué disciplinas o centros de actividad deben ser prioritarios en el SIT? ¿Debería el SIT atender a todas estas disciplinas a la vez? Algunos creen que el SIT debería, en primer lugar, atender al registro territorial, debido a su importante papel en el establecimiento de los derechos de propiedad y en la economía de los mercados inmobiliarios. Sin embargo, en un país en vías de desarrollo el SIT debe, de alguna forma, trabajar para atender las demandas de

⁶ Estas son las áreas en las que se puede cosechar ganancias más rápidamente a través de los impuestos territoriales, las tasas de transacciones y, en general, con las actividades de los mercados inmobiliarios.

⁷ Ha Giang, por ejemplo, tiene una alta prioridad para la polución ocasionada por la fábricas de papel locales, en tanto que Ba Ria vung Tau tiene un gran problema con la polución oleosa de sus vías acuáticas. traído un crecimiento económico, pero a costa de una notable disrupción y tensión social.

algunas otras disciplinas ¿Debe enfocarse hacia los factores del medio ambiente, la educación, la sanidad o el transporte? Es diferente de la situación en los países desarrollados, en los que las áreas de actividad son identificadas y guiadas por la industria, en tanto que las necesidades sociales de la comunidad se ven guiadas por el imperativo político. Esta confusión al seleccionar los objetivos o áreas de actividad de un SIT en un país en vías de desarrollo se exagera por las expectativas exageradas, muchas generadas por las iniciativas de marketing de los países desarrollados, de un SIT de esta índole.

En consecuencia, la función de un SIT en un país en vías de desarrollo es también diferente de la de un país desarrollado. En un país desarrollado el SIT normalmente desempeña un papel clave en el mercado inmobiliario, con todos los aspectos de la seguridad de la propiedad de los terrenos, y su ayuda en las transacciones territoriales. En un país en vías de desarrollo se espera que el SIT ayude a los que toman las decisiones en los múltiples temas del inicio del registro territorial y de la concentración parcelaria⁸. Por ejemplo: el SIT debe ayudar a contestar las siguientes cuestiones:

- Dónde existen terrenos disponibles para realizar una concentración parcelaria, en relación con determinados criterios sobre aquellas pendientes que aseguren una producción agrícola adecuada.
- Cómo realizar una concentración parcelaria con equidad, con respecto a una igualdad de calidad de los terrenos para cada usuario
- Cómo el SIT respalda a los tomadores de decisiones a la hora de ayudar al usuario de los terrenos.

Para concluir, los diferentes ámbitos y las diferentes necesidades de distintas áreas de actividad hacen que el copiar un SIT sea difícil y, a menudo, de dudoso valor.

3.3. Razón 3: Diferentes características técnicas, un sistema con múltiples facetas

El SIT en un país en vías de desarrollo requiere disponer de un sistema que pueda trabajar con muchos tipos de información territorial. Existen muchas razones para este aspecto de que el sistema tenga múltiples facetas. Desde el punto de vista de la información, existen dos motivos:

3.3.1. El SIT de un país en vías de desarrollo requiere muchos tipos de unidades espaciales

La parcela no es la única unidad de un SIT en un país en vías de desarrollo. Se necesitan muchos otros tipos de unidades (Fourie, 2000). Se

necesitan muchos tipos de unidades espaciales para las diferentes organizaciones y los múltiples sistemas (Fourie, Paul y Groot, 2002). Incluso considerando únicamente el registro territorial, Larsson (1996) reconoce el concepto de que, en los países en vías de desarrollo, existen muchos tipos de unidades de registro. Cadastre 2014 ha efectuado unas iniciativas adicionales en este desarrollo de unidades y derechos. Esto es cierto en el caso de Vietnam, ya que además de las parcelas de terreno, el SIT podría capturar una lista adicional de unidades espaciales, incluyendo la *unidad de los planes de usos del suelo*, la *unidad de gestión de los usos del suelo*, la *unidad de los nombres geográficos de los usos del suelo* y las *unidades administrativas*. Aquí sólo describiremos algunas de ellas.

- *Unidad de los planes de los usos del suelo* se define en los planes de los usos del suelo. Un plan de usos del suelo definirá dónde existirá esta unidad en el futuro y que tipo de uso del suelo poseerá. Los límites de esta unidad no existen aun en el mundo real, pero es una condición clave para efectuar otras actividades de los SIT. Por ejemplo, la concentración parcelaria sólo se efectúa basándose en la *unidad de los planes de usos del suelo*. La transformación del uso del suelo de un tipo de uso a otro, tiene que basarse en el actual uso del suelo, que está definido como una *unidad del plan del uso del suelo*. Por ejemplo, pasar del uso del suelo “arrozal” a otro tipo “no agrícola” debe basarse en la *unidad del plan de los usos del suelo*. Si esta unidad del plan del usos del suelo ya está definida en el plan para un uso “no agrícola”, entonces la transferencia de uso es legal (Artículo 31 Ley del Suelo)
- *Unidad de gestión de los usos del suelo*: Se trata de terrenos en los que la finalidad del uso del suelo está definida, pero que los derechos al uso del suelo no han sido aun registrados en el registro territorial, debido a que la parcela no ha sido levantada topográficamente o no ha sido aun tomada una decisión en su concentración parcelaria. Sin embargo, para poder gestionarla bien, la oficina de administración territorial necesita emplear en su sistema su actual situación.
- *Unidad de los nombres geográficos de los usos del suelo*: El nombre geográfico es un tema de toponimia. En este caso se trata de un terreno que normalmente tiene el mismo cultivo tradicional, el mismo tipo de uso del suelo y con idénticas características de cultivo, y que siempre lleva un nombre geográfico. A diferencia con la *unidad de gestión de los usos del suelo*, el nombre geográfico es bien conocido por los habitantes locales, ya que dicho nombre puede haber existido desde hace mucho tiempo en la historia. Sólo por el nombre geográfico se puede, en muchos casos, reconocer el uso del suelo de dichos terrenos. Por ejemplo:
 - Xu dong X: esta área tiene el uso del suelo “agrícola” y el nombre geográfico de X
 - Thon, xom, ap Y: esta área es de uso del suelo “residencial” y posee el nombre geográfico de Y.
 - Khu, tieu khu Z: esta área es de uso del suelo “forestal” y posee el nombre geográfico de Z.
 - La unidad de terrenos que atiende a un nombre geográfico, es también importante para las actividades de la administración territorial.

⁸ Los participantes en los mercados inmobiliarios territoriales de un país en vías de desarrollo generalmente tienen una confianza implícita en los mecanismos que los respaldan, tales como el proceso de registro, los profesionales legales y topográficos y en el sistema bancario. Según esto, apenas existe interés en la actual documentación del título de propiedad, ya que el sistema de hipotecas normalmente asegura que el banco sea el fiador del título. Este no es el caso de los países en vías de desarrollo, donde todavía se debe establecer la confianza, para lo que se necesita ver, tocar y sentir el título de propiedad, que muestra el nombre del usuario de la propiedad y la extensión de dicho derecho de uso.

- *Unidad de usos del suelo de grupos comunales:* La nueva Ley del Suelo del 2003 define que un grupo comunal, o comuna, puede registrar sus terrenos. No se trata en este caso de una parcela con una clara definición de sus límites y un claro propietario, se trata normalmente de los terrenos en los que vive una comuna y donde tienen las mismas reglas, tradiciones y costumbres en el uso de sus tierras. El usuario que figura en el registro será el representante, de esta comunidad.

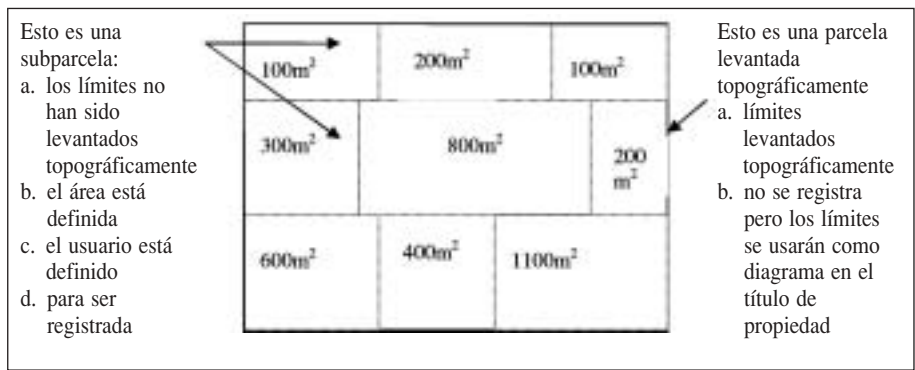


Figura 2: Parcelas y subparcelas en Vietnam

- *Unidad de subparcela:* Esta unidad existe en el registro territorial y en los trabajos topográficos. En la región del norte de Vietnam la fragmentación de los terrenos es considerable y el área de cada parcela es generalmente pequeña. El levantamiento topográfico sólo puede efectuarse en un grupo de parcelas a la vez, en lugar de una a una. Sin embargo, es posible medir el área de cada parcela. Para el título de cada una la oficina territorial usa como parcela el diagrama del grupo de parcelas, como es normal, pero se llama subparcela a cada parcela (sólo acompañada de su área) y se registra su superficie (Trung, 2002). La figura 2 presenta esta compleja situación.

3.3.2. *Los SIT de los países en vías de desarrollo requieren que cada unidad espacial tenga distintas resoluciones espaciales y temáticas*

El SIT de Vietnam debe suministrar información territorial a ocho tipos distintos de clientes y a cuatro niveles de gestión administrativa (figura 1). Estos variados clientes y distintas demandas de los usuarios, ocasionan que la información territorial recogida y gestionada en el SIT tenga distinta calidad, tanto en el aspecto temático como en el espacial. Trung (2004) ha hecho un estudio sobre el tema de las demandas del usuario y obtuvo unos resultados de las diferencias de los datos empleados en cada uno de los niveles administrativos y de las actividades del Sistema de Administración Territorial. Se muestran dos ejemplos de

las distintas resoluciones espaciales requeridas para el Sistema de Administración Territorial y el SIT:

La figura 3 muestra que en el ámbito comunal se precisa la mayor resolución espacial de las unidades de los usos del suelo y que, en el ámbito nacional es más general. La figura 3 muestra la diferencia en la resolución espacial de los datos empleados incluso dentro de una misma unidad administrativa. Existen tres tipos de unidades administrativas en cada nivel: I, II, III. Esta diferencia depende de la extensión geográfica o de las características geográficas de cada unidad administrativa.

Por otro lado, la figura 4 muestra otro ejemplo de cómo las diferentes disciplinas requieren una distinta resolución espacial de los datos de una misma unidad administrativa. Estas resoluciones espaciales del registro territorial y de la concentración parcelaria se presentan en la figura 4 mediante líneas de dos colores, en donde se ve que el registro territorial precisa una mayor resolución espacial que la concentración parcelaria.

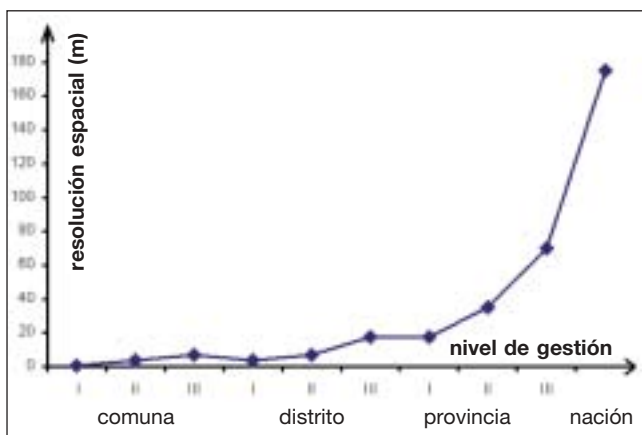


Figura 3: Diferencias en la resolución espacial de la información territorial en cada ámbito administrativo

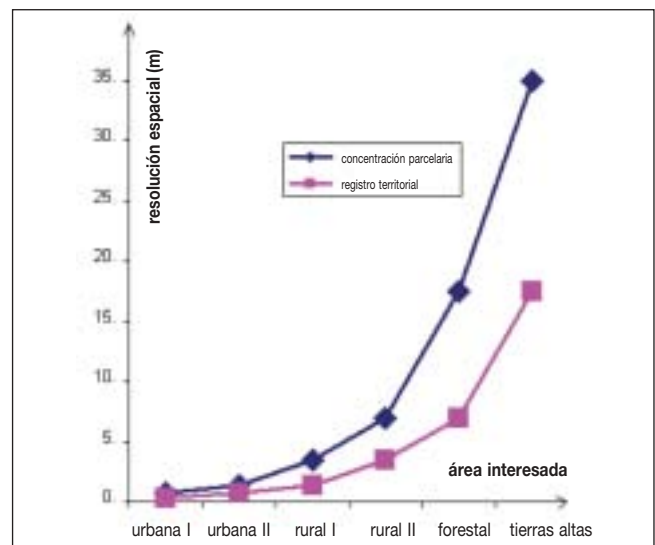


Figura 4: Diferencias en el sistema de administración territorial de Vietnam, y para cada área geográfica, de la resolución espacial de la información territorial, entre la concentración parcelaria y el registro territorial.

Para concluir, desde un punto de vista técnico, el SIT en Vietnam es un sistema con múltiples facetas, que contiene muchos tipos de unidades de gestión espacial y con diferentes resoluciones espaciales y temáticas.

4. CONCLUSIÓN

Es poco probable que tenga éxito copiar los conceptos de un SIT, ya que las demandas del usuario hacia dicho sistema de información son distintas en un país desarrollado y en un país en vías de desarrollo. El SIT necesita ser diseñado dentro de los tipos de instituciones que existan y debe ser capaz de madurar en las cambiantes condiciones de un país en vías de desarrollo.

El SIT depende mucho de múltiples aspectos de la sociedad. Los autores de este artículo han tenido en cuenta, en lo que respecta a Vietnam, algunos aspectos de los tipos de instituciones ya existentes, las condiciones legales y las demandas de los usuarios hacia un SIT. Crean que las características distintivas de este país en vías de desarrollo que originarían los fallos a la hora de copiar el SIT se identifican como sigue:

- El SIT de Vietnam requiere una infraestructura de datos espaciales con múltiples facetas (temas y resoluciones), que lo diferencia de un sistema basado en la parcela (solución única), como sucede en los SIT que existen en muchos países desarrollados. La Infraestructura de Datos Espaciales permite la captura, mantenimiento y uso de los datos de muy diferentes temas y en diferentes ámbitos de gestión, tales como nación, provincia, distrito y comuna.
- El SIT de Vietnam no sólo es una herramienta para el registro territorial y los mercados inmobiliarios, sino que es también un sistema para monitorizar las políticas del suelo frente a los próximos reajuste y modificación necesarios para lograr las metas sociales de reducción de la pobreza, protección del medio ambiente y desarrollo socioeconómico sostenible.

A causa de los tipos de instituciones que posee y a la interacción con una serie de estructuras sociales, un país en vías de desarrollo tiene una mayor necesidad de obtener una visión completa de su territorio, con todas sus implicaciones económicas y sociales. El SIT necesita diseñarse dentro de los tipos de instituciones existentes y debe ser capaz de madurar en las cambiantes condiciones de un país en vías de desarrollo. El SIT adecuado para un país en vías de desarrollo debe ser capaz de ofrecer una sólida base para la planificación económica y medioambiental⁹.

⁹ Esta es ciertamente la teoría de los países desarrollados, aunque hay poca evidencia de que suceda así en la práctica.

Paradójicamente, los países en vías de desarrollo pueden requerir una metodología más compleja de SIT que el relativamente sencillo uso de la parcela en los SIT basados en ellas de los países desarrollados.

REFERENCIAS

- Commission 7, FIG, Working Group on Cadastre 2014, Eds. Kaufmann J. and Steudler D., 1998-2002.
- Fourie C., 2000. *Cadastre and Land Information Systems for Decision-Makers in the Developing world*. *Geomatica*, 54(3):335-342.
- Fourie C., van de Molen P., Groot R., 2002. *Land Management, Land Administration and Geospatial data: Exploring the conceptual linkages in the developing world*. *Geomatica* Vol. 56, No.4, 2002.
- Grant D. and Williamson I. 2003. *State SDI Initiatives in Developing Spatial Data Infrastructures from Concept to Reality*, Eds. Williamson I., Rajabifard A and Feeney M-E, Taylor and Francis.
- Inter-Ministerial Poverty Mapping Task Force. (2003). *Poverty Mapping and Market Access in Vietnam*. Report in preparation by the Inter-Ministerial Poverty Mapping Task Force including the International Food Policy Research Institute, the Institute for Development Studies, the Ministry of Agricultural and Rural Development, the Ministry of Labor, Invalids, and Social affairs, the General Statistics Office, and the Ministry of Planning and Investment.
- Jeyanandan D., Williamson I. P., Hunter G. J., 1990. *Appropriate Land Information for Developing Countries*. AURISA 90 Conference.
- Land Law. *Vietnamese Land Law 2003*. National Political Publisher, 2003, Hanoi.
- Land Information System - *Consultant's Terminal Report*, Project No5. Hanoi 2001. Vietnam-Sweden Program on Land Administration reform (CPLAR).
- Larson, G. 1991. *Land Registration and Cadastral systems*. Longman Group UK 1991.
- Mika P. 2003. *Sustainable Land Tenure and Land Registration in Developing Countries*, including a Historical Comparison with an Industrialized country. Publication in the *Computers, Environment and Urban Systems* 2003; Third Special Edition 'Cadastral Systems'. Elsevier Science Ltd.
- Trung, T. N. 2004. *The multi-resolution characteristics of spatial data in Vietnam Land administration*. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing XXth. Congress ISPRS 2004 in Istanbul, 12-23 July.
- Trung, T. N. 2002. *Modeling uncertainty land use data in Vietnam*. Proceedings of International Symposium on GeoInformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences. Hanoi, Vietnam, 25-28 September 2002.
- Williamson I. P. 1994. *Cadastral Systems in the Asia-Pacific Region – Experiences and Lessons*. Presented at the FIG Land records Conference/Geomatics Atlantic 1994 Conference, Fredericton, Canada. ■

Alternativas del GPS aerotransportado para un posicionamiento de precisión en cartografía aérea

Mohamed M. R. Mostafa

AIRBORNE SYSTEMS

Resumen

La información de posicionamiento obtenida a partir de las mediciones GPS se ha convertido en una componente fiable de muchos de los sistemas de cartografía aérea de hoy en día. Sin embargo, una de las limitaciones logísticas con las que nos encontramos frecuentemente cuando se emplea el GPS en la cartografía aérea, es la necesidad de que el receptor GPS recoja datos continuamente de una o más estaciones base dentro del área de trabajo (por ejemplo, se debe disponer en todo momento de una estación situada dentro de un radio de 30 a 50 kilómetros del avión). El empleo de este tipo de datos es una forma de cumplir los requisitos de precisión de las actuales aplicaciones de los levantamientos aéreos a gran escala; pero a menudo es difícil establecer una estación base, sobre todo cuando el levantamiento se efectúa en terrenos remotos e inaccesibles. Más aun, el establecer estaciones base no siempre se garantiza la continuidad de los datos, como resultado de los efectos del entorno ambiental, de los errores humanos o de los receptores. Teniendo esto en cuenta, el objetivo de este artículo es evaluar el potencial de obtener unas estimaciones fiables y precisas de la posición del avión empleado para el levantamiento, sin necesidad de establecer una base GPS específica para este trabajo.

Se han usado tres métodos. El primero consiste en emplear los datos disponibles de redes CORS (Continuously Operating Reference Stations-estaciones de referencia que operan de forma continuada) existentes para estimar la posición del avión. Aunque estas estaciones a menudo se encuentran a una distancia considerable del área del levantamiento (por ejemplo, de 50 a 500 kilómetros), existe un gran número de ellas y sus datos están normalmente disponibles de forma gratuita. El segundo método consiste en usar productos del IGS, en los que se obtienen las órbitas precisas y las correcciones del reloj del satélite, además de los datos, y se emplean en el modo de posicionamiento de punto único. El tercer método consiste en usar correcciones diferenciales basadas en los satélites y disponibles en tiempo real.

Para estos análisis se han empleado diversos conjuntos de datos procedentes de auténticos trabajos de cartografía que se realizaron durante los últimos tres años en los EE.UU. y en Japón. Se van a presentar y discutir con cierto detalle los resultados y análisis provisionales de las pruebas. Los beneficios inmediatos de estos métodos incluyen: un posicionamiento preciso para las aplicaciones en levantamientos aéreos tales como la aerotriangulación asistida por GPS, y la generación de los parámetros de orientación exterior para la georreferenciación directa de cámaras aéreas digitales o de película convencional, y el LIDAR y el SAR.

Abstract

Positioning information derived from GPS measurements has become a reliable component of many of today's aerial mapping systems. However, one of the logistical limitations commonly faced when using GPS for airborne mapping is the need for continuous data collected by a GPS receiver at one or more base stations in the area of the survey (e.g. having a station within 30-50 km of the aircraft at all times). While the use of such data is a means of meeting the accuracy requirements of today's most demanding large-scale aerial survey applications, establishing a base station is often a difficult task when surveys take place over remote or inaccessible terrain. Further, even when dedicated base stations are established, the continuity of the data is not always guaranteed as a result of environmental effects, receiver error, or human error. With these points in mind, the objective of this paper is to evaluate the potential of deriving reliable and accurate estimates of the position of a survey aircraft without the establishment of dedicated GPS base stations.

Three approaches have been used here. The first approach is to make use of data available from existing Continuously Operating Reference Stations (CORS) networks to estimate the position of the aircraft. While such stations are often at a considerable distance from the survey area (e.g. 50 to 500 km), they are often large in number and their data is usually freely available. The second approach is using the IGS products, where the precise orbits and the satellite clock corrections are obtained after the fact and used in a single point positioning mode. The third approach is using the satellite-based differential corrections available in real-time.

A number of real data sets from real mapping missions that took place in the last three years in the USA and Japan have been used in this analysis. Preliminary test results and analyses are presented and discussed in some detail. Immediate benefits of these approaches include precise positioning for aerial survey applications such as GPS-assisted aerotriangulation, and the generation of Exterior Orientation parameters for direct georeferencing for aerial film or digital cameras, LIDAR, and SAR.

I. INTRODUCCIÓN

Los levantamientos aéreos han estado empleando de forma rutinaria el GPS aerotransportado para la producción de mapas durante la última década. Más recientemente, los sistemas inerciales asistidos por GPS, tales como el Applanix POS AV, han sido empleados con éxito para suministrar los parámetros de la trayectoria (posición, velocidad y orientación) con plena resolución. El proceso de adquisición de los datos desempeña un papel clave para que estos métodos tengan éxito. La separación entre el equipo aerotransportado y los equipos de la estación base, la geometría de los satélites tal como se refleja en la PDOP, las *multipath* de la señal y otros muchos parámetros deben ser tenidos en cuenta con el fin de obtener la máxima precisión en el posicionamiento por GPS. En muchas ocasiones es difícil, o poco práctico, optimizar estos parámetros. Por ejemplo, dado que el ángulo solar requerido para la fotografía aérea y el PDOP requerido para que exista una geometría adecuada en el posicionamiento por GPS no se presentan generalmente a la vez, las misiones de los vuelos aéreos comprometen inadvertidamente el PDOP del GPS buscando un buen ángulo solar. De ahí que, por tanto, una cuidadosa planificación sea fundamental en las aplicaciones cartográficas de alta precisión, en las que es necesario obtener la más alta precisión en el posicionamiento por GPS. A resultas de esto, subyace el requisito de que se despliegan una serie de estaciones base de GPS con el fin de asistir a la ejecución del proyecto.

Esto puede ser muy difícil en regiones físicamente inaccesibles. En aquellas aplicaciones en las que la accesibilidad sea buena y los requisitos de precisión posicional algo relajados, el problema principal es el coste de establecer las estaciones base a intervalos regulares a lo largo del corredor. Como se indica en el lado de la izquierda de la figura 1, un ejemplo de esto es el levantamiento en "corredores", en los que dichos levantamientos se pueden extender a lo largo de miles de kilómetros. Otras situaciones semejantes se presentan frecuentemente en grandes proyectos de cartografía aérea, tal y como se muestra en la parte derecha de la figura 1. En otras ocasiones, los datos de la estación base de

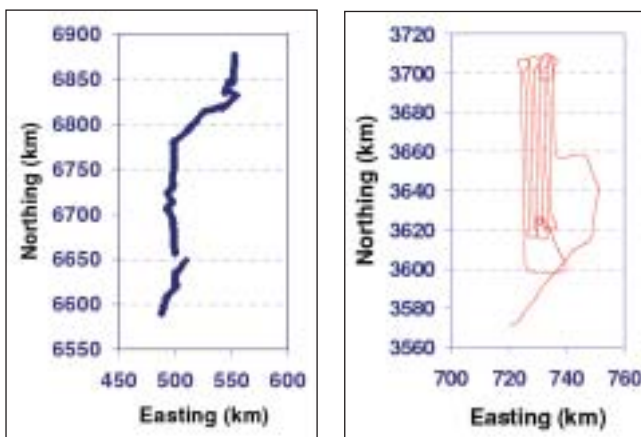


Figura 1. Trayectorias típicas en cartografía aérea para mapas de "corredores" (izquierda) y mapas topográficos (derecha)

GPS sencillamente pueden perderse, debido a problemas en los equipos o a errores humanos.

2. POSICIONAMIENTOS DE ALTA PRECISIÓN CON GPS AEROTRANSPORTADO

Con el fin de alcanzar una alta precisión de posicionamiento para los levantamientos aéreos con GPS, se necesita efectuar dos pasos en cada proceso de GPS. El paso primero es reducir o eliminar los errores de GPS dominantes, empleando modelos y técnicas de diferenciación (ver Parkinson y Spilker, 1996). El segundo paso es la resolución de ambigüedades, lo que queda fuera del ámbito de este artículo. Para ver una discusión detallada de esto, ver de nuevo a Parkinson y Spilker, 1996. Para eliminar o reducir los errores del GPS, se pueden emplear algunas de las diversas tecnologías actualmente disponibles. Esto se va a ver en las siguientes subsecciones.

2.1. Las órbitas IGS de precisión, las correcciones del reloj del satélite y la información atmosférica

Entre los diversos productos geodésicos del IGS (Servicio Internacional de GPS para la Geodesia y la Geodinámica), se encuentran los siguientes: unas efemérides de alta precisión de los satélites GPS, las correcciones de los relojes de satélite y la información ionosférica y troposférica. Estos productos pueden ser empleados en los levantamientos efectuados desde aeroplanos para refinar los datos GPS. Este refinamiento del GPS puede efectuarse a distintos niveles. En primer lugar, si el GPS aerotransportado se opera en modo DGPS y la estación base se encuentra a más de 100 kilómetros de la zona a cartografiar, el empleo de los datos del IGS minimiza los errores orbitales y atmosféricos y, por tanto, mejora la precisión del posicionamiento. En segundo lugar, si el GPS aerotransportado se opera en un modo de posicionamiento de punto único (sin estación base), el empleo de los datos del IGS mejora la precisión de posicionamiento a un nivel decimétrico y hace posible usar el GPS sin estación base en algunas aplicaciones cartográficas, en especial cuando se cancela el S/A.

El IGS realiza su misión a través de sus estaciones de seguimiento continuo de GPS, tal como se muestra en la figura 2, y de sus centros de



Figura 2. Red mundial de estaciones GPS de seguimiento IGS (Cortesía de la página Web del IGS)

Tabla 1. Combinación de los tiempos y las precisiones de los productos del IGS (Cortesía de la página Web del IGS)

Productos		Precisión	Latencia	Actualizaciones	Intervalo de muestreo
Emisión	Órbitas	~ 200 cm	Tiempo real		Diariamente
	Relojes de satélites	~ 7 ns			
Ultra-rápido (mitad predicho)	Órbitas	~ 10 cm	Tiempo real	Cuatro veces al día	15 min
	Relojes de satélites	~ 5 ns			
Ultra-rápido (mitad observado)	Órbitas	< 5 cm	3 horas	Cuatro veces al día	15 min
	Relojes de satélites	~ 0,2 ns			
Rápido	Órbitas	< 5 cm	17 horas	Diariamente	15 min
	Satélites y relojes sat.	0,1 ns			5 min
Final	Órbitas	< 5 cm	~ 13 días	Semanalmente	15 min

datos y análisis. Hay unas 250 estaciones en la red, distribuidas por todo el mundo, y que recogen datos GPS de forma continua, empleando receptores de calidad y de frecuencia dual. Los centros de datos son los responsables de recoger los datos de las estaciones de seguimiento, reformateándolos y archivándolos, y enviándolos a los centros de análisis. Los centros de análisis son los responsables del análisis y el proceso de los datos. El producto de todo esto se envía a los Centros Globales de Datos, empleando de forma regular la normativa diseñada al efecto. Los productos del IGS quedan disponibles tras diferentes periodos de tiempo y con distintas precisiones. La tabla 2 muestra los productos del IGS, sus precisiones y sus tiempos de entrega. Sin embargo, es cuestionable el control de calidad de los datos. Este es un tema que aun no ha sido estudiado, aunque es crucial en el campo de la cartografía aérea, ya que la totalidad de la misión cartográfica depende de la calidad de los datos del GPS. Por tanto, al implementar los productos del IGS en las aplicaciones de la cartografía aérea, se recomienda encarecidamente estudiar los distintos aspectos del control de calidad.

2.2. Posicionamiento por GPS diferencial aerotransportado, empleando estaciones base dedicadas

En general, el GPS diferencial (DGPS) reduce los errores atmosféricos (ionosféricos y troposféricos) y los orbitales, elimina los errores de reloj del satélite y del receptor e incrementa el ruido del receptor aislado. Los errores atmosféricos y orbitales están correlacionados con la distancia; cuanto menor es la distancia de separación entre los receptores, mayor es la correlación entre los errores en cada receptor. Estos errores son casi de la misma magnitud en dos receptores separados por líneas base cortas (1 a 30 kilómetros), de modo que el procesamiento digital de los datos del receptor supondrá una casi completa cancelación de los errores. Dado que estos errores también distorsionan los datos de fase empleados en la resolución de la ambigüedad cinemática, la fiabilidad de la resolución de la ambigüedad en líneas base cortas es mucho mejor que en las largas. Para conocer más acerca de este tema, véase Lachapelle (1995), Langley (1997), Parkinson y Spilker (1996), y Shi (1994).

La tabla 2 describe brevemente los errores residuales del DGPS, en tanto que la tabla 3 muestra un resumen de los errores típicos del posicionamiento mediante señales de fase de la portadora con GPS diferencial aerotransportado.

Tabla 2. Características de los errores residuales del DGPS

Error	Características del error
Orbital	<ul style="list-style-type: none"> • Correlacionado entre satélites • Significativamente reducido por diferenciación entre satélites (DGPS) • El uso de órbitas precisas y correcciones de reloj del satélite mejora la precisión de posicionamiento en líneas base largas
Ionosférico	<ul style="list-style-type: none"> • Dependiente de la frecuencia, por lo que los datos de frecuencia dual eliminan el error en líneas base largas • El modelo radiotransmitido reduce el error en un 50% • En el caso cinemático aerotransportado por dobles diferencias, el error es típicamente de 1 a 2 ppm en latitudes medias, entre valores altos de manchas solares
Troposférico	<ul style="list-style-type: none"> • Independiente de la frecuencia, por lo no puede ser eliminado con los datos de frecuencia dual • El componente seco puede modelarse y eliminarse • El componente húmedo necesita datos meteorológicos y es más difícil de modelar, debido a la naturaleza variable del vapor de agua • Puede estimarse el efecto del componente húmedo en el posicionamiento con líneas base largas en las aplicaciones desde aeronaves
Multipath	<ul style="list-style-type: none"> • Dependientes del emplazamiento y, por tanto, puede ser eliminado empleando GPS diferencial • En las aplicaciones cinemáticas, el efecto del multipath muestra una fuerte correlación con la velocidad del vehículo, por tanto, cuanto mayor sea la velocidad, el multipath disminuye y se vuelve aleatorio.

Tabla 3. Errores típicos del posicionamiento por GPS diferencial aerotransportado

Fuentes de errores en el GPS	Error de posicionamiento relativo típico (PPM)	Error de posicionamiento en una línea base de 50 kilómetros (metros)
Orbital	1	0,05
Ionosférico	1-10	0,05 a 0,50
Troposférico	2	0,10
Multipath de señales	0,01	0,05
Ruido del receptor	0,001	< 0,025
Error total	2,5 - 10,25	0,1 - 0,5

2.3. DGPS aerotransportado empleando retransmisiones de observaciones / correcciones de satélite

El GPS diferencial puede ser implementado bien en tiempo real o en el post-proceso. En tiempo real se transmiten al aeroplano las correcciones o las observaciones en bruto a través de la radio o los satélites. Se efectúa el proceso en tiempo real de las señales en bruto del GPS junto con las observaciones/correcciones recibidas, para aplicar las técnicas de posicionamiento diferencial. Visitar, para más detalles, por ejemplo: www.omnistar.com o www.navcomtech.com. OmniSTAR y NavCom son un ejemplo de servicios de GPS diferencial en grandes zonas, que emplean técnicas de retransmisión por satélite.

Los datos de múltiples estaciones de referencia ampliamente espaciadas se emplean en una solución "multi-sitio" para conseguir un posicionamiento submétrico en la mayoría de las zonas terrestres del mundo en-

tero. Un ejemplo de estos sistemas es el NavCom, que se muestra en la figura 3.

2.4. DGPS aerotransportado empleando estaciones de referencia que operan continuamente (CORS)

El sistema CORS (Continuously Operating Reference Stations-estaciones de referencia que operan de forma continua) está gestionado por el US National Geodetic Survey (USNGS). El sistema CORS comprende una red de 350 emplazamientos (Soler y alumnos, 2003) que disponen de receptores GPS de calidad geodésica. Esta red está creciendo en la actualidad a un ritmo de 4 a 8 estaciones al mes. El USNGS recoge, procesa y distribuye los datos de estas estaciones para asistir a las actividades de posicionamiento tridimensional de alta precisión a lo largo de los EE.UU. y sus territorios. Para más detalles acerca del sistema CORS, véase Soler y alumnos (2003) y Snay (2000). La figura 4 muestra un mapa de las estaciones del sistema CORS en los EE.UU. Para más detalles del sistema CORS véase www.ngs.noaa.gov.

3. CONCLUSIÓN

En este artículo se ha presentado un resumen de la precisión de las diversas técnicas del GPS aerotransportado, así como de las distintas fuentes de error del GPS aerotransportado y su contribución a la precisión final, además de los resultados y análisis de los datos de las pruebas efectuadas en dos proyectos diferentes. Se muestran las ventajas de las técnicas del proceso con estaciones múltiples (estaciones del sistema CORS

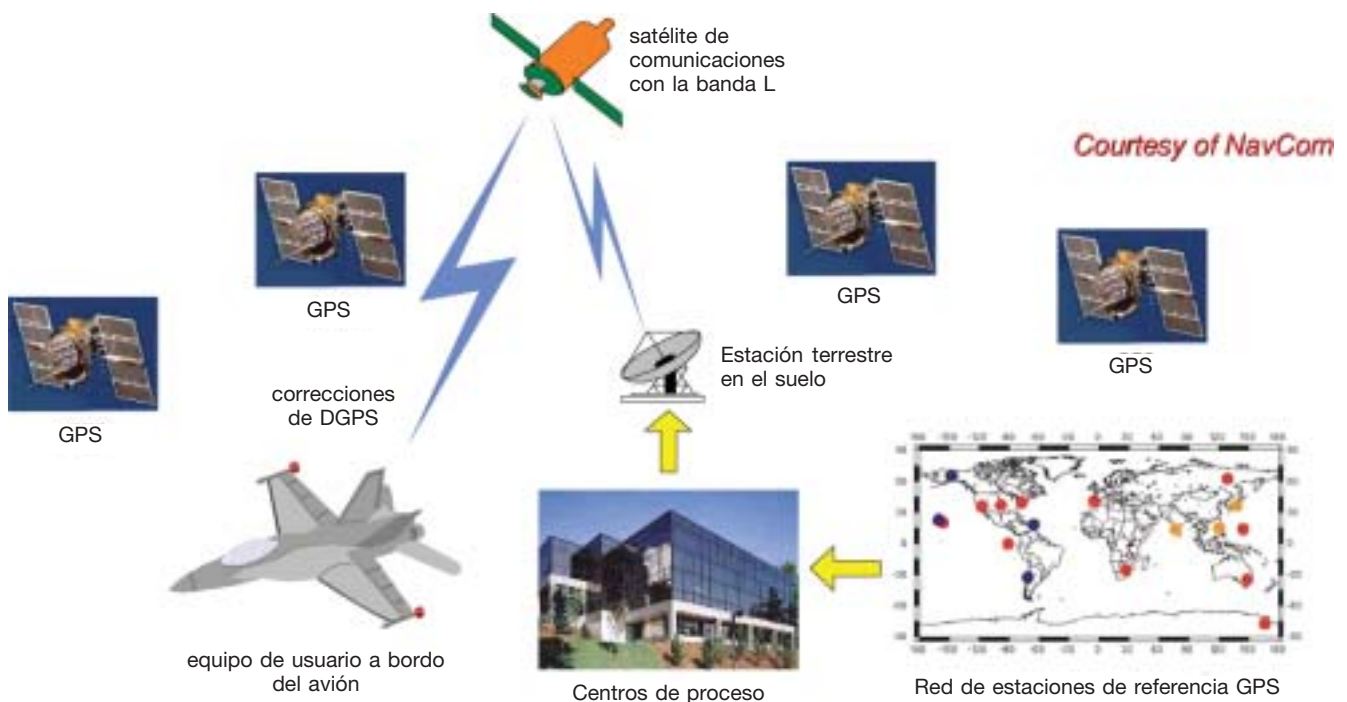


Figura 3. GPS en tiempo real empleando el concepto de NavCom

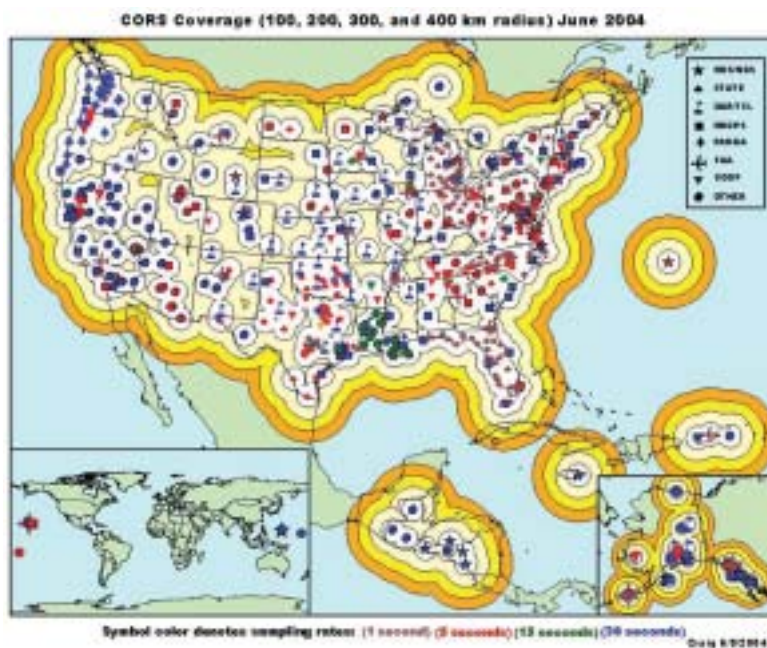


Figura 4. Estaciones del sistema CORS en los EE.UU. (cortesía de la pagina Web del sistema CORS)

del USNGS) sobre la precisión final del GPS aerotransportado. Se presenta además el efecto del índice de muestreo de los datos CORS sobre la precisión de la posición del avión.

Se muestra que cuanto mayores son los intervalos de muestreo empleados en algunas de las estaciones de referencia (mayores de 5 segundos) se deteriorará la precisión del posicionamiento en unos 0,03 metros (RMS), en comparación con un muestreo cada segundo, que ofrece unos errores máximos de cerca de 0,1 metros. Aunque un deterioro de la precisión de esta magnitud no afecta a las aplicaciones cartográficas a pequeña escala, afectará adversamente a proyectos cartográficos a gran escala cuando se emplee la aerotriangulación o métodos directos de georeferenciación cartográfica.

Por el momento, el uso de las estaciones del sistema CORS del USNGS en el proceso cartográfico aerotransportado ha demostrado ser bastante viable, especialmente como medio de aumentar las estaciones base dedicadas a efectos de QA/QC. La facilidad de acceso en Internet a los datos del sistema CORS y el creciente número de estaciones en los EE.UU. lo convierte en uno de los métodos más atractivos para el posicionamiento por GPS aerotransportado en dicho país. Aunque aun se necesitan más experiencias y resultados para poder hacer una evaluación definitiva del uso de los datos del sistema CORS, sin disponer al menos de una estación base dedicada, es cierto que su potencial existe. Similarmente, otros países han implementado para sus aplicaciones geodésicas el método de una red de seguimiento permanente. Desde la perspectiva internacional de los levantamientos aerotransportados, se recomienda encarecidamente probar el mismo concepto del sistema CORS en otras partes del mundo, tales como Europa Occidental o Australia.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece encarecidamente a Richard Snay, del programa CORS del USNGS, por sus valiosas discusiones sobre el tema. También agradezco a Alex Bruton, de Intermap Technologies, y a Joe Hutton y Edith Roy, de la Appanix Corporation, el haberme ayudado con el proceso y análisis de los datos. Asimismo, agradezco a HJW Geospatial Inc. y a Aeromap US el haber suministrado los datos POS AV 510 y los datos fotogramétricos necesarios para la investigación aquí expuesta. Agradezco a Leica Geosystems y a Z/I Imaging Corporation el haber suministrado el software fotogramétrico necesario para esta investigación.

REFERENCIAS

- Bruton, A. M., Mostafa, M. M. R., and Scherzinger, B. M., 2001. *Airborne DGPS Without Dedicated Base Stations for Mapping Applications*. Proceedings of ION-GPS 2001, SaltLake City, Utah, USA, Sept 11-14.
- Collins, J. P. and R. B. Langley, 1997. *Estimating The Residual Tropospheric Delay for Airborne Differential GPS Positioning (A Summary)*, Proceedings of the 1997 Scientific Assembly of the International Association of Geodesy, Rio de Janeiro, Brazil, 3-9 September; IAG Symposia, Vol. 118, Ed. F.K. Brunner; Springer-Verlag, 331-336.
- Eckl, M. C., R. Snay, T. Soler, M. W. Cline & G. L. Mader (2001). *Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration*, Journal of Geodesy, 75(12),633-640.
- Fotopoulos, G., and M. E. Cannon (2001), *An Overview of Multi-Reference Station Methods for Cm-Level Positioning*, GPS Solutions, Vol. 4, No. 3, pp. 1-10.
- Fortes, L. P., G. Lachapelle, M. E. Cannon, S. Ryan, G. Marceau, S. Wee, & J. Raquet (2000), *Use of a Multi-Reference GPS Station Network for Precise 3D Positioning in Constricted Waterways*, International Hydrographic Review, Vol. 1, No. 1, pp. 15-29.
- Fortes, L. P., M. E. Cannon, and G. Lachapelle (2000), *Testing of a Multi-Reference GPS Station Network for OTF Positioning in Brazil*, Proceedings of ION-GPS00, Salt Lake City, September 19-22, pp. 1133-1142.
- Fortes, L., M.E. Cannon, G. Lachapelle,, and S. Skone, 2003. *Optimizing a Network-Based RTK Method for OTF Positioning*. GPS Solutions, 7, 2, 61-73.
- Lachapelle, G., E. M. Cannon, W Qiu, and C. Varner, 1995. *An Analysis of Differential and Absolute GPS aircraft Positioning*. ION NTM, Anaheim, CA, January 18-22.
- Lachapelle, M. E. Cannon, L. P. Fortes, and P. Alves (2000), *Use of Multiple Reference GNSS Stations for RTK Positioning*, Proceedings of the World Congress of the International Association of Institutes of Navigation, San Diego, June 26-28, pp. 803-809.
- Langley, R. B., 1997. *The GPS Error Budget*. *Innovation Column*, GPS World, March 1997.

- Mader, G. L. & M. L. Morrison (2002). *Using Interpolation and Extrapolation Techniques to Yield High Data Rates and Ionosphere Delay Estimates from Continuously Operating GPS networks*, Proc. ION-GPS 2002, Portland, OR, September 24-27, 2342-2348.
- Mostafa, M. and J. Hutton, 2001. *Airborne Kinematic Positioning and Attitude Determination Without Base Stations*, Proceedings of International Symposium on Kinematic Systems in Geomatics and Navigation (KIS 2001), Banff, Canada, June 5-8.
- Neilan, R. E., A Moore, T. Springer, J. Kouba, J. Ray, and C. Reigber, 2000. *International GPS Service 2000: Life without SA*. Proceedings ION GPS, Salt Lake City, Utah, September 19-22.
- Parkinson, B. W. and J. J. Spilker, 1996. *Global Positioning System Theory and Applications Volume I and II*, Progress in Astronautics and Aeronautics Volume 163, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Petrovski, I., S. Kawaguchi, M. Ishii, H. Torimoto, K. Fujii, K. Sasano, M. Kondo, K. Shoji, H. Hada, K. Uehara, Y. Kawakita, J. Murai, B. Townsend, M. E. Cannon, and G. Lachapelle (2000), *New Flexible Network-Based RTK Service in Japan*, Proceedings of ION-GPS00, Salt Lake City, September 19-22, pp. 1124-1132.
- Radovanovic, R. S., El-Sheimy, N. and Teskey, W. F., 2001. *Rigorous Network Adjustment of GPS Carrier Phases for Airborne Positioning via Tropospheric Error Variance Covariance Modelling*, Proceedings of the Third International Symposium on Mobile Mapping Technology, Cairo, January, 16 pp.
- Raquet, J., G. Lachapelle, and L. Fortes (2001) *Use of a Covariance Analysis Technique for Predicting Performance of Regional Area Differential Code and Carrier-Phase Networks*. Navigation, The Institute of Navigation, Alexandria, VA, 48, 1, 25-34.
- Raquet, J. F., 1998. *Development of a Method for Kinematic GPS Carrier-Phase Ambiguity Resolution Using Multiple Reference Receivers*, UCGE Report # 20116, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Alberta, Canada, 259 p.
- Scherzinger, B., 1997. *A Position and Orientation Post-Processing Software Package for Inertial/GPS Integration (POSProc)*. Proceedings of the International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation (KIS 97), Banff, Canada, June 1997.
- Shi, J., 1994. *High Accuracy Airborne Differential GPS Positioning Using a Multi-Receiver Configuration*, UCGE Report # 20061, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Alberta, Canada, 129p.
- Snay, R. A., 2000. *The National and Cooperative CORS Systems in 2000 and Beyond*, Proceedings of ION GPS 2000, 19-22 September 2000, Salt Lake City, UT, pp. 55-58.
- Snay, R. A., 2001. Personal Communications.
- Snay, R. A., T. Soler & M. Eckl (2002). *GPS precision with carrier phase observations: Does distance and/or time matter?*, Professional Surveyor, 22(10), 20, 22, 24.
- Soler, T., R. A. Snay, R. H. Foote, and M. W. Cline 2003. *Maintaining accurate coordinates for the National CORS network*, Proc. FIG Working Week, Paris, France, April 13-17.
- Soler, T., N. S. Doyle & L. W. Hall (1999). *Rigorous transformation of GPS-determined vector components*, Proc. ION GPS-99, Nashville, TN, September 14-17, 27-32.
- Soler, T. & J. Marshall. (2003). *A note on frame transformations with applications to geodetic datums*, GPS Solutions, 7(1), 23-32.
- Spofford, P. R., N. D. Weston, 1998. *National Geodetic Survey Continuously Operating Reference Station project: Status and Plans*. ACSM Bulletin, 172 20-25. ■

La estación de referencia permanente GPS de la Escuela Politécnica Superior de Ávila: EPSA

Manuel Pérez Gutiérrez, Alfonso Núñez García del Pozo

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ÁVILA

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Resumen

Desde finales del año 2005, la Escuela Politécnica Superior de Ávila (Universidad de Salamanca) dispone de una estación GPS de referencia permanente, incorporada en la dotación de laboratorios para prácticas de Topografía y Geodesia. Una vez instalada la antena con todos sus componentes, y comprobado y chequeado el funcionamiento de los mismos, se han estado recogiendo datos desde primeros del año 2006 a fin de obtener unas coordenadas de la más alta calidad. Este artículo presenta por una parte, la estación a los usuarios de la comunidad topográfica-geodésica-cartográfica, así como a cualquier otro con interés en su utilización, y por otra el procedimiento utilizado en la obtención de las coordenadas de la misma en el sistema de referencia ETRS89.

I. INTRODUCCION

La antena de la estación EPSA está situada en la parte más elevada del edificio que constituye la Escuela Politécnica Superior de Ávila, con un horizonte despejado en la vuelta completa.

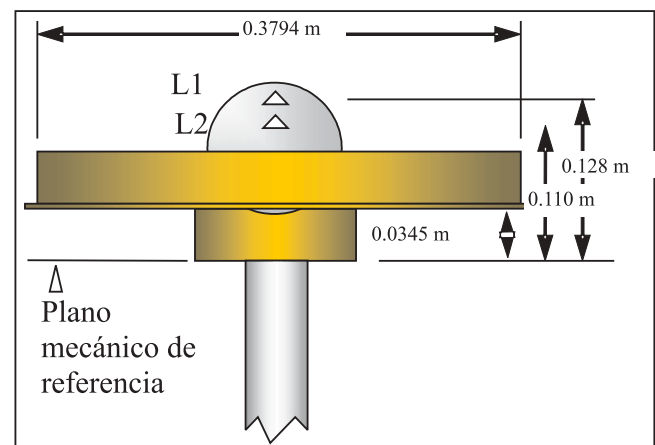
Geográficamente, la estación se sitúa en el borde norte de la fosa tectónica que constituye el valle Amblés, valle que abre y divide la sierra de La Paramera de la sierra de Ávila, localizadas ambas en las estribaciones norte del macizo central de Gredos. Tiene unas coordenadas geográficas aproximadas $\phi = 40^{\circ}39'N$ y $\lambda = 4^{\circ}41'W$ y $H_{ort} = 1130$ metros sobre el nivel del mar.

Geológicamente, EPSA se encuentra en la placa euroasiática (microplaca ibérica), en terreno granítico medianamente diaclasado.

La estación dispone de un receptor geodésico de 12+12 canales (L1/L2), marca Leica, modelo GRX1200 Pro, que incorpora una tarjeta de memoria de 1 Gb (con la que se pueden recoger meses de datos sin control externo) y tarjeta de red Ethernet para conexión a la red. Este equipo opera con código C/A sobre L1 y código P sobre L1/L2.

Al receptor está conectada una antena geodésica Choke-Ring (Dorne-Margolin) marca Leica, modelo AT504, sobre mástil con especificaciones IGS y horizonte de 360° despejado. Las coordenadas planimétricas están referidas al centro radioeléctrico de la antena y la altitud de la misma lo está a la placa metálica que soporta el mástil, con las excentricidades estándar tal y como se recoge en el gráfico.

El receptor está conectado a un PC HP con dos procesadores Intel pentium IV y Windows XP Profesional sobre el que corre el software de control Spider 2.0 de Leica.



Excentricidades de la antena Leica AT504

Estación incorpora dos radio modem. El primero (Satellite 3As 406 MHz) emite correcciones diferenciales en formato propietario Leica mientras que el segundo (Satellite 2As 406 MHz) lo hace mediante protocolo RTCM104 para poder ser utilizado con otros modelos o marcas de receptores GPS.

Como complemento a estos elementos básicos, se ha dotado a la estación de otros elementos para mantenimiento y automatización del sistema como son un disco duro (160Gb) para copias de seguridad y SAI



Sistema de control de EPSA con Spider 2.0 de Leica para la emisión de correcciones en tiempo real

offline Smart 500Va para mantener el sistema en caso de caídas de tensión o cortes de suministro eléctrico.

Además, la estación dispone de un radio modem que emite correcciones para tiempo real en formato propietario Leica (para el sistema I200). Esto permite, para distancias de no más de diez kilómetros, y siempre a efectos de realización de prácticas, efectuar replanteos o navegación con precisiones centimétricas y evidentemente está implementado con el fin de poder realizar determinadas dichas prácticas en las asignaturas que se imparten en la Escuela Politécnica Superior de Ávila.

2. EPSA EN LA RED GEODÉSICA VIRTUAL DE CASTILLA Y LEÓN

Aunque no es objetivo primordial de este trabajo el hablar de redes en formación que dependen de otros organismos oficiales, si interesa mencionar que la estación de la Escuela Politécnica Superior de Ávila, pasa-



Posible red geodésica virtual de Castilla y León.

Fuente: Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León en Jornadas de Cartografía de Valladolid (20-XI-2005)

rá a formar parte de la red de estaciones de referencia GPS que la Comunidad Autónoma de Castilla y León pretende implantar en los próximos años. Tal y como el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León presentó en unas Jornadas Cartográficas en Valladolid (28 de Noviembre de 2005), durante el año 2006 deben ponerse en funcionamiento unas 19 estaciones convenientemente distribuidas por el territorio de la Comunidad (fundamentalmente en las capitales de provincia y poblaciones más importantes) y que al final no disten entre si más de 80 kilómetros. Esto debe permitir, utilizando receptores de dos frecuencias con antenas geodésicas, ubicadas en horizontes despejados y con una red de transmisión de datos con gran ancho de banda y latencias muy pequeñas, proporcionar una cobertura del territorio de la comunidad casi total (recordemos que existen zonas en los límites de Castilla y León –Gredos, Navacerrada, Picos de Europa, ...– ya no de difícil sino de imposible cobertura total en muchos de los valles y desfiladeros de las zonas mencionadas).

Además de proveer los servicios estándar, como son los ficheros de observaciones RINEX para postproceso con diferentes periodos de observación, está planeada la emisión de correcciones diferenciales para estaciones virtuales, vía GSM, mediante el protocolo GPRS. Durante el año 2005 se realizó un ensayo con 5 estaciones situadas en las alrededores de Valladolid en las que se comprobó la transmisión de datos en tiempo real, posibilidades y costes, y de los que se da cumplida información en la publicación ubicada en el servidor del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (<http://www.jcyl.es>).

3. COORDENADAS ETRS89 DE LA ESTACIÓN EPSA

Las recomendaciones de EUREF y del grupo VIII de EuroGeographics dadas para Europa en cuanto a la sustitución del antiguo sistema geodésico de referencia ED50 por el nuevo ETRS89 (European Terrestrial Reference Frame 1898) provocó la observación y densificación de redes observadas con técnicas espaciales que definieran un nuevo marco de referencia apto para observaciones cada vez menos terrestres. Así, en España se proyectó y observó IBERIA95 (junto con Portugal), complementada por BALEAR98 en el archipiélago Balear, y que posteriormente ha sido densificada por REGENTE en la península y Baleares y por REGCAN95 en Canarias. Estas redes, junto con las reobservadas redes de nivelación geodésicas constituyen un excepcional conjunto de puntos con coordenadas en ambos sistemas, que ha permitido obtener una transformación conjunta para toda España que absorbe la falta de homogeneidad de la antigua red (González-Matesanz 2003), aunque no está exenta de problemas locales.

Bajo este planteamiento, parece justificado el obtener las coordenadas de la estación EPSA en el sistema geodésico de referencia ETRS89. Sin embargo, al seguir siendo oficial el sistema ED50, se calcularán las coordenadas de EPSA en este sistema también, lo que además permitirá una comprobación adicional con la transformación ETRS89 a ED50 proporcionada por el IGN para toda España.

El proceso de obtención de las coordenadas en ambos sistemas es diferente, por lo que relatamos en este punto el correspondiente a ETRS89, dejando para el siguiente punto el referente a ED50. Este proceso, que se desarrolla en los siguientes subapartados puede resumirse como se explicita a continuación. En primer lugar han de elegirse estaciones que van a actuar de fiduciaras para el cálculo de EPSA. Elegidas éstas, se seleccionan los días que van a utilizarse en el cálculo, procurando que no sean próximos en el tiempo. A continuación se procesan las líneas base para obtener los incrementos de coordenadas que servirán para el ajuste final de las coordenadas de EPSA. La ondulación del geoide y el valor de la gravedad se determinarán a partir de una nivelación de precisión a partir de un punto de la red geodésica de nivelación y la gravedad midiéndola. Desarrollemos a continuación este procedimiento.



Red de Estaciones Permanentes GPS del IGN (a Enero de 2006). Fuente IGN

ELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA DE PARTIDA. CARACTERÍSTICAS

Las estaciones respecto de las que se van a obtener las coordenadas de EPSA pueden ser de dos tipos: bien vértices geodésicos REGENTE y por tanto con coordenadas ETRS89, en los que se podían estacionar una serie de receptores GPS, bien antenas de referencia GPS de la red ERGPS que el IGN tiene distribuidas por el territorio español, con mayor o menor densidad. En el primer caso se tiene la ventaja de que las líneas observadas son más pequeñas y además la configuración de la red puede ser elegida con más libertad. Como contrapartida, existen los problemas de tener que desplazar recursos humanos y materiales a dicho vértices durante varios días y en periodos muy grandes, lo que hace inviable esta posibilidad. En el segundo caso contamos con las ventajas de no tener que desplazar equipos ni gente a las estaciones de referencia puesto que las antenas están instaladas de manera permanente, y que disponemos de observaciones durante las 24 horas de todos los días sin más que acceder a ellos vía internet. Además, la precisión tanto de las observaciones como de la posición de las antenas ofrece más ga-

rantías que los estacionamientos con basadas sobre pilares sin centrado forzado. Como todo, también se presentan problemas; en este caso, la configuración de la red no es tan homogénea como debiera ya que no existan antenas en la zona norte de EPSA a distancias útiles. También es importante el que las distancias son más grandes que en el caso de utilizar vértices, pero estos inconvenientes relatados no van a inducir a errores no asumidos y por tanto es esta segunda posibilidad la utilizada en el cálculo y ajuste de las coordenadas de EPSA.

Un simple vistazo al gráfico de situación de las antenas de referencia ERGPS más cercanas a EPSA (se presupone como límite máximo admisible los 200 kilómetros, valor empírico basado en la experiencia) justifica la elección de las estaciones CACE (Universidad de Extremadura, Cáceres), SONS (Observatorio Sismológico de Sonseca, Toledo), IGNE (Instituto Geográfico Nacional, Madrid), YEBE (Observatorio Astronómico de Yebes, Guadalajara), todas estaciones pertenecientes a la red ERGPS que, encuadradas dentro de la jerarquía de Redes Geodésicas del grupo de trabajo VIII de Eurogeographics como Clase A, implica que están integradas en el ITRF con coordenadas y campos de velocidades con $s < 1$ cm independientes de la época de observación. Además, YEBE, por ser estación Core perteneciente a la red IGS, se garantiza en principio la posibilidad de mejores monitorizaciones, ya que es esta estación sobre la que se obtienen soluciones constreñidas para ITRF00. Se considera que YEBE está en unos 5 mm de precisión global.

Además, aunque no pertenecientes a la red ERGPS pueden considerarse otras estaciones con la mismas precisiones y garantías que las de ésta. En este caso nos encontramos la estación sita en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía Geodesia y Cartografía Universidad Politécnica de Madrid, que dispone de una pareja de antenas denominadas MERC y MER2, con coordenadas en ETRS89, y que serán utilizadas en el cálculo y ajuste que se pretende realizar. El siguiente cuadro recoge los datos técnicos más relevantes de las estaciones a utilizar.

	ANTENA	RECEPTOR	AGENCIA
CACE	TRM29659.00	TRIMBLE 4000SSI	IGN
IGNE	ASH700936D_M	ASHTECH Z-XII3	IGN
SONS	TRM29659.00	TRIMBLE 4000SSI	IGN
YEBE	TRM29659.00	TRIMBLE 4000SSI	IGN
MERC	TRM29659.00	TRIMBLE 4000SSI	ETSITGC(UPM)
MER2	LEIAT503	LEICA RS500	ETSITGC(UPM)
EPSA	LEIAT504	LEICA GRX1200PRO	EPSA (USAL)
Datos técnicos de las estaciones utilizadas en el cálculo			

Las coordenadas cartesianas utilizadas en el proceso de cálculo y ajuste y posterior comprobación son las que se muestran en el siguiente cuadro, teniendo en cuenta las correspondientes excentricidades de las antenas que el proceso de datos corrige automáticamente al venir estos en los ficheros RINEX.

El proceso de obtención de las coordenadas en ambos sistemas es diferente, por lo que relatamos en este punto el correspondiente a ETRS89, dejando para el siguiente punto el referente a ED50. Este proceso, que se desarrolla en los siguientes subapartados puede resumirse como se explicita a continuación. En primer lugar han de elegirse estaciones que van a actuar de fiduciaras para el cálculo de EPSA. Elegidas éstas, se seleccionan los días que van a utilizarse en el cálculo, procurando que no sean próximos en el tiempo. A continuación se procesan las líneas base para obtener los incrementos de coordenadas que servirán para el ajuste final de las coordenadas de EPSA. La ondulación del geoide y el valor de la gravedad se determinarán a partir de una nivelación de precisión a partir de un punto de la red geodésica de nivelación y la gravedad midiéndola. Desarrollemos a continuación este procedimiento.



Red de Estaciones Permanentes GPS del IGN (a Enero de 2006). Fuente IGN

ELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA DE PARTIDA. CARACTERÍSTICAS

Las estaciones respecto de las que se van a obtener las coordenadas de EPSA pueden ser de dos tipos: bien vértices geodésicos REGENTE y por tanto con coordenadas ETRS89, en los que se podían estacionar una serie de receptores GPS, bien antenas de referencia GPS de la red ERGPS que el IGN tiene distribuidas por el territorio español, con mayor o menor densidad. En el primer caso se tiene la ventaja de que las líneas observadas son más pequeñas y además la configuración de la red puede ser elegida con más libertad. Como contrapartida, existen los problemas de tener que desplazar recursos humanos y materiales a dicho vértices durante varios días y en periodos muy grandes, lo que hace inviable esta posibilidad. En el segundo caso contamos con las ventajas de no tener que desplazar equipos ni gente a las estaciones de referencia puesto que las antenas están instaladas de manera permanente, y que disponemos de observaciones durante las 24 horas de todos los días sin más que acceder a ellos vía internet. Además, la precisión tanto de las observaciones como de la posición de las antenas ofrece más ga-

rantías que los estacionamientos con basadas sobre pilares sin centrado forzado. Como todo, también se presentan problemas; en este caso, la configuración de la red no es tan homogénea como debiera ya que no existan antenas en la zona norte de EPSA a distancias útiles. También es importante el que las distancias son más grandes que en el caso de utilizar vértices, pero estos inconvenientes relatados no van a inducir a errores no asumidos y por tanto es esta segunda posibilidad la utilizada en el cálculo y ajuste de las coordenadas de EPSA.

Un simple vistazo al gráfico de situación de las antenas de referencia ERGPS más cercanas a EPSA (se presupone como límite máximo admisible los 200 kilómetros, valor empírico basado en la experiencia) justifica la elección de las estaciones CACE (Universidad de Extremadura, Cáceres), SONS (Observatorio Sismológico de Sonseca, Toledo), IGNE (Instituto Geográfico Nacional, Madrid), YEBE (Observatorio Astronómico de Yebes, Guadalajara), todas estaciones pertenecientes a la red ERGPS que, encuadradas dentro de la jerarquía de Redes Geodésicas del grupo de trabajo VIII de Eurogeographics como Clase A, implica que están integradas en el ITRF con coordenadas y campos de velocidades con $s < 1$ cm independientes de la época de observación. Además, YEBE, por ser estación Core perteneciente a la red IGS, se garantiza en principio la posibilidad de mejores monitorizaciones, ya que es esta estación sobre la que se obtienen soluciones constreñidas para ITRF00. Se considera que YEBE está en unos 5 mm de precisión global.

Además, aunque no pertenecientes a la red ERGPS pueden considerarse otras estaciones con la mismas precisiones y garantías que las de ésta. En este caso nos encontramos la estación sita en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía Geodesia y Cartografía Universidad Politécnica de Madrid, que dispone de una pareja de antenas denominadas MERC y MER2, con coordenadas en ETRS89, y que serán utilizadas en el cálculo y ajuste que se pretende realizar. El siguiente cuadro recoge los datos técnicos más relevantes de las estaciones a utilizar.

	ANTENA	RECEPTOR	AGENCIA
CACE	TRM29659.00	TRIMBLE 4000SSI	IGN
IGNE	ASH700936D_M	ASHTECH Z-XII3	IGN
SONS	TRM29659.00	TRIMBLE 4000SSI	IGN
YEBE	TRM29659.00	TRIMBLE 4000SSI	IGN
MERC	TRM29659.00	TRIMBLE 4000SSI	ETSITGC(UPM)
MER2	LEIAT503	LEICA RS500	ETSITGC(UPM)
EPSA	LEIAT504	LEICA GRX1200PRO	EPSA (USAL)
Datos técnicos de las estaciones utilizadas en el cálculo			

Las coordenadas cartesianas utilizadas en el proceso de cálculo y ajuste y posterior comprobación son las que se muestran en el siguiente cuadro, teniendo en cuenta las correspondientes excentricidades de las antenas que el proceso de datos corrige automáticamente al venir estos en los ficheros RINEX.

PROTOPO 6.0

DINAMISMO EN AUTOCAD



Config Transv. Vial Bases

Transversales

<input type="checkbox"/>	11600.000
<input type="checkbox"/>	11610.000
<input type="checkbox"/>	11620.000
<input type="checkbox"/>	11630.000
<input type="checkbox"/>	11640.000
<input type="checkbox"/>	11650.000
<input type="checkbox"/>	11660.000
<input type="checkbox"/>	11670.000
<input type="checkbox"/>	11680.000
<input type="checkbox"/>	11690.000
<input type="checkbox"/>	11700.000
<input type="checkbox"/>	11710.000
<input type="checkbox"/>	11720.000
<input type="checkbox"/>	11730.000
<input type="checkbox"/>	11740.000
<input type="checkbox"/>	11750.000
<input type="checkbox"/>	11760.000
<input checked="" type="checkbox"/>	11770.000
<input checked="" type="checkbox"/>	PROYECTO
<input checked="" type="checkbox"/>	TERRENO
<input checked="" type="checkbox"/>	VEGETAL
<input checked="" type="checkbox"/>	BASE
<input checked="" type="checkbox"/>	SUB BASE
<input checked="" type="checkbox"/>	EXPLANACION
<input checked="" type="checkbox"/>	FIRME
<input checked="" type="checkbox"/>	Barras
<input checked="" type="checkbox"/>	Mobiliario
<input checked="" type="checkbox"/>	Adornos
<input type="checkbox"/>	11780.000
<input type="checkbox"/>	11790.000
<input type="checkbox"/>	11800.000
<input type="checkbox"/>	11810.000
<input type="checkbox"/>	11820.000
<input type="checkbox"/>	11830.000
<input type="checkbox"/>	11840.000
<input type="checkbox"/>	11850.000
<input type="checkbox"/>	11860.000
<input type="checkbox"/>	11870.000
<input type="checkbox"/>	11880.000



Software Técnico de Cálculo Topográfico y Trazado Lineal de Carreteras

Vértices | Transversales

CV1207	Dist.	Cota	Perim.	C.Paja	Viz	Código	Capa
1	22.563	619.070	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	TERRENO
2	38.833	619.070	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	TERRENO
3	54.933	619.770	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	VEGETAL
4	71.833	619.070	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Talud de desmenu	PROYECTO
5	88.700	618.917	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	VEGETAL
6	105.703	618.217	4.773500		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	TERRENO
7	122.703	618.917	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	VEGETAL

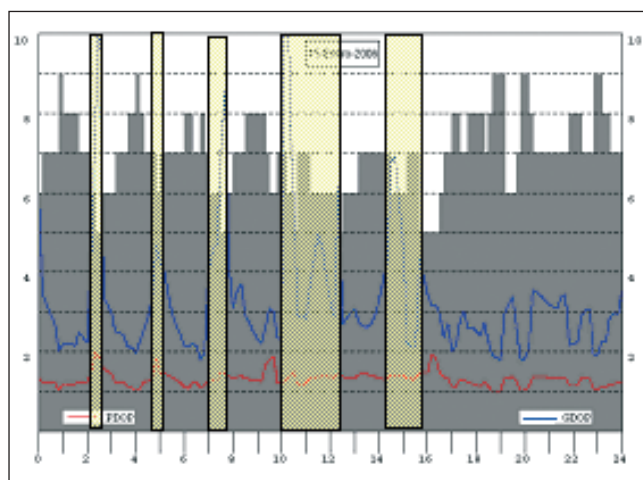
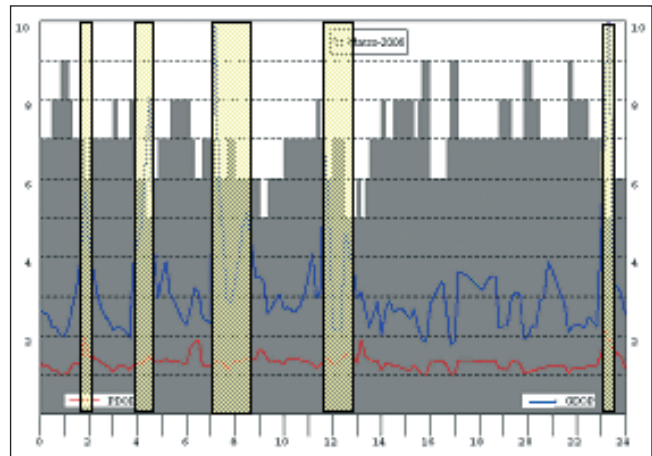
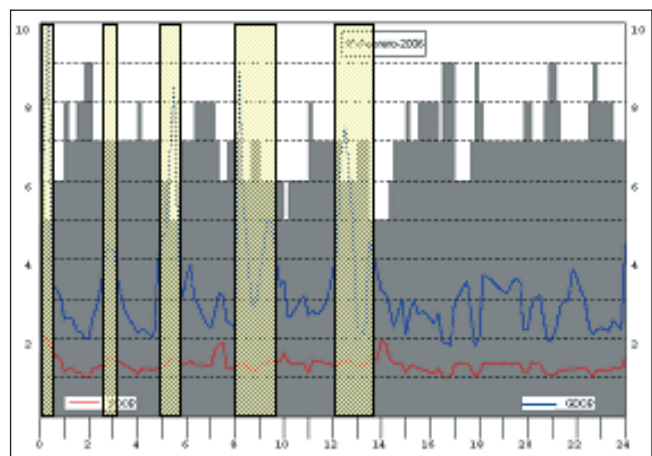
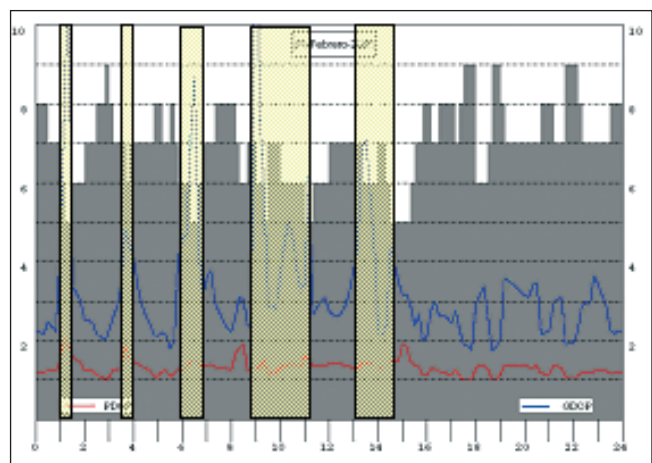
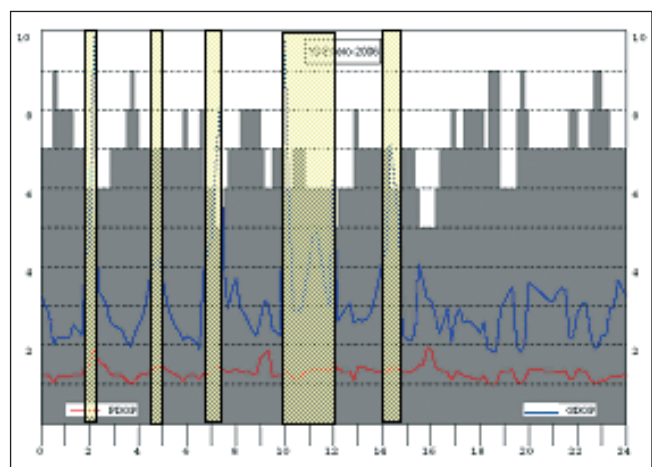
**DISPONIBLE PARA
AUTOCAD
2007**

	X	Y	Z
CACE	4899866,8012	544567,5896	4033769,7693
IGNE	4851137,6820	-314518,6910	4116282,0200
SONS	4904660,4975	-339868,0384	4050823,4963
YEBE	4848724,8929	-261632,4814	4123093,9053
MERC	4855597,2172	-308042,9254	4111481,2742
MER2	4855597,7936	-308047,6160	4111481,1163
Coordenadas ETRS89 de las estaciones fijas utilizadas en el cálculo			

ELECCIÓN DE LOS DÍAS Y PERIODOS DE OBSERVACIÓN UTILIZADOS EN EL CÁLCULO

Puesto que la estación EPSA concluyó su periodo de montaje y prueba a finales del año 2005, se han elegido 5 días completos de observación. Estos son el 15 de Enero, 19 de Enero, 1 de Febrero, 15 de Febrero y 1 de Marzo, lo que garantiza distribuciones más aleatorias en los errores producidos por la diferente situación de los satélites de la constelación. A modo de prueba, se ha insertado el 19 de Enero a fin de poder relacionar algún tipo de deriva en el tiempo, si es que esta existe o es detectable.

Elegidos los días, y localizados los ficheros de cada estación, se ha efectuado un estudio de, por una parte, el número satélites sobre el horizonte de las estaciones, a fin de limitar inferiormente el número de los mismos, y por otra, del valor del factor GDOP, que también se limita. En el primer caso, puesto que las observaciones se almacenan en periodos horarios, se han suprimido del cálculo aquellas horas en las que el número de satélites es igual o inferior a 4, o que el GDOP exceda de 4. Este modo de proceder nos va a permitir calcular los vectores con periodos de una hora en las mejores condiciones geométricas. Los siguientes gráficos (obtenidos para la estación EPSA) nos muestran la planificación de las observaciones con los periodos elegidos en cada día de observación a partir de las anteriores premisas.



	Comienzo del periodo de observación, TUC																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
15-01-2006	x	x		x		x	x		x	x			x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
19-01-2006	x	x		x		x	x		x	x			x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
01-02-2006	x		x		x	x		x	x			x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x
15-02-2006		x		x	x		x	x			x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
01-03-2006	x		x	x		x	x			x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Periodos de observación utilizados cada día en el cálculo de EPSA																								

Con este procedimiento, sólo se importan en el programa de proceso de datos aquellos periodos de observación relacionados en el anterior cuadro.

A la vista de la selección de los periodos de observación, se comprueba de algunos de ellos (sólo una vez cada día) son sólo de una hora. Aunque a priori no van a ser retirados del cálculo, habrá que estar pendiente del resultado que proporcionan para, en el caso de introduzcan errores mayores el resto en dichas líneas, ser eliminados en la obtención de coordenadas finales.

OBTENCIÓN DE LAS LÍNEAS BASE. PROGRAMA UTILIZADO PARA CÁLCULO

Las líneas bases se van a procesar en la aplicación Leica Geo Office 3.0. Las pruebas realizadas con diferentes programas que se relatan en diversos artículos relacionados en la bibliografía proporcionan resultados algo diferentes para cada uno de ellos, pero siempre en el mismo orden de precisión. Esto hace pensar que, incluso trabajando con soluciones flotantes (como es el caso de la estación CACE, que está a casi 200 kilómetros de EPSA), no proporcionará diferencias significativas al realizar el ajuste.

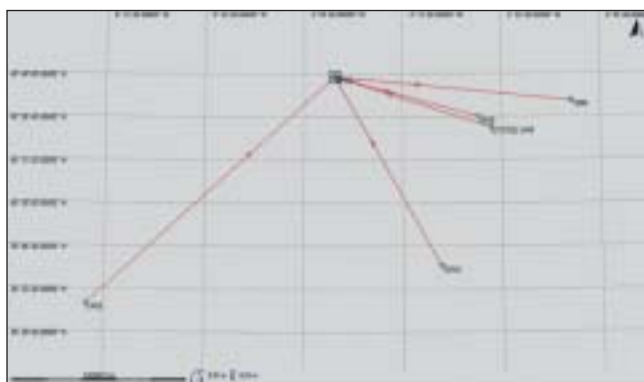


Gráfico de las líneas bases resueltas para EPSA

De esta manera, a partir de los ficheros RINEX 2.10 obtenidos de cada uno de los servidores (IGN, ETSITGC-UPM) y de los propios de la es-

tación EPSA se han creado un proyecto por cada día de observación sobre el que se ha descargado los mencionados ficheros. Con la misma configuración para cada proyecto, que se recoge en el siguiente cuadro, se han procesado las líneas base, y cuyos resultados completos se recogen en el apéndice A. Evidentemente, todo el proceso de cálculo se ha realizado con efemérides precisas proporcionadas por el IGS.

Parámetros de procesamiento utilizado en los cálculos de las líneas base	
Ángulo de elevación	15 °
Tipo de efemérides	Precisas
Tipo de solución	Automático
Frecuencia	Automático
Fijar ambigüedades hasta	200 Km.
Duración mínima para solución flotante	300 seg.
Intervalo de muestreo	Usar Todas
Modelo troposférico	Hopfield
Modelo ionosférico	Automático
Modelo estocástico	Sí
Distancia mínima	8 Km.
Actividad ionosférica	Automático
Tiempo mínimo para datos comunes	5 min.
Longitud máxima de línea base	200 Km.
Modo de procesamiento	Todas las líneas base
Criterio de selección automática	Hora

Una vez realizado el proceso de datos de cada uno de los cinco días por separado, se han tomado en cada uno de ellos como coordenadas aproximadas la media de todas aquellas que no difieren más de 5 centímetros en planimetría y 5 centímetros en altimetría con aquellas que han proporcionado mejores resultados, y así se utilizarán en el ajuste de cada uno de los días. A continuación se presenta un cuadro con dichas coordenadas cartesianas medias en cada día de proceso de datos.

EPSA	X (metros)	Y (metros)	Z (metros)
	Desv.X (metros)	Desv.Y (metros)	Desv.Z (metros)
15-I-2006	4830657,4207	-395397,6128	4133872,8708
	0,0029	0,0011	0,0027
19-I-2006	4830657,4265	-395397,6148	4133872,8691
	0,0030	0,0008	0,0027
01-II-2006	4830657,4296	-395397,6174	4133872,8748
	0,0023	0,0010	0,0021
15-II-2006	4830657,4644	-395397,6170	4133872,8870
	0,0038	0,0011	0,0036
01-III-2006	4830657,4575	-395397,6162	4133872,8862
	0,0027	0,0006	0,0025
Coordenadas promedio en cada día de observación			

Se observa claramente que la diferencia entre ellas no superan los 4 centímetros para la coordenada X y 2 centímetros para la coordenada Z mientras que para la coordenada Y el valor es inferior a 5 milímetros. Evidentemente, el valor que se ajuste con estos datos proporcionará una mayor homogeneidad como se comprobará en el siguiente apartado.

AJUSTE DE LAS COORDENADAS EN EL SISTEMA DE REFERENCIA ETRS89

La aplicación LGO3.0 incorpora un módulo de ajuste de redes denominado MOVE3.0 con el que se va a proceder a un ajuste de la red configurada de la misma manera se propuso para la solución de las líneas base. El ajuste se realiza forzado (para 3D), sobre el sistema de coordenadas WGS84 y altura elipsoidal. En todos los casos se utilizan 5 estaciones conocidas y una (EPSA) desconocida, lo que proporciona 195 grados de libertad. Respecto a las pruebas realizadas se toma, también en todos los ajustes, valores para los intervalos de confianza de $\alpha = 5\%$ y $\beta = 80\%$ y para $\sigma = 10.0$ (a priori).

EPSA	X (metros)	Y (metros)	Z (metros)
	Desv.X (metros)	Desv.Y (metros)	Desv.Z (metros)
15-I-2006	4830657,4454	-395397,6129	4133872,8767
	0,0036	0,0016	0,0031
19-I-2006	4830657,4492	-395397,6153	4133872,8771
	0,0037	0,0017	0,0032
01-II-2006	4830657,4559	-395397,6175	4133872,8835
	0,0034	0,0016	0,0030
15-II-2006	4830657,4663	-395397,6168	4133872,8895
	0,0038	0,0018	0,0033
01-III-2006	4830657,4683	-395397,6154	4133872,8907
	0,0026	0,0012	0,0022
Coordenadas cartesianas ajustadas en cada día de observación			

Con estos parámetros, el cuadro anterior y el siguiente cuadros muestran respectivamente las coordenadas cartesianas y geodésicas ajustadas para cada uno de los días, así como las desviaciones estándar en cada una de las tres coordenadas.

EPSA	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud elipsoidal (metros)
	Desv.Lat. (metros)	Desv.Long. (metros)	Desv.Alt. (metros)
15-I-2006	40° 39' 04",039988	4° 40' 45",575693	1176,8215
	0,0021	0,0016	0,0043
19-I-2006	40° 39' 04",039914	4° 40' 45",575781	1176,8248
	0,0034	0,0018	0,0035
01-II-2006	40° 39' 04",039926	4° 40' 45",575849	1176,8341
	0,0019	0,0016	0,0041
15-II-2006	40° 39' 04",039857	4° 40' 45",575784	1176,8459
	0,0021	0,0017	0,0046
01-III-2006	40° 39' 04",039844	4° 40' 45",575719	1176,8481
	0,0015	0,0012	0,0031
Coordenadas cartesianas ajustadas en cada día de observación			

Podemos escribir estas coordenadas en proyección UTM sobre el elipsoide WGS84 a fin de poder comparar por separado las desviaciones en planimetría y en altimetría obteniendo el siguiente resultado (evidentemente, las desviaciones son las mismas que para el caso de las coordenadas geodésicas y ya no las consideramos).

EPSA	X UTM	Y UTM	Altitud elipsoidal (metros)
15-I-2006	358020,8687	4501385,1714	1176,8215
19-I-2006	358020,8666	4501385,1691	1176,8248
01-II-2006	358020,8650	4501385,1695	1176,8341
15-II-2006	358020,8665	4501385,1673	1176,8459
01-III-2006	358020,8660	4501385,1714	1176,8481
Coordenadas cartesianas ajustadas en cada día de observación			

Escritas de esta manera, se observa más fácilmente como la diferencia en planimetría es de unos pocos milímetros, acumulándose hasta los dos centímetros en altimetría. Parece evidente pues que puede tomarse la media de las coordenadas obtenidas garantizando una precisión mejor que 5 milímetros para planimetría y 2 centímetros para altimetría. De esta manera las coordenadas medias ajustadas sobre el sistema de referencia geodésico ETRS89 asignadas de manera definitiva a la estación EPSA se presentan a continuación.

COORDENADAS FINALES ETRS89

Puesto que la diferencia entre todas las coordenadas obtenidas es muy pequeña, y no hay desviaciones importantes de ninguna de ellas, obtendremos las coordenadas finales como la media aritmética de todas.

ETRS89	X UTM (metros)	Y UTM (metros)	Altitud elipsoidal (metros)
EPSA	358020,8669	4501385,1689	1176,8349
Coordenadas de cuadrícula UTM medias ajustadas en ETRS89			

ETRS89	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud elipsoidal (metros)
	Desv. Lat. (metros)	Desv. Long. (metros)	Desv. Alt. (metros)
EPSA	40° 39' 04",039906 ± 0",0000579500	4° 40' 45",575765 ± 0",0000611817	1176,8349 ± 0,0120
	0,0034	0,0016	0,0030
	Coordenadas geodésicas medias ajustadas en ETRS89		

ETRS89	X (metros)	Y (metros)	Z (metros)
	Desv.X (metros)	Desv.Y (metros)	Desv.Z (metros)
EPSA	4830657,4570 ± 0,0101	-395397,6156 ± 0,0018	4133872,8835 ± 0,0066
	0,0034	0,0016	0,0030
	Coordenadas cartesianas medias ajustadas en ETRS89		

4. COORDENADAS ED50 DE LA ESTACIÓN EPSA

El procedimiento a seguir en este caso es el habitual para trabajos geodésicos o topográficos en los que los puntos que se utilizan para calcular los parámetros de transformación están a pocos kilómetros de la estación de la que se pretende obtener las coordenadas. En nuestro caso, puesto que el sistema en que se pretenden estas coordenadas es ED50, utilizaremos puntos que definen su marco de referencia, esto es, vértices geodésicos de la red de orden primer orden (si los hubiere) o del orden inferior como es el caso. No vamos a detallar un proceso ya del todo habitual y que nos proporciona unas coordenadas sobre ED50. Sin embargo hay que indicar que la altitud proporcionada en dicho cuadro no es la obtenida por la transformación de resultados GPS interpolando sobre las altitudes de los vértices de la zona sino que se ha sido realizada una línea de nivelación geométrica, con un nivel Leica NA2 y micrómetro de placas plano paralelas y un par de miras invar de 3 metros, en el marco de la asignatura de Levantamientos y Replanteos con GPS, de tercer curso de la titulación de Ingeniero Técnico en Topografía que

se imparte en la Escuela Politécnica Superior de Ávila. Gracias a los alumnos Gema Fajardo Manzano, Roberto Herrero Sanz, Evangelina Santos Rubio y Miguel Zamarreño Ortega, que han sido los artífices de ella. La estación de referencia ha sido la señal de nivelación número 309904, NGM250, situada en la estación de FFCC en Ávila capital. Las coordenadas se recogen en el siguiente cuadro.

ED50	X UTM (metros)	Y UTM (metros)	Altitud ortométrica (metros)
EPSA	358130,2945	4501592,0891	1122,5417
Coordenadas cuadrícula UTM medias en ED50			

COMPARACIÓN DE LAS COORDENADAS OBTENIDAS CON LAS TRANSFORMADAS CON LOS PARÁMETROS DEL IGN (APLICACIÓN MINICIRV)

En base a las recomendaciones de la comisión EUREF y del grupo VIII de EuroGeographics (realizadas en el ámbito europeo), sobre la adopción de un sistema de referencia común y compatible con el uso de sistemas de posicionamiento global (que utilizan sistemas de referencia geodésicos globales y no locales como es el caso del actual ED50), el IGN español ha contado con las coordenadas de más de mil puntos tanto en el sistema ED50 (European Datum 1950 – Antiguas redes geodésicas) como en el sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989 – Nuevas redes geodésicas, IBERIA95 y REGENTE); además se cuenta con que las coordenadas ortométricas de los vértices utilizados han sido obtenidas por nivelación desde clavos de la red geodésica de nivelación. Con este planteamiento, se ha implementado sobre el formato rejilla propuesto por canadienses y australianos (y que permite la utilización de diferentes rejillas a fin de implementar estas cuando en una zona concreta se disponga de mejor transformación) una aplicación no exenta de problemas locales (Pérez y Núñez 2006) que permite la transformación del sistema ETRS89 a ED50 (y viceversa) denominada MiniCurv. La utilización de esta aplicación ha proporcionado unas coordenadas ED50 (sólo planimétricas, pues no está implementada la transformación altimétrica) de EPSA a partir de las obtenidas por ajuste en ETRS89 que se dan a continuación, tanto en el sistema UTM como en coordenadas geodésicas.

EPSA	X UTM	Y UTM	Huso
	358130,357	4501592,148	30
Coordenadas cuadrícula UTM medias en ED50			

EPSA	Latitud (N)	Longitud (W)
	40° 39' 08",2916366	4° 40' 40",746246
Coordenadas geodésicas ED50 transformadas con MiniCurv		

Como se observa, la diferencia entre las coordenadas obtenidas por el procedimiento habitual y las proporcionadas por la transformación oficial es de unos 6 cm tanto para la X como para la Y, y están dentro del rango de los valores esperados. No hay comparación para la altimetría pues no está implementada en la transformación de MiniCurv.

	X UTM	Y UTM
EPSA-ROI	358130,295	4501592,089
EPSA-MiniCurv	358130,357	4501592,148
DIFERENCIA	0,062 metros	0,059 metros
Diferencia de coordenadas cuadrícula (UTM) calculadas a partir de la ROI y transformadas con MiniCurv		

5. CONTROLES DE CALIDAD

Con el fin de comprobar la garantía en la precisión de las coordenadas obtenidas en el sistema ETRS89 para la estación EPSA, comprobaremos que esta ronda los ± 0.02 metros en planimetría y los ± 0.05 metros en altimetría, y que estas precisiones son coherentes con la precisión local interna de la implantación de ETRS89 en España.

En el siguiente cuadro se recogen las coordenadas obtenidas para EPSA con las mismas estaciones utilizadas en el cálculo anteriormente expuesto pero realizando un ajuste libre de la red, esto es fijando para cada cálculo sólo dos de los puntos y dejando libres los demás. La bondad de las observaciones ha sido comprobada con la realización de un ajuste libre de la red que proporciona errores medios cuadráticos inferiores al milímetro y elipses de error de semiejes inferiores al centímetro en todos los casos para planimetría, y un error kilométrico medio de 0.002 metros para la compensación altimétrica.

Coordenadas UTM del ajuste libre			
Sistema de referencia utilizado	X UTM (metros)	Y UTM (metros)	Altitud ortométrica (metros)
UPM-SONS 84.246 Km	358020,918 -0,051	4501385,164 0,005	1176,867 -0,032
UPM-CACE 252.857 Km	358020,887 -0,020	4501385,162 0,007	1176,885 -0,050
SONS-CACE 205.453 Km	358020,869 -0,002	4501385,184 -0,015	1176,793 0,042
SONS-IGNE 88.262 Km	358020,906 -0,039	4501385,155 0,014	1176,831 0,004
SONS-YEBE 120.287 Km	358020,880 -0,013	4501385,180 -0,011	1176,797 0,038
CACE-IGNE 249.201 Km	358020,880 -0,013	4501385,162 0,007	1176,841 -0,006
CACE-YEBE 301.069 Km	358020,871 -0,004	4501385,177 -0,008	1176,802 0,033
Coordenadas para EPSA obtenidas con ajuste libre. Debajo de cada coordenada se escribe la diferencia con las coordenadas ajustadas para EPSA en ETRS89			

Los parámetros sistemáticos de factor de escala y desorientación en acimut obtenidos en las diferentes compensaciones se dan en la siguiente tabla, pudiéndose apreciar que para las distancias entre los puntos de la red de enlace, las discrepancias pasadas a metros están en el orden de los 0,02 metros de media.

Sistema de referencia utilizado	Factor de escala	Desorientación (seg. sexagesimal)
UPM-SONS 84.246 Km	- 0,35 ± 0,04 ppm	0,03 ± 0,01 seg.sexsa.
UPM-CACE 252.857 Km	- 0,04 ± 0,01 ppm	0,01 ± 0,01 seg.sexsa.
SONS-CACE 205.453 Km	- 0,03 ± 0,02 ppm	0,02 ± 0,01 seg.sexsa.
SONS-IGNE 88.262 Km	- 0,37 ± 0,04 ppm	0,02 ± 0,01 seg.sexsa.
SONS-YEBE 120.287 Km	- 0,35 ± 0,30 ppm	0,01 ± 0,01 seg.sexsa.
CACE-IGNE 249.201 Km	- 0,09 ± 0,10 ppm	0,01 ± 0,01 seg.sexsa.
CACE-YEBE 301.069 Km	- 0,06 ± 0,10 ppm	0,01 ± 0,01 seg.sexsa.
Parámetros sistemáticos de factor de escala y desorientación para las distintas compensaciones realizadas con ajuste libre		

La segunda vía de control externo de las coordenadas de la estación EPSA se ha realizado también en dos sentidos. Por una parte se han procesado las líneas base desde dos estaciones que no han intervenido en el cálculo, pero que tienen asignadas coordenadas ETRS89 a partir de las estaciones REGENTE de la Comunidad de Madrid¹. Nos referimos a las estaciones permanentes GPS de la estación de seguimiento de satélites de la NASA situada en Robledo de Chavela (Madrid) y de la estación también de satélites de la ESA sita en Villafranca del Castillo (Madrid), nombradas con los identificadores MAD2 y VILL. En este caso se procedió a realizar un cálculo de las coordenadas de EPSA a partir de estas estaciones fijas, y comparar dicho resultado con el obtenido por el ajuste. Para ello se han procesado las líneas base MAD2-EPSA y VILL-EPSA para el día 4 de Enero de 2006. El resultado del proceso puede verse en los apéndices, y el resultado final se presenta en el siguiente cuadro.

¹ En realidad, MAD2 y VILL se calcularon y compensaron sobre ETRS89 en la red GeoMadrid, red geodésica con coordenadas en dicho sistema y cotas tanto elipsoidales como ortométricas que se ha realizado en la Comunidad de Madrid, y cuyas coordenadas, como las REGENTE, están en el orden centimétrico.

Coord. Ajustadas	X (metros)	Y (metros)	Z (metros)
Coord. de comprobación	X (metros)	Y (metros)	Z (metros)
EPSA	4830657,4570	-395397,6156	4133872,8835
	4830657,4783	-395397,6005	4133872,8939
Diferencia (metros)	-0,0197	-0,0151	-0,0104
Diferencia de coordenadas de EPSA compensadas y obtenidas por MAD2 y VILL			

Puede observarse que la mayor diferencia se corresponde con la coordenada X (que en España equivale básicamente a la altitud) mientras que las otras son del orden del centímetro y medio, lo que demuestra que la precisión de orden centimétrico que se comentó anteriormente se verifica.

Por otra parte, con estas observaciones, unidas a las utilizadas en el cálculo y ajuste de las coordenadas de EPSA, se ha procedido al ajuste de una red libre por la técnica de variación de coordenadas sobre el elipsoide WGS84, fijando exclusivamente un punto. La precisión de las observaciones quedan de manifiesto en el siguiente resumen de dicha compensación y ajuste y permite nuevamente comprobar la bondad de las coordenadas asignadas a EPSA, tanto en planimetría como en altimetría.

En el siguiente cuadro se presentan las coordenadas asignadas a EPSA (ETRS89) por la compensación y ajuste de la red, constreñida a las estaciones que han servido de referencia y las coordenadas compensadas mediante el ajuste libre de las mismas estaciones a las que se incorporado las observaciones realizadas desde las dos nuevas estaciones de Robledo de Chavela y Villafranca del Castillo. Puede observarse que la diferencia es del mismo orden que el planteado anteriormente y por tanto son conformes a las expectativas de precisión de la estación EPSA.

Coord. Ajustadas	X UTM (metros)	Y UTM (metros)	Altura ortométrica (metros)
Coordenadas de comprobación (ajustad.)	X UTM (metros)	Y UTM (metros)	Altura ortométrica (metros)
EPSA	358020,8669	4501385,1533	1176,8349
	358020,8710	4501385,1690	1176,8550
Diferencia (metros)	-0,0051	-0,0157	-0,0201
Diferencia de coordenadas de EPSA compensadas y obtenidas con ajuste de todas las observaciones y MAD2 y VILL			

Estas comprobaciones realizadas, por una parte de las observaciones GPS utilizadas en el cálculo y ajuste de las coordenadas EPSA (cuyo resultado ha sido chequeado en el ajuste de la red libre) y por otra parte

de las coordenadas compensadas a partir del cálculo de nuevas líneas base desde puntos ajenos al cálculo original, demuestra que se ha alcanzado el orden de precisión indicado en el ajuste de la estación de referencia permanente EPSA.

6. BIBLIOGRAFÍA

- BARBADILLO, A. *Et al: Proyecto Regente. Una nueva red geodésica Nacional.* Física de la Tierra, Núm 8. Madrid, 1996
- BENITEZ SÁNCHEZ, A. L. *Análisis histórico de las posiciones de las estaciones permanentes de Villafranca del Castillo y Robledo de Chavela con diferentes programas de cálculo y aplicación a la estación permanente GPS de la EUIT Topográfica de Madrid.* Revista Topografía y Cartografía. Volumen XXI, número 125. Noviembre-Diciembre 2004
- BOUCHER, C. *et al: Specifications for Reference Frame Fixing in the Analysis of a EUREF GPS Campaign,* VII Meeting of the EUREF WG in Berne, 1995
- CATURLA, J. L. *Sistema de Posicionamiento Global (GPS).* IGN, 1988
- CATURLA, J. L.: *REGCAN95. La nueva Red Geodésica de las Islas Canarias,* Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 1995
- CUADRADO, O., GARCÍA-ASENJO, J., HERNÁNDEZ, D. Y NÚÑEZ, A. *Planificación y ejecución de redes de control de calidad en procesos cartográficos: el proyecto RGPA en el Principado de Asturias.* Revista Topografía y Cartografía. Volumen XXI, número 125. Noviembre-Diciembre 2004
- GONZÁLEZ-MATESANZ, J, Y DALDA MOURÓN, A. *Modelos de transformación entre ED50 y ETRS89.* Instituto Geográfico Nacional. Madrid 2003
- GONZÁLEZ-MATESANZ, J, QUIRÓS, R, CANO, M., SÁNCHEZ SOBRIÑO, J.A., Y DALDA, A. *El cambio de datum ED50 – ETRS89: métodos y resultados.* Revista Topografía y Cartografía. Volumen XXII, número 130. Septiembre-Octubre 2005
- GURTNER, W. *et al: EUREF89 Solution.* Berna, 1992
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL: *El Proyecto IBERIA 95,* Madrid, 1995.
- NIMA. *World Geodetic System 1984.* 3ª Ed. Technical report NIMA TR8350.2. 1997
- OREJA, V. *et al: Campaña GPS EUREF89,* Madrid, 1990
- PÉREZ GUTIÉRREZ, M. Y NUÑEZ GARCÍA DEL POZO, A. (2006). *Análisis de la transformación nacional ED50-ETRS89, aplicada al ámbito territorial de la provincia de La Coruña.* Revista Topografía y Cartografía. Volumen XXIII, número 136. Septiembre-Octubre 2006
- PRIEGO DE LOS SANTOS, E. Y GONZÁLEZ-MATESANZ, J. *Catalogación de las estaciones de referencia GPS en España.* Revista Topografía y Cartografía. Volumen XXI, número 123. Julio-Agosto 2004
- QUIRÓS, R., CANO VILLAVARDE, M. A., SÁNCHEZ SOBRIÑO, J. A., Y VALDÉS PÉREZ DE RODRIGUEZ, E. *et al. IBERIA95. Red Peninsular de orden 0.* Pub. Téc. Nº 30. IGN. Madrid 1996
- SUBDIRECCIÓN GENERAL DE GEODESIA Y GEOFÍSICA: *Resultados Provisionales de la Campaña GPS IBERIA95,* IGN. Madrid, 1996
- VARGAS, M. *El servidor ftp de la red de estaciones permanentes GPS del IGN.* Revista Topografía y Cartografía. Volumen XXII, número 128. Mayo-Junio 2005

PÁGINAS WEB UTILIZADAS:

- Instituto Geográfico Nacional, <http://www.ign.es>
- Junta de Castilla y León, <http://www.jcyl.es>
- Red de estaciones IBEREF, <http://www.iberef-gps.com>
- ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía de Madrid, <http://gps.topografia.upm.es> ■

Los discursos de recepción del General Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero en representación de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Mario Ruiz Morales
INGENIERO GEÓGRAFO
UNIVERSIDAD DE GRANADA

I. INTRODUCCIÓN

Cuando el 22 de mayo de 1858 dio comienzo la medición real de la base central de Madrideojos, codirigida por el Teniente Coronel de Ingenieros Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero y por el Capitán de Artillería Frutos Saavedra Meneses, fueron muchos los miembros de la comunidad geodésica internacional que la contemplaron como un acontecimiento científico de primer orden y sin parangón, de ahí las expectativas que se despertaron. Sirva de muestra el hecho de que el gobierno de Francia decidiera enviar como observador cualificado a Aimé Laussedat, a la sazón Profesor de Geodesia en la prestigiosa Escuela Politécnica de París; el profesor tomó parte activa en la operación durante el día 24 de agosto del mismo año y posteriormente consiguió, con sus informes tan favorables, un pronunciamiento de la Academia de Ciencias de aquel país que llenó de satisfacción a la geodesia española y muy especialmente a sus dos principales protagonistas.

La repercusión de la medida en España fue igualmente notable. Baste decir que acto seguido se promulgó la llamada Ley de Medición del Territorio, de indudable importancia para la consolidación definitiva del proyecto cartográfico español, que basculaba en torno a la formación del Mapa Topográfico Nacional de todo el territorio, peninsular e insular. Teniendo en cuenta que el instrumento de medida (*La Regla de la Comisión*) fue diseñado por Ibáñez y por Saavedra, que fue construido bajo la permanente supervisión de ambos en los afamados talleres parisinos regentados por Jean Brunner y que los dos efectuaron también la propia observación sobre el terreno, se comprende que no tardaran en llegar para ellos honores más tangibles.

Frutos Saavedra fue nombrado miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales el día 4 de diciembre del año 1860, demorándose su toma de posesión hasta el día 23 de febrero de 1862; en ella leyó el discurso *"Progresos de la Geodesia"*, siendo contestado por el matemático Vicente Vázquez Queipo. Seis meses después, el día 11 de mayo de 1861, recaería el honor sobre Carlos Ibáñez, el cual tomó posesión el día 8 de marzo de 1863. El discurso de este último versó sobre el origen y progreso de los instrumentos de Astronomía y Geodesia. En esta ocasión el encargado de darle la bienvenida a la Academia fue el astrónomo Antonio Aguilar y Vela, quien afirmó que Ibáñez había *"escrito con sencillez y modestia, como debía esperarse de quien había consagrado al cultivo de la ciencia la mejor parte de su vida, no se sabe qué celebrar más en él, si lo bien concebido de su plan, la riqueza de detalles o la sagacidad suma con que están escogidos y analizados aquellos descubrimientos"*.

Es decir, que Saavedra vio recompensado su esfuerzo antes que su gran amigo, aunque el protagonismo de ambos fuese igualmente indiscutible. No obstante, parece cierto que la pronta desaparición del primero debió de contribuir, en cierto modo, al desconocimiento de su labor fuera del círculo de los especialistas. La desinformación llega hasta tal punto que ocasionalmente la figura de Saavedra¹ es eclipsada en gran parte por la arrolladora personalidad del segundo, reproduciéndose así la situación planteada un siglo antes con otros dos geodestas sublimes: An-

¹ En la revista *Dynamis* (Universidad de Granada. 2º semestre 2006) está previsto el artículo titulado Frutos Saavedra Meneses, Coronel de Artillería, Geodesta y Académico, con el que se pretende dar de nuevo a conocer la valía científica del personaje. En él se comentará con detalle su discurso de ingreso en la Real Academia y se aportarán algunas facetas de su vida profesional muy poco divulgadas.

tonio de Ulloa y Jorge Juan. En cualquier caso, debe tenerse presente que la amistad entre Ibáñez y Saavedra fue siempre incuestionable, así lo manifestaba Laussedat en la correspondencia mantenida con el futuro director del Instituto Geográfico, o este mismo en cuanto se le presentaba la menor oportunidad para manifestarse en ese sentido.

2. DISCURSO DE RECEPCIÓN AL NUEVO ACADÉMICO PEDRO ALCÁNTARA DE LA LLAVE

El general de Artillería Pedro Alcántara de La Llave y La Llave fue nombrado académico el día 7 de diciembre del año 1868, en sustitución de Frutos Saavedra Meneses, aunque el acto de toma de posesión tuviera lugar el 26 de marzo de 1871. Su discurso de ingreso lo tituló *"Reflexiones sobre la enseñanza de las matemáticas"*. Aunque no proceda aquí comentar con amplitud su contenido, me ha parecido conveniente transcribir una de sus manifestaciones en relación con la ciencia, las matemáticas y los jóvenes:

"Que se persuada que la mejor regeneración de un pueblo es aquella que él mismo se proporcione por la ciencia; que la ciencia es la verdad y que nada la simboliza e interpreta mejor que las matemáticas. Sean ellas alimento vigoroso de las jóvenes inteligencias, a las que comunican un criterio recto, un espíritu lógico de síntesis y de análisis, un amor grande, en fin, a lo cierto, el desdén que es consiguiente a las doctrinas frívolas, a las generalidades atrevidas y el brillante oropel con que se encubre a veces una falsa teoría".

El título elegido para el discurso no fue nada casual, ya que el interesado había ejercido como profesor en el Colegio de Artillería instalado durante tanto tiempo en el Alcázar de Segovia. Razones de elemental cortesía le obligaron, por otra parte, a glosar la figura del académico sustituido con verdadera emoción, poniendo de relieve sus méritos más sobresalientes como alumno, profesor, geodesta, militar y político (Saavedra fue Director General de Obras Públicas y Diputado por La Coruña en varias ocasiones).

Las palabras tan sentidas pronunciadas en este primer discurso tuvieron su continuación en la respuesta de bienvenida que efectuó el flamante Director del Instituto Geográfico, Carlos Ibáñez, aunque en esta ocasión hablase en nombre de la Academia. Durante su intervención repasó con cierto detenimiento las etapas más señaladas de la vida profesional de Saavedra, a quien en algún momento se refiere como *"... mi querido e inolvidable Saavedra Meneses"*. En la introducción apunta, con modestia, que él representa a la Academia en ese momento por el único motivo de su notoria amistad con aquél, añadiendo: *"nadie ignora las íntimas relaciones científicas que mantuvimos en los tres últimos lustros de su vida, y el fraternal cariño que ligó nuestros corazones"*.

La estancia de Saavedra en la fabrica de armas de Trubia la concreta un poco más Ibáñez, ya que indica que llegó allí con tan sólo veintidós años

y que fue la villa asturiana el *"primer teatro de sus importantes trabajos de artillero"*. De igual modo, da cuenta de sus Comisiones de Servicio a Bélgica, Francia e Inglaterra, con objeto de *"proyectar la completa reforma, tanto en el sistema general de los trabajos como en la maquinaria de la fábrica española, que había de quedar a la altura de los adelantamientos de la industria militar"*. Ibáñez apunta también que sus múltiples ocupaciones no le impidieron efectuar el levantamiento topográfico de la fábrica y alrededores, además de los planos de los hornos, máquinas e instrumentos recientemente colocados.

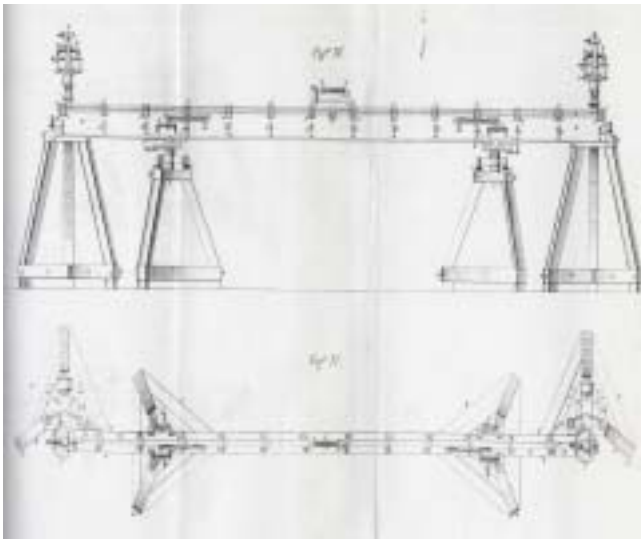
Como es de suponer, el relato adquiere mayor brillantez cuando se hace mucho más pormenorizado para poner de relieve la faceta geodésica de Saavedra. Al referirse a su periodo docente en el Colegio de Artillería, dijo Ibáñez: *"Profesor de fortificación, topografía y geodesia en la escuela de Segovia, reformó totalmente la enseñanza de las asignaturas puestas a su cuidado, compuso lecciones originales y dio más tarde a la estampa el resultado de sus estudios"*. Dejando atrás los meritos que mencionó Ibáñez con relación al tratado de fortificación, varias veces reeditado, conviene transcribir sus últimas palabras para esta etapa de la vida de su amigo: *"Sus lecciones en la cátedra de geodesia se llevaron a toda la altura que la ciencia había alcanzado y le dieron a conocer en este ramo, que el Gobierno español se decidía por fin a mandar cultivar prácticamente en la formación de un Mapa general del territorio, que por entonces se decretó"*.

Continúa Ibáñez comentando las actividades geodésicas en que participó tan activamente Saavedra desde que fue designado miembro de la Comisión del Mapa² a propuesta del Cuerpo de Artillería. El relato es una brillante síntesis de las operaciones en que se había de fundamentar la red trigonométrica de nuestro país, que tiene el mérito añadido de haber sido redactado por otro de sus indiscutibles codirectores, de ahí que se reproduzca íntegramente.

"A la Comisión del mapa envió el Cuerpo de Artillería, como su representante, al capitán Saavedra; y habiéndome cabido a mí la fortuna de formar desde el primer momento subcomisión con él, he sido testigo de sus importantes trabajos, que tendría gran placer en describirlos menudamente, si la ocasión y el lugar no me lo vedasen. El archivo del Instituto Geográfico, custodio de todas las observaciones y documentos relativos a las cadenas de triángulos que se extienden sobre nuestra Península, con el doble fin de establecer el fundamento del mapa y de contribuir con nuevos datos al conocimiento de la forma y dimensiones de la Tierra, es el más elocuente apologista de Saavedra en el tiempo que a las operaciones geodésicas se dedicó: proyecto de un gran aparato de medir bases; determinación de los

² La denominada Comisión del Mapa fue creada por real orden del nueve de noviembre del año 1853 y constaba de una presidencia, una vicepresidencia y ocho vocales. El presidente fue el mariscal Monteverde y el Vicepresidente el general Fernando García San Pedro. Los vocales fueron los capitanes siguientes: Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero (Ingenieros), Juan Manuel Recacho (Ingenieros), Frutos Saavedra Meneses (Artillería), Juan de Velasco (Estado Mayor), Joaquín Sánchez del Castillo (Estado Mayor), Pedro de Zea (Estado Mayor) y Fernando Monet (Estado Mayor).

coeficientes de dilatación lineal de las barras de platino y de latón que de él forman parte; comparación de estas barras con la célebre regla de Borda, núm. 1; medición de la base central de la red de primer orden; triangulación especial para el estudio de la cuestión tan debatida en el extranjero entre los partidarios de grandes y pequeñas bases;



Alzado y planta de la regla de la Comisión, un instrumento diseñado por Saavedra e Ibáñez y construido en París bajo la constante supervisión de ambos

cálculos de todas las observaciones por el método de los mínimos cuadrados; nivelación geodésica en las llanuras de Madrudejos; proyecto de una cadena de triángulos que, partiendo de la base central y siguiendo la dirección del meridiano de Madrid hacia la costa Norte, se prolongase después a lo largo de ésta hasta enlazar con la red de triángulos francesa; redacción de los dos volúmenes publicados hasta el día sobre las operaciones geodésicas de España, en la cual tomó una parte muy principal. Tales son sus trabajos más importantes, cuya enumeración basta para justificar la reputación de su autor; reputación que ha traspasado el valladar del Pirineo y que he tenido el placer de oír proclamar por los sabios más eminentes en diversas naciones de Europa³.

Desde el principio de las operaciones geodésicas para el nuevo mapa dio ya Saavedra numerosas muestras de clarísimo talento, de vasta instrucción, de laboriosidad sin igual y de una especialísima aptitud para las delicadas ob-



Detalle de la medida efectuada en la Base de Madrudejos con la regla de la Comisión del Mapa, la ilustración original forma parte de la publicación realizada al efecto por Saavedra e Ibáñez: Base central de la triangulación geodésica de España, editada por Rivadeneyra. Madrid (1865)

servaciones que llevó a feliz término. Por espacio de seis años tuve la dicha de compartir con mi malogrado amigo algunas de las tareas de que fue encargado; seis años hemos vivido casi constantemente bajo el mismo techo o nos hemos cobijado en la misma tienda, sin que jamás desmayase su ánimo esforzado ante los penosos trabajos y continuas privaciones a que se veía expuesto y que afrontaba con perseverancia verdaderamente ejemplar⁴.

El discurso de Ibáñez se refirió, acto seguido, a la actividad militar de Saavedra, destacando su participación en la campaña africana y los importantes servicios que prestó en aquella contienda, sin dejar de citar sus singulares trabajos científicos como director de la Escuela de Tiro, aunque optase por no concretarlos: "no los considero propios de este lugar, y con gran sentimiento renuncio a mencionarlos", afirmó. Sin solución de continuidad, se lamenta Ibáñez del camino político emprendido por Saavedra: "¿Por qué vino la política a arrebatarnos a nuestro colega, entregado hasta entonces sin reserva a las tareas científicas y literarias, para lanzarlo en las agitadas luchas del Parlamento y en los cuidados de la Administración, que no dejan ni un momento de solaz?". Poco más adelante formula de nuevo otra pregunta: "¿Qué no podían las ciencias y las letras esperar de él si hubiese continuado exclusivamente atento a su progresivo desarrollo, con la tranquilidad de ánimo que requieren tan pacíficas investigaciones?".

Tal como puso de manifiesto Ibáñez, Saavedra no descuidó sus estudios geodésicos durante su carrera política. Su aportación más sobresaliente fue el discurso "Los Progresos de la Geodesia", con el que ingresó en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, al que nos referiremos con mucho más detalle poco más adelante. Sin embargo, es bueno recordar en este momento que tuvo muy buena acogida. Ibáñez manifestaba que "la Academia lo recibió con notorias muestras de aprobación, y el público le tributó oportunamente sus alabanzas". Saavedra dio entonces una lección magistral, cuyo hilo conductor fue el desarrollo de la geodesia a través de la historia; su amigo transcribe un pasaje de la misma, ciertamente singular; referido a la expedición científica del virreinato

³ El reconocido prestigio internacional del proyecto geodésico español y de sus principales artífices continuaba intacto veinte años después, según se desprende de una sesión celebrada por la Academia de Ciencias de París, de la que Ibáñez era miembro corresponsal, el dos de febrero de 1891. Su Secretario, Mr. Bertrand dijo: "Lorsque le gouvernement espagnol, en 1852, voulut entreprendre la construction de une grande Carte topographique du Royaume, le capitaine Ibáñez fut désigné, en meme temps que le capitaine don Carlos (sic) Saavedra Meneses, pour préparer, sous la direction du general Marques de Hinojosa, la réalisation de ce vaste projet". "Les deux amis ne voulurent pas seulement construire une bonne Carte; leur noble ambition, qu'ils ont su réaliser, était d'associer leur pays au mouvement scientifique qui, parti, comme on sait, du sein de notre ancienne Academie, avait pour but l'étude de la figure de la Terre". "L'Espagne, en abordant la Géodésie scientifique, dépassait pour son coup d'essai la précision obtenue jusqu'alors par les plus habiles observateurs. Les noms d'Ibáñez et de Saavedra étaient désormais inséparables dans l'histoire de la Science".

SOKKIA

DITAC



GSR2700 ISX

TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN



ESTACION TOTAL ROBOTIZADA
SERIE SRX

CONFIANZA, INNOVACIÓN, SATISFACCIÓN. . . SENSACIONES QUE
ENCONTRARÁ EN EL NUEVO PROYECTO DE

SOKKIA ESPAÑA

DITAC SOLUCIONES
C/Albasanz, 14 Bis. 1ºE
28037 Madrid
Tel.: +34 91 440 13 20
Fax: +34 91 375 95 62

info@sokkiaditac.es
www.sokkiaditac.es

del Perú, dando cuenta de fenómenos físicos nunca observados hasta entonces, en el momento del orto del Sol. El comentario final, Ibáñez fue harto elocuente: *“no puede darse modelo más acabado de precisión científica y de elegancia literaria”*.

A continuación se centra Ibáñez en dos de los discursos pronunciados por Saavedra en el Congreso de los Diputados, diciendo a modo de justificación, *“porque ni quiero llegar a la linde que limita el campo político, ni abusar por más tiempo de vuestra benevolencia; pero esos discursos son puramente científicos y me habéis de permitir que os diga de ellos brevísimas palabras”*. El primero de ellos trataba de la importancia de los trabajos geodésicos, topográficos y estadísticos, transcribiendo Ibáñez el párrafo siguiente: *“Había triangulaciones geodésicas desde las costas del mar Glacial al Danubio, desde Irlanda hasta el mar Caspio; la Europa estaba cruzada de triangulaciones geodésicas; Portugal también las tenía; sólo España no había hecho en los tiempos modernos estos importantes trabajos. En otras épocas marchábamos a la cabeza de este movimiento científico; en el siglo de oro de nuestra literatura, también nuestros hombres de ciencia se ocupaban en estas materias; el primer arco de meridiano que se midió en Europa, lo fue en España en tiempo de los Reyes Católicos; la primera vez que los triángulos pasaron de los libros al terreno fue en nuestro país en tiempo de Felipe II; españoles, y españoles distinguidísimos, fueron a medir el famoso arco del Perú. Aquellas tradiciones gloriosas se perdieron, como tantas otras se han perdido, pero llegaron tiempos mejores y la Comisión Geológica primero, la del Mapa Geográfico después y la Junta de Estadística más tarde, han impulsado estos estudios y los han hecho con toda la perfección que permiten los conocimientos modernos”*. Al parecer, el discurso de Saavedra fue muy celebrado dentro y fuera de la Cámara, a tenor de lo comentado por el Director del Instituto Geográfico.

El segundo discurso, pronunciado algún tiempo después, versó sobre el fomento de la agricultura, una materia un tanto prosaica pero que fue tratada por Saavedra con una gran erudición, proponiendo durante el mismo los estudios y proyectos que convendría llevar a cabo para que se alcanzase en España el desarrollo deseado. Ibáñez reprodujo, también en esta ocasión, partes del discurso que evidenciaron los conocimientos geográficos de Saavedra, tanto en el aspecto geomorfológico como en el puramente descriptivo, además de sus innegables dotes literarias para tratar las cuestiones con exactitud y amenidad.

Seguidamente resalta Ibáñez la capacidad de análisis de Saavedra, a propósito del juicio crítico que realizó sobre la obra de Thiers (*Le Consulat et l'Empire*), un trabajo monumental (20 tomos) pero con una parcialidad manifiesta al tratar de España, que sólo puede explicarse por el recuerdo todavía vivo de la pasada guerra. El pronunciamiento de Saavedra fue meridianamente claro y al final irónico; éstas fueron sus últimas palabras: *“El Sr. Thiers pude, pues, sin grave inconveniente, apedillar «salvajes y feroces» a una parte de los habitantes de la Península; «fanáticos y furiosos» a los defensores de nuestras plazas fuertes; «miserables» y hasta «canibales» a los soldados de Bailén. La violencia misma de tales expresiones las hace del todo inofensivas y nada se opone, por lo tanto, a que el*

lector español lleve su consideración hacia el escritor extranjero, hasta el punto de no aplicarle, por respeto a su talento, el severo juicio que aparece al frente de uno de los volúmenes de la obra objeto de este artículo. Cuando dice el Sr. Thiers: «se ha dado uno espontáneamente la misión de referir a los hombres los grandes acontecimientos históricos, nada puede hacer más censurable que encubrir la verdad por falta de energía, alterarla por pasión, suponerla por pereza, y engañar, en fin, con intención o sin ella, a su propio siglo y a los siglos venideros»”.

A la vista de tales antecedentes, puede asegurarse que las inquietudes científicas y literarias de Saavedra fueron permanentes desde su estancia en el Colegio de Artillería hasta el final de sus días. La afirmación anterior cobra más verosimilitud añadiendo uno de los últimos comentarios que hizo Ibáñez en el discurso para elogiar⁴ su figura: *“La muerte sorprendió a Saavedra antes de que pudiera dar cima a dos importantes obras en que se había ocupado por espacio de algunos años: era la primera un mapa general de España, principalmente destinado a estudiar el relieve de nuestro territorio por medio de curvas de nivel, para cuya traza había llevado a cabo un extenso trabajo de compilación, reuniendo, después de someterlos a severa crítica, los numerosos datos de alturas sobre el nivel del mar que, con diversos objetos, se han obtenido en nuestro país por los diferentes cuerpos facultativos civiles y militares, así como por profesores y empresas particulares; la segunda obra era un concienzudo estudio de la meteorología en toda Europa, trabajo de grande utilidad que debemos lamentar profundamente no ver terminado”*. La última referencia de Ibáñez a Saavedra es realmente conmovedora, cuando solicita la benevolencia por haberse extendido quizás demasiado *“...pero el ilustrado auditorio no lo habrá llevado a mal, si ha tenido en cuenta que no lloró tan sólo al sabio Académico, al valiente soldado, al inteligente legislador, al distinguido literato y al virtuoso ciudadano, sino al cariñoso amigo, cuya memoria no se aparta ni un instante de mi mente”*.

Este discurso de Ibáñez finaliza con unos sucintos, pero interesantes, comentarios relacionados con el que había pronunciado Alcántara, a propósito de la enseñanza de las matemáticas afirmó que *“...el fin de la enseñanza de las matemáticas en la mayor parte de nuestras escuelas, debe ser la utilidad material que ha de resultar de las aplicaciones a las ciencias físicas y aún a las metafísicas, susceptibles de reducir sus cuestiones a número y medida; debiéndose desterrar de la cátedra y del libro de texto escolar toda doctrina que no tenga aplicación a la carrera que sea objeto de los afanes del discípulo”*. Continuaba Ibáñez asegurando lo siguiente *“...lo contrario puede decirse de las Universidades y de nuestras Escuelas especiales. En ellas debe el alumno no solamente completar la instrucción que recibió en la segunda enseñanza, de la cual la de las facultades es continuación, sino penetrar por completo en el dilatado campo científico, llegando, si es posible, hasta sus confines, variables con la marcha progresiva de la humanidad...Continúen, pues, nuestras Universidades y Escuelas superio-*

⁴ Ibáñez publicó en Madrid, durante ese mismo año de 1871, un trabajo monográfico titulado *Elogio del Coronel de Artillería D. Frutos Saavedra Meneses*. Saavedra falleció el día 23 de octubre de 1868.

res cultivando la ciencia hasta sus más elevadas regiones; ensanchen, si posible fuere, sus programas, dando entrada a ciertas materias que, como el cálculo de las probabilidades y método de los mínimos cuadrados, se han hecho ya de aplicación indispensable, no sólo a las ciencias físico-matemáticas, sino a algunas de las morales y políticas, y teniendo presentes las atinadas observaciones del Sr. La Llave relativas a los diversos periodos de la enseñanza, podremos prometernos que llegará un día en que la de las matemáticas alcanzará en nuestra patria toda la importancia que merece y la perfección de que es susceptible; aquel será un día de verdadero júbilo para esta Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales".



El escudo de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en una de las vidrieras que adornan su sede.

3. DISCURSO DE RECEPCIÓN AL NUEVO ACADÉMICO JOAQUÍN BARRAQUER Y ROVIRA

El Coronel de Ingenieros Joaquín María Barraquer y Rovira nació en Sant Feliu de Guíxols (Girona) en el año 1834. Al fundarse el Instituto Geográfico en Septiembre de 1870 se incorporó al mismo como geodesta⁵, aunque tal cuerpo se crease años después (Reglamento 27.IV. 1877 de la Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico), sin embargo se le reconoció una antigüedad mayor, pues había ingresado en el ejército muchos años atrás.

⁵ Barraquer ingresó como funcionario del Instituto Geográfico dentro del turno correspondiente a los Jefes y Oficiales del Cuerpo de Ingenieros. El reservar plazas de funcionarios para los integrantes de diferentes Cuerpos de la Administración civil y militar fue una práctica común en ese centro al cubrir las correspondientes al Cuerpo de Ingenieros Geógrafos, creado en el año 1900.

Su trayectoria profesional en tan novedosa institución fue brillante, aunque sólo se destaquen aquí dos de sus aportaciones más sobresalientes: una geodésica y otra gravimétrica. En primer lugar debe subrayarse su decisiva participación en el enlace astronómico y geodésico entre los continentes europeo y africano, llevado a cabo durante el verano y otoño del año 1879. Barraquer fue el jefe del equipo⁶ instalado en la cumbre del vértice Mulhacén, que junto al de la Tetica de Bares en Almería y a los argelinos de M'Sabiha y Filhaoussen conformó el cuadrilátero de observación. Los campamentos correspondientes estuvieron dispuestos para su empleo el 20 de agosto y los trabajos se dieron por concluidos el día 16 de noviembre de ese mismo año.

Para hacerse idea del impacto causado por tan difícil operación, se transcribe un comentario recogido en la revista *La Ilustración Española y Americana* (nº del 8 de marzo de 1880): "Nuestros geodestas y astrónomos han realizado, sin duda, el trabajo más grandioso que registra la historia de las ciencias, aplicado a la geografía matemática, y España y Francia pueden enorgullecerse de la más atrevida de las mediciones terrestres". La dirección superior del enlace recayó, como es sabido, en el General Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero y en el Coronel (luego ascendido a General) François Terrier; recuérdese que por aquel entonces Argelia era una de las colonias francesas. La dirección y permanente impulso del español fueron recompensados, diez años después, con el nombramiento de Marqués de Mulhacén.

La aportación gravimétrica de Barraquer no fue menos meritoria, pues con él y gracias a él se inició la gravimetría en el Instituto Geográfico y



Los dos generales que codirigieron el enlace hispano argelino de 1879. A la izquierda Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero, tal como figura en el archivo fotográfico de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. A la derecha el geodesta francés François Perrier, miembro de la Academia de Ciencias de París.

⁶ El Director General del Instituto Geográfico y Estadístico, Carlos Ibáñez, pensó en un principio en nombrar como responsable al geodesta Fernando Monet, aunque luego no pudiese hacerlo atendiendo a los problemas de salud de su antiguo compañero. Monet había trabajado con Ibáñez durante la medición de la Base de Madridejos y como él perteneció a la Comisión del Mapa. El también Coronel de Estado Mayor efectuó los reconocimientos previos al enlace en los meses de septiembre y octubre del año 1878, llegando a medir los ángulos correspondientes; en su informe aseguró que tan ambicioso proyecto era factible, si bien convendría aumentar la potencia de las señales luminosas con las que se identificarían cada uno de los vértices del cuadrilátero.



Péndulo construido por Repsold & Söhne (Hamburgo 1878) y usado por Barraquer para la determinación absoluta de la gravedad en el pilar del Observatorio Astronómico de Madrid. A la derecha se muestra el equipo pendular de Sterneck empleado por O. Hecker

Estadístico. Efectivamente, suyas fueron las primeras determinaciones de la intensidad de la gravedad, efectuadas sobre una señal colocada al efecto en el edificio nº 8 de la calle Jorge Juan de Madrid, la sede más antigua de aquella institución científica. Las medidas absolutas de la gravedad las realizó en el año 1877 mediante un péndulo de inversión fabricado en los talleres alemanes del astrónomo y constructor Georges Repsold. En tales medidas se apoyaría después cuando, durante las campañas de 1882 y 1883, hiciera lo propio con cuatro péndulos de inversión en el pilar erigido en la biblioteca del Observatorio de Madrid, fijando el valor de la gravedad en torno a $9.800156 \text{ ms}^{-2} \pm 0.000016 \text{ ms}^{-2}$. En años sucesivos se repitieron sobre el mismo pilar las observaciones gravimétricas, mereciendo especial mención las realizadas por el alemán Oscar Hecker en el año 1902 para enlazar el Observatorio con el de la ciudad de Postdam, pasando a ser Madrid una más de las estaciones de referencia europeas.

Barraquer vio también recompensados sus desvelos, puesto que el día 3 de abril de 1878 fue elegido miembro de la Real Academia de Ciencias en atención a sus indiscutibles méritos profesionales. No es demasiado aventurado suponer que los buenos oficios de Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero, como veterano Director del Instituto y aún más como Académico prestigioso, jugaran asimismo un importante papel. Sin embargo, la toma de posesión de Barraquer como nuevo académico se retrasó demasiado, pues tuvo lugar tres años después, concretamente el día 1 de mayo de 1881. El tema elegido para su discurso fue esencialmente gravimétrico, tal como evidencia su título, "Aplicaciones e importancia del péndulo en la investigación de la figura de la Tierra". Aunque el análisis del mismo queda fuera del alcance de esta publicación, no puedo dejar de comentar que se sintetizaron magistralmente las principales mediciones pendulares con aplicabilidad geodésica, desde las incipientes experiencias de Galileo y Huygens hasta las más detalladas y rigurosas del primer tercio del siglo XIX, sin olvidar, por supuesto, la celebrada y asombrosa me-

da de Cayena efectuada por Richer o las observaciones americanas debidas a P. Bouguer; a Jorge Juan y Antonio de Ulloa, enmarcadas estas últimas en la expedición al virreinato del Perú propuesta por L. Godin y financiada por la Academia de Ciencias francesa. Barraquer ejerció después como Tesorero y Bibliotecario de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

En esta ocasión, el discurso de bienvenida leído por Ibáñez fue marcadamente institucional, reflejándose tanto su posición al frente del Instituto Geográfico y Estadístico como su condición de presidente de la Asociación Geodésica Internacional. En su disertación, una brillante lección en la que se abordaba la reciente historia de la geodesia, se aprecian tres bloques perfectamente diferenciados y referidos respectivamente a su vertiente geométrica, física y metrológica, si bien no son en absoluto independientes, sino complementarios. Ibáñez lo explicaba a la perfección cuando, refiriéndose a los dos primeros, decía "...antes bien deben ambos concurrir para que los resultados se aproximen a la verdad. Pero, aunque inseparables en el momento de la discusión científica y de la asignación de los valores definitivos, conviene reseñarlos en dos grupos diferentes, con tanto más motivo cuanto que de la medición de arcos terrestres, por la que comenzaré, resultan, además de la figura, las dimensiones del Globo". Naturalmente, se refirió también durante su intervención a las singulares aportaciones del nuevo académico, su compañero de armas y subordinado en el Instituto, haciendo ver la importancia que tuvieron para perfeccionar el conocimiento de la forma y dimensiones de la Tierra.

La intervención de Barraquer mereció los siguientes elogios de su Director: "...un escrito tan bello, tan erudito, tan rico en pormenores, tan acabado, en fin, que dejaba completamente segado el vasto campo del tema elegido". El contenido de su conferencia lo justificó Ibáñez con una curiosa división de la geodesia efectuada a tal propósito: antigua, desde sus albores hasta la segunda mitad del siglo XVIII, nueva, desde entonces hasta el primer tercio del siglo XIX, y novísima (en repetidas ocasiones emplea el mismo superlativo) "... de la que hemos visto nacer en las costas del Báltico, de la que, fundada en principios más rigurosos de análisis, y utilizando los modernos adelantos de la física y de las artes mecánicas de precisión, se ha propagado rápidamente, progresando de continuo, hasta adquirir carta de naturaleza en todas las naciones de Europa, en las comarcas del Africa y del Asia a donde ha llegado la moderna civilización, y al otro lado del Atlántico, en las costas de los Estados-Unidos de América".

Como, en su opinión, Barraquer había tratado tanto de la geodesia antigua como de la moderna, él debería referirse solamente a la novísima para completar así las palabras de aquél, el cual es nuevamente alabado por Ibáñez recordando su directa participación en esa geodesia "novísima" mediante numerosos trabajos, que no había citado por modestia. Éstas fueron exactamente sus palabras: "... ha preferido no mencionarlos, a tener precisión de nombrarse alguna vez a sí propio".

Aunque continuase afirmando que sólo daría ligeras indicaciones, limitándose "... a dar la bienvenida al nuevo Académico, dejándole por entero



El heliotropo de Gauss entre el autor (I) y uno de sus discípulos, el astrónomo y geodesta H. Ch. Schumacher en su etapa de profesor en la Universidad de Copenhague

los honores de la jornada, que a él corresponden por ser el día de su ingreso y recepción solemnes”, lo cierto es que se trató tan sólo de un recurso dialéctico, ya que los comentarios de Ibáñez fueron prácticamente tan extensos como los de Barraquer. También recordó Ibáñez en esa fase introductoria la figura del General Antonio Terrero, Presidente durante muchos años de la Sección de Ciencias Exactas de la Academia y pionero de la Fotogrametría en España, cuya vacante iba a ser cubierta precisamente por Barraquer:

El resumen de la geodesia geométrica del siglo XIX lo comienza Ibáñez señalando el papel fundamental desempeñado por cinco de sus principales protagonistas: Gauss, Schumacher, Struve, Bessel y Reichenbach. Al primero de ellos le atribuye la dirección última de los trabajos realizados por Schumacher y Bessel, en Dinamarca y Prusia respectivamente, si bien hace mayor énfasis en su aportación más genuina “La aplicación del método de los mínimos cuadrados al cálculo de las observaciones geodésicas y de sus errores más probables, forma época en los anales de las mediciones, y tiene el raro privilegio de haber sido mantenida y progresivamente ensanchada desde hace sesenta años hasta el día, en que se halla universalmente adoptada en todos los países del antiguo y nuevo mundo”. Asimismo, dio cuenta de su genial aportación a la geodesia observacional, gracias a la invención del heliotropo “sencillo instrumento que, proporcionando la observación de la luz reflejada del Sol a largas distancias en forma de diminuta y brillante estrella, en vez de las antiguas señales de mampostería, y ofreciendo además un excelente sistema de telegrafía óptica, por medio de las ocultaciones de la luz, ha dado a las observaciones inesperada precisión, que las distingue de las que constituyen la segunda época geodésica”.

Al discípulo de Gauss le atribuyó el merito de haber enlazado el observatorio de Gotinguen con el de Altona, que él mismo fundó, además de la medida del arco de meridiano en Dinamarca “... uno de los más celebrados por sus excelentes condiciones de observación y cálculo”. Allí aplicó, según Ibáñez, “... el sistema de medir los ángulos geodésicos por reiteración, y también el procedimiento de hacer las lecturas en círculos de pequeñas dimensiones con microscopios micrométricos, a la manera que

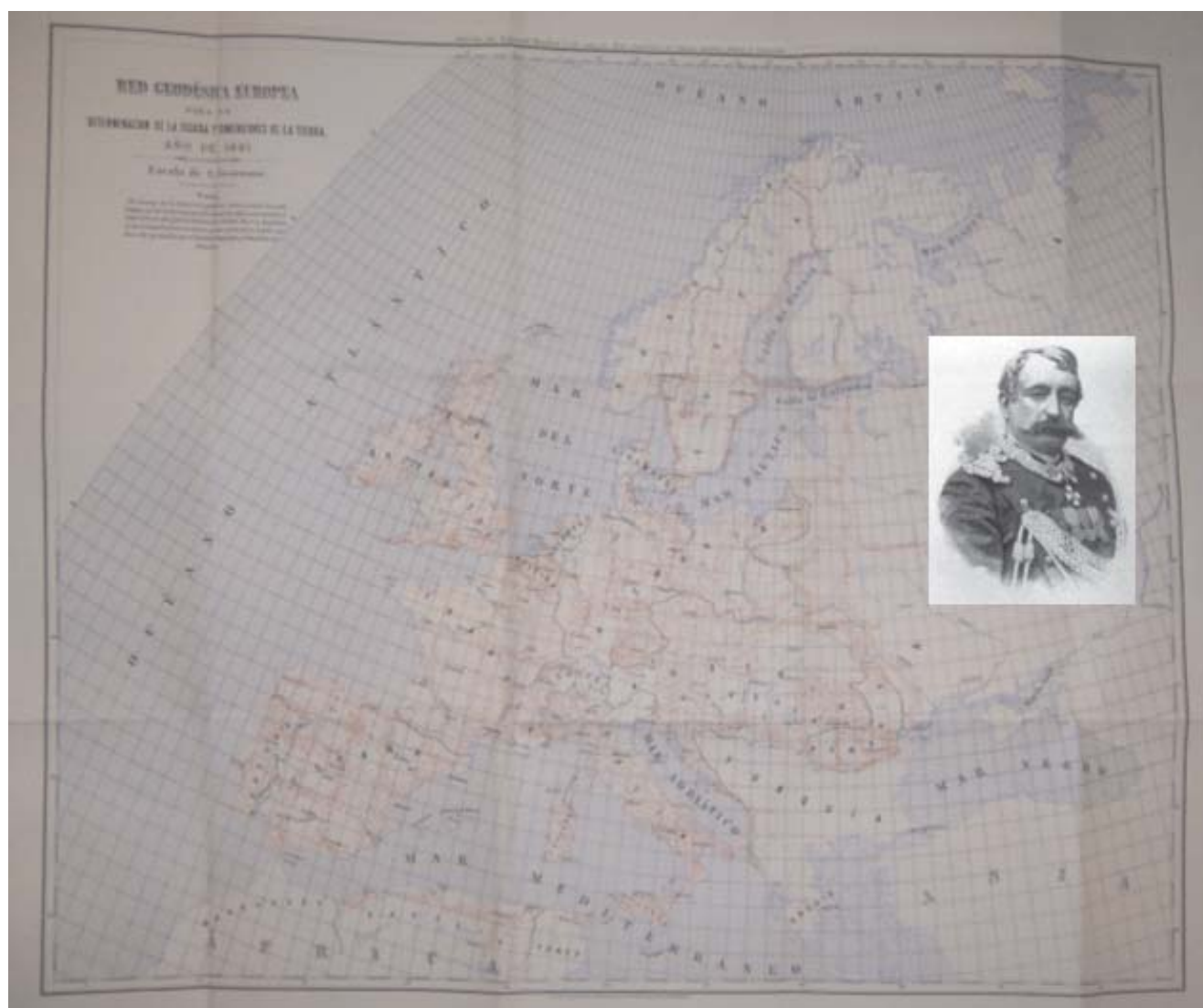
Ramsden los había aplicado en Inglaterra a los grandes círculos azimutales y zenitales”.

El párrafo dedicado a Struve es realmente ilustrativo, en él calificó al Director del Observatorio de Pulkovo como el más hábil observador de los tiempos modernos, además de principal impulsor de la medición del mayor arco de meridiano efectuada hasta entonces “el arco de más de 25º que se extiende desde la desembocadura del Danubio hasta el mar Glacial”. Ibáñez terminó insistiendo en la meticulosidad observacional del astrónomo y geodesta alemán: “Abandonado también por su parte desde 1823 el antiguo sistema de repetición, o multiplicación de los ángulos terrestres, y determinada la flexión que experimentan los anteojos, así como indicados los medios de eliminar sus perniciosos efectos, dotó a sus trabajos de una precisión que también correspondía a la nueva era geodésica por entonces inaugurada”. Es muy probable que al referirse a esos trabajos de Struve se apoyase Ibáñez en un mapa con las redes geodésicas configuradas a lo largo y ancho de los principales meridianos y paralelos de Europa, pues en la versión escrita de su discurso aparece una nota a pie de página que lo menciona⁷.



Vasilii Yakovlevich Struve, el primero de cuatro generaciones de brillantes astrónomos al servicio del Observatorio de Pulkovo. A la derecha el matemático Friedrich Wilhelm Bessel.

⁷ La nota en cuestión dice lo siguiente: Al fin de este Discurso se acompaña una lámina que representa la red geodésica, formada a costa de grandes sacrificios por las naciones europeas, y que alcanza toda la precisión requerida para concurrir a la determinación de la figura matemática y de las dimensiones de la Tierra.



Reproducción fotográfica del mapa varias veces citado y usado por Ibáñez durante su intervención en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Su título no deja lugar a dudas “RED GEODÉSICA EUROPEA para la determinación de la figura y dimensiones de la Tierra”. Su escala es de 1: 10000000 y se publicó en el año 1881; todo parece indicar que Ibáñez mandó confeccionarlo como soporte gráfico a su discurso. El mapa se imprimió en la Sección de Grabado y Litografía del Instituto Geográfico y Estadístico⁸. (Cortesía de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales). Dentro del mapa se ha superpuesto la foto del autor, el célebre general y matemático Ferrero, director que fue del Instituto Geográfico Militar de Italia y Doctor Honoris causa por la Universidad de Cambridge.

La referencia que hace Ibáñez de las tareas geodésicas de Bessel no puede ser más elocuente: “El pequeño arco de Bessel, continuado posteriormente por nuestro corresponsal el General Baeyer, nuestro venerable corresponsal, estableció, desde 1831 a 1838, un progreso tan marcado en la NOVISIMA GEODESIA, que todo cuanto desde entonces se ha hecho respecto a triangulaciones, es casi la reproducción de aquellos métodos de observar y calcular”. Más adelante añadía que gracias a su triangulación se pudieron enlazar las redes rusas con las de Francia, Inglaterra y Dinamarca, que había empleado en ella su propia regla de medir bases con

⁸ La nota que lleva la cartela del mapa, debajo de la escala, dice lo siguiente: “Por encargo de la Asociación geodésica internacional, hizo este trabajo, con los materiales facilitados por las diferentes naciones, el Señor Coronel del Ejército italiano D. Anibal Ferrero. Exceptuáanse las triangulaciones de Suecia y una parte de la Argelia, que han sido agregadas por el Instituto Geográfico y Estadístico de España”.

una indeterminación de 1/600000, que usó los heliotropos para mejorar las medidas angulares de las vueltas de horizonte y que los errores angulares cometidos en la red se compensaron “por el método de los mínimos cuadrados, y fórmulas en que ya se tiene en cuenta la forma esferoidal de la Tierra, dando nueva extensión a las teorías de Gauss”.

Tampoco dejó de señalar Ibáñez su importante trabajo⁹ del año 1841 sobre las dimensiones y la figura de la Tierra, basado en las mediciones de diez arcos de meridiano y 37 puntos astronómicos, “... el más apreciado entre todos los que le habían precedido”. La reseña la terminó Ibá-

⁹ Una de sus aportaciones más sobresalientes fue la definición de su propio modelo elipsoidal, mediante los parámetros $a = 6377.397155$ km y $\alpha = 1/299.1528$, con una amplia aceptación, hasta el punto de que continúa representándose todavía en las series cartográficas de diferentes países.



A.I.T.
ORSEÑOR, S.L.

*Nos introducimos en la
RED IBEREF al instalar
una antena GPS en
Berzosa del Lozoya
proporcionando una
cobertura total en la
Comunidad de Madrid.*

ALQUILER DE GPS

DESDE 900 €/mes

ALQUILER DE:

- *Estaciones totales*
- *Niveles ópticos*
- *Teodolitos*
- *GPS*
- *Niveles Electrónicos*
- *Niveles láser*

ALQUILER INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS



ORSEÑOR, S.L.

C/Nieremberg 31 - 28002 Madrid Tlf: 902 10 48 42 / Fax: 91 415 63 04

www.ait-orsenor.com ait-orsenor@ait-orsenor.com



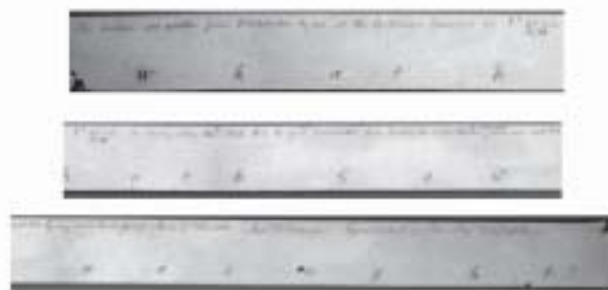
Busto de Georg Friedrich von Reichenbach en un museo de Munich (Ruhmeshalle) y una colección de sus instrumentos.

ñez así: "Tarea poco menos que interminable sería la de recordar, con ciertos pormenores, la influencia de Bessel en la época geodésica a que me refiero; mas parecen suficientes las indicaciones que preceden para demostrar que en su tiempo se realizó un cambio radical en la ciencia de medir el Globo".

Aseguró luego Ibáñez, con toda razón, que los progresos anteriores no hubiesen sido posibles sin contar con un desarrollo instrumental fuera de lo común, cuyo principal responsable fue para él el alemán Reichenbach, un oficial de Artillería que fundó en Munich un taller capaz de dividir los limbos con una extraordinaria aproximación. En este momento del relato se pone de manifiesto el saber de Ibáñez en ese campo (recuérdese que su discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias versó sobre ese particular) y su dilatada experiencia como observador cualificado, así terminaba su referencia: "Dado este primer paso, pudo aplicarse sin temor el sistema de reiterar, en diferentes lugares de la periferia del círculo, las amplitudes angulares comprendidas entre todas las direcciones que concurren en cada estación geodésica, así como sustituir los antiguos nonios con microscopios micrométricos, por cuyo medio se hacían mejores punterías sobre trazos de una gran regularidad, al par que la perfección de los tornillos micrométricos era ya segura garantía de la precisión de las observaciones. También la construcción de los niveles de los goniómetros, la de los anteojos, y la disposición general de los instrumentos portátiles, progresaron grandemente en los talleres de Reichenbach, a los cuales acudían, desde apartadas regiones, todos los observadores que rendían culto a la precisión".

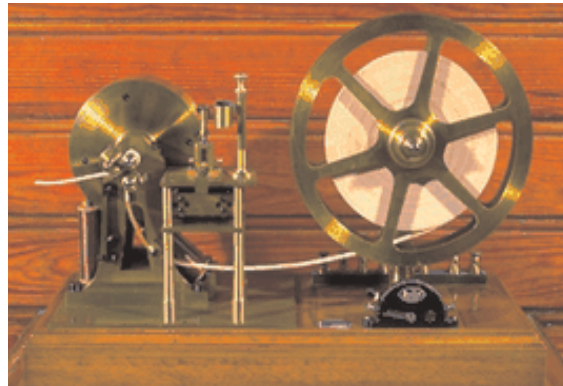
El discurso de Ibáñez cobra todavía mayor interés cuando se encarga de relatar, con evidente amenidad, unos acontecimientos de capital importancia en el desarrollo de la localización geográfica del territorio, pues apoyándose en ellos pudo resolverse definitivamente el secular problema de la determinación de la longitud. Ni que decir tiene que el protagonista de excepción en los mismos no fue otro que Samuel Morse. Así se expresaba Ibáñez: "Navegaba en 1832 a bordo del Sully, desde el Havre a Nueva-York, un renombrado pintor americano, que en los ocios de la travesía, departiendo con algunos pasajeros y meditando sobre los experimentos de Franklin, imaginaba los fundamentos del pequeño aparato que ha cambiado la faz del sistema de comunicaciones entre los habitantes de

la Tierra. Samuel Morse, que no era otro el pintor, hubo de dejar por entonces sin realización práctica su peregrina idea, que vimos planteada doce años después, cuando se puso en comunicación electro-telegráfica a las ciudades de Washington y Baltimore. No se hizo esperar mucho tiempo la aplicación de tan prodigioso invento a la geodesia, puesto que el mismo año de 1844 tuvo el Capitán Carlos Wilkes la idea de medir la diferencia de longitudes geográficas entre las mencionadas ciudades, valiéndose del telégrafo eléctrico, y dos años después la determinó Walter, por el indicado procedimiento, entre Washington y Filadelfia. Pero en las aplicaciones científicas era ante todo necesario determinar, con precisión, el tiempo invertido por la corriente eléctrica para recorrer la distancia que media entre los puntos unidos por un hilo telegráfico, experimento realizado con este objeto, bajo la dirección del mismo Walter, en el intervalo de 1849 a 1851. El promedio de los resultados concordantes entonces obtenidos entre diferentes líneas es de 24.800 kilómetros por segundo. El Nuevo Mundo se hallaba en posesión de un procedimiento completo para determinar la diferencia de longitudes geográficas, el cual ha llevado, con toda justicia, el nombre de método americano".



Un autorretrato de Samuel Finley Breese Morse (I) y el Capitán Charles Wilkes (D). Debajo de ambos aparece el primer mensaje telegráfico entre Washington y Baltimore, escrito por Morse a las 8h 45m del día 24 de mayo de 1844: What hath God wrought?

Como era previsible, las noticias de los experimentos americanos no tardaron en llegar a Europa, indicando Ibáñez que fue el astrónomo austriaco Joseph Johann von Littrow, Director del Observatorio de Viena, el primero en usar el nuevo procedimiento telegráfico para calcular la diferencia de longitudes entre Viena y Praga en el año 1851. La unión permanente entre los dos continentes no se consiguió hasta el año 1866, merced a los cables metálicos instalados en el fondo oceánico; fue entonces cuando, en palabras de Ibáñez, se "vio por primera vez tal maravilla: una diferencia de longitudes determinada a 4300 kilómetros de distan-



Los astrónomos J. J. Litrow (I) y William Cranch Bond (D), Director del Observatorio estadounidense de Cambridge. El cronógrafo Hipp del centro data del siglo XIX y se diseñó como complemento de un círculo meridiano fabricado por Repsold

cia por observaciones de las mismas estrellas". Seguidamente, detalla los resultados conseguidos: "El resultado alcanzado en tan extraordinaria operación fue que la diferencia de longitudes entre los observatorios de Cambridge, en los Estados-Unidos, y Greenwich, en Inglaterra, es de 4h 44m 30s, 99, con un error probable de una décima de segundo. Repetida la operación por el cable francés de Duxbury, en 1870, no difirió del anterior resultado obtenido más que en una centésima de segundo y el error probable de la determinación bajó a seis centésimas de segundo. Otra determinación se llevó todavía a cabo, en 1872, por el cable francés de Saint-Pierre, resultando la diferencia de longitudes exactamente igual a la anterior, hasta las centésimas de segundo inclusive, con un error probable de cuatro centésimas de segundo tan sólo. Maravillosa concordancia, que ensalza el sistema americano, cuya precisión era ya entonces tan grande".

Después refiere Ibáñez otro invento del año 1848 con especial incidencia en las observaciones de la astronomía geodésica e igualmente asociado a la determinación fiable de la longitud geográfica. En esta ocasión el inventor fue también americano, el astrónomo W. C. Bond, el cual lo ideó en plena efervescencia de las medidas americanas al respecto. La utilidad de tan ingenioso instrumento la describe Ibáñez a la perfección: "Desde la invención del cronógrafo, multitud de geodestas avezados a las observaciones terrestres, se han puesto, en cortísimo plazo, en disposición de observar los pasos de las estrellas y otros fenómenos análogos, con la misma precisión que el más hábil astrónomo de un observatorio y con una superior a la del más diligente observador que operase sin tan ingenioso aparato, el cual proporciona, además, la inapreciable ventaja de conservar la impresión gráfica del tiempo y de la observación del fenómeno en las cintas de papel, circunstancia que permite comprobar y rectificar el resultado de la observación cuantas veces se considere conveniente". Añade asimismo otros comentarios relativos a la ecuación personal, que ponen de manifiesto su experiencia y solvencia al afrontar las observaciones: "pero aún disponiendo de tan poderosos auxilios, no es posible prescindir de la corrección que proviene de la ecuación personal de los dos observadores que ocupan las estaciones entre las cuales se quiere conocer la diferencia de los tiempos locales. Los diferentes hábitos de observar, la mayor o menor bri-

llantez de las estrellas, su velocidad, la dirección de su movimiento y otras causas, que producen a veces sorpresa o inducen a retrasar el momento en que realmente se verifica el paso por los hilos, se deben medir o eliminar... Para la medición directa de la ecuación personal, hacen los dos geodestas reunidos repetidas observaciones astronómicas, de las cuales deducen su diferente manera de apreciar, o bien se valen de uno de los varios aparatos que se han ideado y construido con ese objeto... se marca eléctricamente el momento del paso, que, por su parte, aprecian y marcan en un cronógrafo cada uno de los observadores cuya ecuación personal quieren determinar: la comparación de las diferencias obtenidas por cada uno de ellos entre el instante preciso del paso y el de su apreciación, constituye la ecuación buscada".

Terminada su digresión instrumental, volvió Ibáñez a citar otras mediciones de arco de la segunda mitad de su siglo: "Pueden considerarse ya del dominio de la NOVISIMA GEODESIA en Europa, con todos estos adelantos, cuatro grandes arcos terrestres: el que, siguiendo aproximadamente la dirección del paralelo 52°, alcanza una extensión de



El astrónomo alemán Johann Jacob Baeyer, fundador de la Asociación Geodésica Internacional y amigo de Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero



El gran arco ruso-escandinavo de Struve con un desarrollo cercano a los 2820 kilómetros, los triángulos de la cadena tuvieron una longitud media de 30 kilómetros. En la foto de la derecha aparece el monumento colocado en Fuglenes (Noruega) la estación más septentrional del arco

69° de longitud, desde la isla de Valentia en Irlanda hasta los confines orientales de la Rusia europea, propuesto por Struve en 1857; el arco de meridiano ruso-escandinavo, mencionado anteriormente; el que en 1861 propuso el General Baeyer desde Noruega a Sicilia y, por último, el que desde el Norte de Escocia se extiende hasta los confines del desierto del Sahara", así como la gestación de la Asociación Geodésica Internacional a instancias de aquel general y astrónomo alemán.

De manera inmediata procedió a subrayar la calidad de la memoria con que Baeyer había defendido su propuesta: "la reseña más perfecta que ha visto la luz pública del estado que a la sazón alcanzaban los trabajos geodésicos del mundo entero".

El afecto que se profesaban Baeyer e Ibáñez era mutuo, pues aunque el proyecto geodésico y cartográfico de España estaba aún iniciando su primera fase de desarrollo, se pronunció el alemán en los siguientes términos: "España ha trazado un proyecto de trabajos tal, que, si se realizara, oscurecería todo cuanto en el dominio de la geodesia se ha intentado en el

Continente". Tras aceptar con legítimo orgullo la alabanza de su amigo, Ibáñez se vio en la obligación de matizarla con estas palabras: "Después de esta alabanza del decano de la NOVISIMA GEODESIA al examinar el proyecto español y de la duda que, al parecer, abrigaba respecto a su realización, solamente haré constar, para contentamiento de todos, que el proyecto se halla hoy puntual y completamente puesto en obra. Y es más, no se ha contentado España con hacer lo que entonces ofreció al mundo científico, sino que ha logrado inscribir su nombre, en unión del de otras naciones, en el mayor de los arcos de meridiano terrestres que hasta ahora se ha medido".

La afirmación de Ibáñez le valió para enfatizar aún más los trabajos geodésicos de Barraquer a lo largo de una porción sustancial del llamado meridiano de París, tan asociado a la primera definición del metro y a la definitiva implantación del Sistema Métrico Decimal; un logro científico de valor incalculable debido a la revolución francesa. Una vez formulada la pregunta "¿Quién fue el primer observador que puso la mano, con los recursos de la NOVISIMA GEODESIA, en la obra de Delambre, Mechain,



El enlace geodésico de las Islas Baleares, tal como fue presentado por Biot y Arago a las autoridades francesas, la unión de Mallorca con el resto de las islas se realizó bajo la dirección de Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero

Biot y Arago, que desde Dunkerque se extendía hasta nuestra isla de Formentera¹⁰”, era obvia la respuesta “Fue el individuo del Instituto Geográfico y Estadístico español que hoy ingresa en esta Academia, el cual, después de haber medido un arco de paralelo de siete grados de amplitud, que pasa por Madrid, rompió la marcha de Norte a Sur, comenzando por estacionar en el pico de Canigou, conocido y citado como el más importante del Pirineo oriental. Algunos años después imitaba Francia nuestro ejemplo y, siguiendo opuesta dirección, enlazaba en el mismo Canigou con nuestro trabajo, remontando hacia el Norte para rehacer la cadena de triángulos que conduce a Dunkerque, que salta a las Islas Británicas y que llega hasta Saxavord, en la región más septentrional de Escocia”. De nuevo debió volver Ibáñez a señalar sobre el mapa la cadena de triángulos a que se estaba

¹⁰ Ibáñez se refiere aquí sin nombrarlo al enlace geodésico de las islas Baleares con el litoral levantino, una operación comenzada por Méchain, continuada por Biot, Arago y el español Rodríguez, y finalmente lograda por Carlos Ibáñez. Aunque este iniciase los trabajos en 1865, cuando ocupaba el puesto de jefe del Distrito geodésico y catastral de Levante, no pudieron ultimarse hasta veinte años después por el compromiso adquirido con el gobierno francés con relación a otro enlace geodésico: el de Europa y África. Se evidencia por tanto la conocida modestia de Ibáñez al no hacer mención a su directa participación en el primero de ellos, aunque todavía no se hubiesen ultimado.



Dos vistas del vértice situado en el Pico Canigó (Canigou) inutilizado por la cruz y “adornado” con diferentes banderas, aunque ninguna representase al país en que está localizado el pico.

refiriendo, pues otra nota a pie de página remitía, en el discurso escrito, al mapa comentado en su momento.

Acto seguido, entró Ibáñez en los detalles de una de las operaciones geodésicas con mayor calado y que le llenaba de satisfacción: el enlace astronómico y geodésico entre España y Argelia, que había concluido nueve años atrás. Las medidas que se realizaron las enmarcó dentro de lo que denominó novísima geodesia, por considerarlas “con un error probable en los ángulos de tres décimas de segundo, y con un error probable en las mediciones lineales, por lo que a España toca, de 1/3000000 en vez de 1/600000 que Bessel alcanzó al inaugurarse la época de la geodesia presente”. También aprovechó Ibáñez su intervención para desquitarse de aquellos escépticos que dudaban acerca del proyecto hispano-francés y, por tanto, de su principal objetivo: lograr medir el desarrollo de un arco de meridiano mayor que todos los anteriores, ya que se extendería desde Escocia hasta los límites del Sahara. Así se pronunció al respecto: “La posibilidad se ponía por muchos en duda, y ahora que el enlace está hecho, con incomparable fortuna, debemos agradecer a los sabios de todos los países las alabanzas que han prodigado a esta empresa. No citaré más que



Dos vistas de la máquina magneto eléctrica de Gramme construida por la casa Bréguet de París. Tales generadores, con lámparas de Serrin adaptadas a los mismos, se instalaron en las cuatro estaciones del enlace hispano argelino.

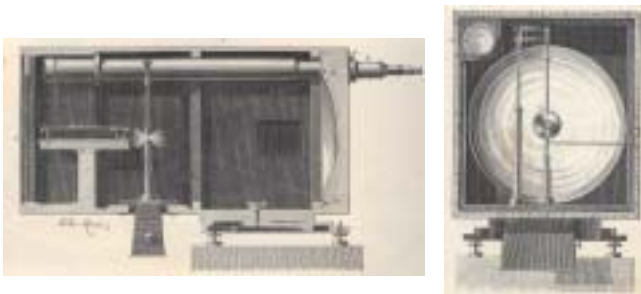
un ejemplo. Decía, no ha mucho, un docto geodesta extranjero: «la reciente operación del enlace de España y Argelia, es el más grandioso de todos los trabajos geodésicos emprendidos desde el momento en que Snell, en 1615, hizo ocupar a la geodesia el puesto que, entre las demás ciencias, le pertenece».

Añade Ibáñez un comentario interesante para aclarar cómo se consiguió la intervisibilidad de vértices separados más de 250 kilómetros y teniendo el mar en el centro del cuadrilátero como un elemento perturbador de primer orden: “estaba reservado al siglo del vapor y de la electricidad enlazar dos continentes por observaciones ópticas y con recíproca visibilidad, a distancia de 270 kilómetros. Máquinas de vapor eran los motores que producían la luz eléctrica en los dos elevados picos españoles y en los dos argelinos; colosales reflectores enviaban desde cada estación luz en tres diversas direcciones; un gran círculo azimutal medía en cada vértice los ángulos comprendidos entre las tres líneas aéreas que en él concurrían, formando entre todas un cuadrilátero, de inusitadas proporciones con sus diagonales”. La descripción del enlace geodésico se termina con la reseña anterior; aunque luego reconozca el mérito de sus principales operadores¹¹: “Francia y España, en fraternal colaboración científica, llevaron por partes iguales a feliz término, en 1879, la mencionada vasta y difícil empresa y los gobiernos de ambas naciones han merecido bien de la ciencia, por haber puesto en manos de los geodestas de entrambos países todos los elementos necesarios para su realización. También fue el Sr. Barraquer el jefe de la brigada geodésica que, por parte de España, concurrió a esta memorable operación, que Francia confiara al Coronel Perrier, nuestro corresponsal. Uno y otro tuvieron a sus órdenes ilustrados Jefes y Oficiales de Artillería, Ingenieros y Estado Mayor de ambos ejércitos, que han cooperado con éxito sin igual a forjar el inmenso eslabón geodésico de la cadena meridiana anglo-franco-hispano-argelina”.

La parte astronómica del enlace entre Europa y África fue tratada con mucho más detalle en el discurso de Carlos Ibáñez. Tras señalar que las estaciones astronómicas fueron los vértices Tetica y M'Sabiha y que en ambos se midió la latitud y el acimut de una dirección, pasa a describir

un procedimiento sumamente ingenioso¹² para calcular la diferencia de longitudes entre ambos: “...a falta de un cable telegráfico que los uniese, se aplicó un nuevo procedimiento, cuyos resultados han sido muy superiores a los que de él se esperaban y de todo punto comparables en precisión a los que proporciona el telégrafo eléctrico. Consistía, para la comparación de las horas locales, en observar desde cada continente las ocultaciones acompañadas o rítmicas de la luz eléctrica del otro, producidas por una pantalla movida por un péndulo; ocultaciones que debían quedar automáticamente marcadas en el cronógrafo del vértice de donde procedían. En el vértice en que se observaban, con el auxilio de un potente antejo, quedaban consignadas en el cronógrafo respectivo, de la misma suerte que los pasos de estrellas por los hilos del retículo, al determinar la hora local. Esto exigía la determinación de dos ecuaciones personales: una relativa a los pasos de las estrellas y otra correspondiente a la observación de los destellos luminosos, y así se hizo en efecto. Tan importante y difícil operación, que por parte de Francia estaba encomendada al mismo Coronel Perrier, fue dirigida en España por uno de los Académicos aquí presentes, el Astrónomo Señor Don Miguel Merino¹³, al cual se debe, además de las observaciones de la diferencia de longitudes, la difícilísima y arriesgada operación de montar, por primera vez a tan considerable altitud y sobre tales breñas, un péndulo eléctrico y de compensación de mercurio, que funcionó perfectamente mientras duraron los trabajos”.

Ibáñez termina sus comentarios sobre el enlace recordando las especiales dificultades orográficas y climatológicas de los dos vértices españoles, así como el sentido de la responsabilidad demostrado por sus dos directos responsables. El sentimiento con el que quedaron recogidos en su discurso y la conveniencia de volver a homenajear a los principales protagonistas me han parecido motivos más que suficientes para reproducirlos en su integridad: “Si en el Mulhacén, a 3.481 m sobre el nivel del mar, pusieron los elementos a prueba la perseverancia y el valor de los observadores, perdidos y como abandonados en aquella imponente y salvaje naturaleza, azotados por furiosos huracanes¹⁴, por nevadas y aguaceros tan copiosos como de fuerza desconocida para los habitantes de las llanuras; si hasta el rayo, cayendo en estrepitosa descarga sobre los mismos aparatos eléctricos, hicieron dudar un momento a los geodestas del éxito de la empresa, en la Tetica de Batares hubieron menester después los encargados



Dos vistas de los proyectores luminosos del Coronel Mangin empleados en el Enlace hispano argelino de 1879

¹¹ Aunque sea a título anecdótico, es preciso señalar que Carlos Ibáñez subió al vértice Mulhacén el día 1 de septiembre de 1879 con la intención de saludar al equipo de geodestas y con el ánimo de participar activamente en la observación, sin embargo no pudo conseguirlo tras tres días de infructuosa espera.

¹² Realmente el método empleado podía considerarse como una versión actualizada del procedimiento ideado por el francés La Caille en el año 1738: en las dos estaciones cuya diferencia de longitud se pretendía conocer se observaba la hora marcada por el reloj cuando aparecía el resplandor producido por la deflagración de una pequeña cantidad de pólvora.

¹³ Miguel Merino y Melchor era, en el momento de la alocución de Ibáñez, Director del Observatorio Astronómico de Madrid y gozaba de reconocido prestigio en la comunidad científica, no en vano había colaborado en las observaciones y cálculos necesarios para calcular la diferencia de longitudes entre Madrid y París, con intermedio en Biarritz. El día 15 de febrero de 1880, él mismo y Carlos Ibáñez presentaron en la Academia de Ciencias un resumen del enlace estructurado en dos capítulos: operación geodésica y operación astronómica, respectivamente leídos por el geodesta y por el astrónomo.

¹⁴ Con referencia a las inclemencias del tiempo, ha de señalarse que sufrieron vientos de hasta 130 km/h y que concretamente el día 18 de septiembre de 1879 cayó un rayo en la chimenea de una máquina de vapor, del Mulhacén, descargando a tierra a través de los conductores eléctricos. Afortunadamente, solo hubo que lamentar pequeños desperfectos y la momentánea pérdida de conocimiento de un soldado y de un cabo.

(1) Pudo dar ocasion al nombre de *Mulhacén*, contraccion de *Mulhacén*, el haber sido enterrado en aquel cerro un Santon ó sábio ermitaño, antiguo cliente ó vasallo feudal de Principe sarraceno, que morase en alguna de las próximas asperezas habitables de la Sierra Nevada; esto es مولّا (Mula, cliente) حسنى (Hacén, nombre propio de varon). Si esto fuese así, este nombre, aceptado por el geógrafo D. Tomás Lopez en su Mapa dado á luz el año de 1795, ha de ser preferible á los demás que al mismo pico se han dado. Pero, atendiendo á que no hay razon bastante que autorice la suposicion del enterramiento, y que en cambio corre en el país la tradicion de que se veian en aquellas alturas restos de murallas formadas con enormes piedras, podria proponerse como mejor etimologia la de معلى حصين (Mula, elevacion; hacén, fortificada).



Disquisición toponímica de Carlos Ibáñez a propósito del Mulhacén, tal como aparecía en su discurso de bienvenida a Barraquer. En la parte superior aparece la caseta empleada por los geodestas, tras su reconstrucción, durante la campaña del año 1931. En la parte inferior se aprecian los restos de la caseta en la actualidad. Hay que hacer notar que en la reconstrucción no se respetó el proyecto original, ya que la caseta se construyó en un principio con su cubierta plana para que quedase más de acuerdo con las costumbres de la región.

de la parte astronómica, tanta energía, tanta perseverancia y tanto valor como los que habían ocupado la atrevida cresta de Sierra Nevada. La tormenta espantosa y prolongada que llevó a la desolación, la miseria y la muerte a las ricas y amenas comarcas de Murcia y Orihuela, se cernió amenazadora sobre el puntiagudo cerro, desencadenándose bien pronto en torrentes de agua y lanzando descargas de horrible intensidad. Ni el Coronel Barraquer dispuso la retirada de Mulhacén, para lo cual estaba previamente autorizado, ni el Astrónomo Merino dejó más tarde su puesto de honor, a pesar de las contrariedades que se le presentaban y de lo avanzado de la estación, mediado ya el mes de octubre. La guarnición científica de Mulhacén completó en aquellos riscos los 71 días que la terminación de su trabajo exigió, y la de Tetica no descendió de su cumbre hasta el 20 de noviembre, cumplidos 50 días desde el de su ascensión".

Llegados al ecuador del discurso, opta Carlos Ibáñez por abordar la difícil cuestión de las altitudes, como nexo entre la geodesia geométrica y la física. En primer lugar menciona la definición dada por Bessel, en el año 1838, para la superficie de referencia con ellas relacionada: "...lo que es la superficie matemática de la Tierra, a la que es perpendicular en todos sus puntos la resultante de todas las fuerzas de atracción y de la fuerza centrífuga, o la supuesta prolongación de los mares al través de los continentes, como si se pusiesen aquellas masas de agua en comunicación unas con otras por medio de una red de canales imaginarios, ya no ha cabido duda acerca de cual es la superficie a que se llega cuando se determina la forma y dimensiones del Globo. Pero es forzoso estudiar y medir el relieve de su corteza sobre esa superficie de comparación, y esto, que se hacía ya de una manera imperfecta en las épocas de la antigua y nueva geodesia, es lo que ha recibido notables perfeccionamientos en la época actual".

Evidentemente, se estaba refiriendo Ibáñez a la superficie equipotencial del geode, aunque pueda ser comprensible que no la identificase con

ese nombre, ya que el vocablo había sido acuñado solo ocho años antes (1873) por el físico Johann Benedikt Listing, discípulo aventajado de Gauss. Lo que sí resulta sorprendente es que no citase Ibáñez la definición de la misma superficie que había realizado éste en el año 1828, dentro de la publicación en la que se detallaron las operaciones que condujeron a conocer la diferencia de longitud entre los observatorios de Göttingen y Altona. En ella afirmaba Gauss lo siguiente: "lo que llamamos la superficie de la Tierra en el sentido geométrico no es más que esa superficie que intersecta en todos lados la dirección de la gravedad en ángulos rectos, y parte de la cual coincide con la superficie de los océanos", la primera y quizás más clara y sucinta definición de geode.

Inmediatamente después demuestra Ibáñez toda su competencia al explicar los diferentes métodos de nivelación, recuérdese que fue el autor de la obra *Los estudios sobre nivelación geodésica* (Madrid 1864), citada por el gran Helmert en el segundo tomo de su tratado de geodesia (pág. 590). Así, al referirse a los métodos indirectos o trigonométricos,

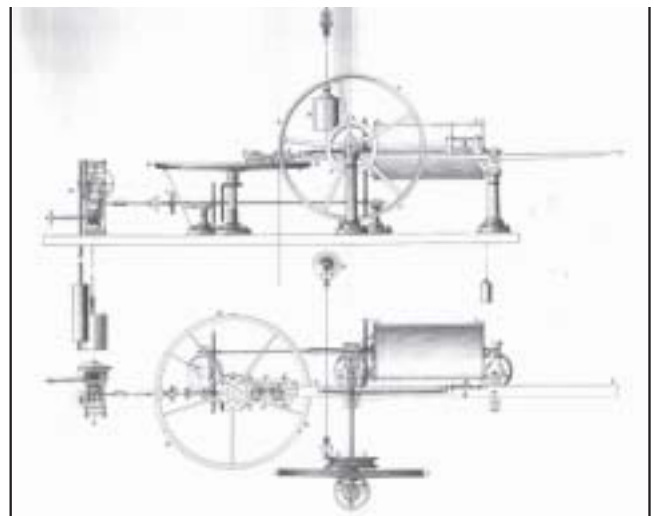


C. F. Gauss dibujado por Listing, el cual aparece fotografiado. Listing fue uno de sus brillantes discípulos, que brilló tanto en el estudio de las matemáticas como en el de la física.

apunta la dificultad de evaluar correctamente el valor de la refracción y la posibilidad de disminuir sus efectos aplicando el método de observaciones recíprocas y simultáneas, si bien añade con evidente rigurosidad: "El conocimiento de las trayectorias espaciales constituía ya un gran paso, porque hacía innecesaria la hipótesis, errónea a todas luces, de la igualdad de la refracción en dos puntos distantes entre sí, aunque la observación de las distancias zenitales fuese simultánea", reconociendo la aportación de Biot, que permitía calcular en cada caso las trayectorias luminosas correspondientes apoyándose en la ecuación diferencial propuesta por Laplace.

De ese modo, llega a mencionar la necesidad de recurrir a la nivelación geométrica como metodología capaz de abordar con éxito los planes previstos por la Asociación Geodésica Internacional para dotar a Europa de una red hipsométrica. La justificación dada por Ibáñez fue la siguiente: "La nivelación geométrica, que antes se aplicaba únicamente a trabajos especiales y de extensión relativamente corta, se ha perfeccionado notablemente, teniendo en cuenta todas las causas de error, y, con el nombre de nivelaciones de precisión, cubre ya una parte considerable del continente y avanza sin cesar hasta que sus polígonos, cada vez más divididos y subdivididos, formen una nueva envoltura del territorio europeo, a la manera que la red geodésica se ciñe a los pliegues de la corteza terrestre".

Igualmente digno de mención es el capítulo que dedica Ibáñez al nivel medio del mar y a la necesidad de determinarlo mediante mareógrafos, señalando que por aquel entonces ya existían más de sesenta instalados en las costas europeas y que su estudio era objeto de la novísima geodesia. Los párrafos dedicados a ello resumen el estado del conocimiento de aquella época. Después de asegurar que el único procedimiento conocido para obtener el nivel medio del mar se basa en el empleo del mareógrafo, continúa así: "Palmer lo empleó en 1831 al emprender sus estudios en los docks de Londres, y desde entonces se han hecho en él repetidas modificaciones, hasta llegar a conseguir que salgan del aparato las curvas diurnas, que representan no solamente el nivel medio general en aquel paraje, sino el movimiento mismo de las olas: datos preciosísimos, pero que,



Esquema del mareógrafo construido por F. H. Reitz para ser instalado al S.O. de Cádiz (1880).

una vez obtenidos, han menester todavía cálculos prolijos para deducir de ellos la altura media diurna del mar. Al Ingeniero hamburgués, Sr. Reitz, se debe el reciente perfeccionamiento del mareógrafo, por medio de cuya innovación, sin dejar de proporcionar la curva del movimiento del mar, excusa todo cálculo para deducir de la curva la altura media de las aguas, la cual se obtiene del aparato mismo. Dos tan sólo se han construido hasta ahora, de los cuales uno está funcionando a la proximidad del puerto de Cádiz". Ibáñez describe luego la aplicación final de todos ellos: "Determinada con los mareógrafos, y por espacio de algunos años, la altura media de los mares en varios puntos de las costas y enlazados los mismos puntos por medio de líneas de nivelación de precisión, toda la hipsometría de cada continente tendrá una referencia común y solamente de esta suerte se puede estudiar el relieve de la superficie del Globo".

Ibáñez finaliza su relato sobre la geodesia geométrica en Europa haciendo un bello recuento, a la vista del mapa ya citado, de las cadenas de triangulaciones efectuadas con el fin último de medir la Tierra: "Las abra-



El pico del Mulhacén, visto desde el Veleta, y un detalle del vértice geodésico que lo corona en la actualidad. Curiosamente, persiguen a este lugar las manifestaciones religiosas, la capilla que se observa puede considerarse continuación de la ermita que existió un poco más abajo, justamente en el pabellón que usaron los geodestas durante el año 1879 y que fue construido a tales efectos.

SETTOP AL-102

GPS RTK Doble frecuencia



SETTOP AL-102 El primer GPS fabricado en España

GPS RTK Doble frecuencia

TopoCenter PUNTOS DE APOYO TOPOCENTER EN SU ZONA:
BARCELONA 93 340 05 73 - 933 309 111 MADRID 91 371 82 90 - 929 990 874 LEVANTE 061 480 639 - 618 907 126
PWS WASC0 945 337 995 - 816 012 096 GALICIA 986 848 821 - 818 303 239 BALEARS 971 438 065 - 618 285 090

Bofarull, 14, bajos 08027 Barcelona
Tel. 93 340 05 73 Fax 93 351 95 18
www.al-top.com al-top@al-top.com

al-top
TOPOGRAFIA

sadas arenas del Desierto del Sahara pueden darse ya por enlazadas geodésicamente con las últimas islas de Noruega, en las heladas regiones del Polo; los septentrionales islotes de la poética Escocia, con las meridionales montañas de Sicilia; el imponente Mulhacén, vigilante centinela de nuestra rica vega de Granada, con los montes Urales, más ricos aún por los tesoros que en su seno depositó Naturaleza; el Mar Mediterráneo, con el Océano Artico; Mar del Norte, con el Negro; el Adriático, con el Báltico. Desde unos a otros se extiende no interrumpida red de triángulos esferoidales, que fijan y determinan la posición de sus vértices sobre el esferoide matemático terrestre y, por separado, hipsométrica red que proporciona la tercera coordenada de los mismos puntos, entre los cuales se cuentan todos los observatorios astronómicos”.

Ibáñez continuó describiendo el panorama en otras regiones del mundo: la India, Estados Unidos y Sudáfrica, si bien reveló con anterioridad que el detonante para el futuro desarrollo geodésico y cartográfico de Gran Bretaña había sido la rebelión de los highlanders (sofocada en el año 1745), confirmándose de nuevo la validez de una aseveración tan cierta como que los mapas son un poderoso instrumento de poder y gobierno. Igual sentido habría que darle a sus siguientes palabras: “Las mismas necesidades estratégicas y tácticas que el Gobierno inglés tuvo la Compañía de las Indias para disponer, a fines del pasado siglo, la triangulación de aquel vasto territorio y el arco de meridiano en él medido excede en otro tanto al de Inglaterra”.



El Coronel William Lambton (I) y Sir George Everest (D).

La reseña de la colonia inglesa valora en sus justos términos los innegables esfuerzos y otros méritos tanto de Lambton, dentro de la geodesia moderna, como de su inmediato sucesor Everest, en la geodesia novísima: “Si Lambton, una de las víctimas de acendrado amor a la ciencia, hubiese tenido a su disposición en aquellas inhospitalarias regiones los elementos de trabajo que después acumuló el capitán Everest, hubiera dejado resultados imperecederos, debidos a su gran perseverancia y a su extrema habilidad de observador: era una de las grandes dificultades con que luchaba, la de no poder distinguir las señales geodésicas ordinarias a través de



Mapa con las cadenas de triángulos a lo largo de los meridianos y de paralelos de la India, el arco del meridiano central era conocido por los geodestas ingleses como “Great Arc”. En la parte superior derecha aparece la estación, recientemente recuperada, desde la que inició Lambton su expedición científica; la señal está en la terraza de la iglesia situada en la cumbre del monte de Santo Tomás (Chennai). Debajo figura una de las torres que se construyeron como vértices del gran arco.

aquella atmósfera, sino en la época de las lluvias, circunstancia que le obligaba a desperdiciar las estaciones más sanas y más favorables para el trabajo del hombre; con el heliotropo, que más tarde inventó Gauss y aprovechó Everest, hubiera, como éste, variado por completo las épocas de los trabajos, reforma que por sí sola fue una verdadera revolución que cambió la faz de la geodesia índica".

Los resultados de los trabajos allí efectuados fueron harto elocuentes según Ibáñez: "Un arco de meridiano, conocido con el nombre de arco grande, de 24° de amplitud, con más de 30 estaciones astronómicas y cinco bases geodésicas, que parte del punto más meridional de la Península y llega hasta los pies del Himalaya, en los confines del Indostaní; otros cuatro extensos arcos de meridiano; tres arcos de paralelo, de los cuales uno alcanza 24° de amplitud; multitud de cadenas que enlazan unos con otros los mencionados arcos y, por último, una interminable cadena envolvente, que comprende más de 8000 kilómetros de extensión. Para dar idea del estado de adelantamiento de aquellos trabajos, basta decir que desde 1872 se emplea ya el telégrafo eléctrico para la determinación de la diferencia de las longitudes geográficas. En punto a relieve, ofrece también la India copiosos datos recogidos en sus extensas y excelentes nivelaciones geométricas, comenzadas en 1858, que alcanzan hoy una extensión de más de 6000 kilómetros lineales y que se enlazan con multitud de vértices geodésicos, de los cuales hay algunos que cuentan más de 6000 metros de altitud"¹⁵.

También merecen ser reproducidos en toda su integridad los comentarios, tan descriptivos como entusiastas, que hizo Ibáñez a propósito de las penalidades sufridas por los geodestas ingleses, trabajando en un territorio con un relieve tan acusado, con unas condiciones meteorológicas tan adversas y teniendo que soportar la incultura tan arraigada por la falaz interpretación de sus creencias religiosas. Así se pronunciaba Ibáñez: "Grandes han sido las penalidades que los ingleses hubieron de soportar en la India y las dificultades vencidas por ellos: la lucha constante con la insalubridad del clima, lucha en que han sucumbido muchos oficiales beneméritos; los impenetrables bosques a través de los cuales era preciso abrir anchas sendas; las horribles avalanchas que, desprendiéndose desde lo alto de las cimas, cortaban toda comunicación a los geodestas; la falta de medios de transporte, que obligaba a elegir entre la conducción a brazo o el empleo de grandes carabanas (sic) de elefantes; la carencia de personal auxiliar, que obligaba a confiar los instrumentos y aparatos de menor importancia a una advenediza multitud, reclutada en diversas comarcas y compuesta de menestrales pertenecientes a toda clase de oficios y aún de sacerdotes, que se presentaban con los trajes más singulares; el pánico que a estas gentes producía la idea de contribuir a unos actos inspirados por la magia y contrarios a su religión y cuyo temor les ha hecho en varias ocasiones abandonar espantados los objetos que de los geodestas habían reci-

do. Todas estas circunstancias contribuyen a que la geodesia índica sea una de las más difíciles que el hombre haya intentado y llevado a cabo. Los nombres de Lambton, Everest, Waugh¹⁶ y del General Walter, Director actual de aquellos vastos trabajos, así como los de todos los oficiales que en ellos han tomado parte, merecen el respeto y la consideración de los geodestas de las edades futuras".

La referencia relativa a la "geodesia novísima" norteamericana marca en un principio sus orígenes legislativos: "La ley relativa a la representación de las costas de la República, promulgada en 1807, fue letra muerta, con motivo de la guerra de 1812, y de vacilaciones administrativas, hasta 1832, en que, revalidada por los poderes públicos, tomó un carácter eficaz y permanente". Aunque los objetivos pretendidos eran satisfacer las necesidades de la navegación y la defensa estratégica de sus costas, también se contemplaba como posible su utilidad geodésica, tal como indicaba Ibáñez: "...y establecer a lo largo de ellas una red de triángulos que, en su día, pudiese servir a cada uno de los Estados de base para la formación de su mapa respectivo; pero al lado de estos beneficios de inmediata utilidad pública, tenía también la alta geodesia su participación, porque al proyectar tan dilatada red y al proponerse llevarla a cabo con todos los adelantamientos de la época, se allegaban valiosos datos para la determinación de la forma y dimensiones de la Tierra".

A esas alturas del siglo XIX se disponía en los Estados Unidos de una poderosa infraestructura geodésica, a tenor del relato de Ibáñez, quien además de reconocerles a los americanos aportaciones tan genuinas como el cronógrafo y el método telegráfico para calcular las diferencias de longitudes, hizo lo propio con las características básicas de la misma: "...como queda indicado, ha recibido de ellos incalculable presente con la red de gran precisión, que comprende una faja de 220000 kilómetros cuadrados, con 13 bases medidas, más de 400 estaciones astronómicas y sus correspondientes nivelaciones de precisión. Looor a los ilustres geodestas del Nuevo Mundo, desde el insigne Hassler, nacido en las montañas de Helvecia, hasta nuestros contemporáneos, los Patterson, Hilgard, Gould, Peirce y otros, por la imperecedera obra que han levantado allende los mares".

Al tratar de la geodesia africana, aseguraba Ibáñez que sólo sus costas septentrionales "habían sido visitadas por la NOVISIMA GEODESIA", recordando, sin citarlo, el enlace hispano argelino que codirigió. Refiere también las celebradas mediciones geodésicas y astronómicas del abad francés La Caille en la Ciudad del Cabo, en la mitad del siglo XVIII, con el fin de comprobar que el fenómeno del aplastamiento elipsoidal se presentaba con simetría en los dos hemisferios. Ibáñez recuerda, por otra parte, una circunstancia menos conocida, que fue considerada igualmente por el astrónomo a la hora de decidir viajar a un lugar tan re-

¹⁵ Fueron esos trabajos los que permitieron a la postre calcular la mayor altitud de la Tierra y colocar al mítico Chimborazo en el lugar que le correspondía. La altitud del Everest fue determinada en múltiples ocasiones desde que J. W. Armstrong le asignara 8778 m en el año 1847, en el año 1992 se fijó en 8846.10 m usando GPS. Aunque sea a título de curiosidad, conviene tener presente que la distancia al centro de la Tierra desde la cumbre del primero es mayor que la del segundo, como consecuencia del aplastamiento polar de la misma.

¹⁶ Sir Andrew Scout Waugh, nacido en la ciudad de Madras, aseguró que el Pico XV tenía una altitud mayor de 29000 pies (es decir poco más de 8839 metros, la altitud asignada en la actualidad es de 29035 pies, es decir alrededor de 8850 metros). En marzo de 1856, en una comunicación a la Royal Society, decidió honrar la memoria de su antecesor, identificando el Pico con el apellido de Sir George Everest.



Ferdinand Rudolph



Hassler, nacido en Aarau (Suiza), el padre de la geodesia americana y primer director del “Coast Survey”; bajo él aparece una caseta de observación instalada en uno de sus campamentos. A la derecha se presenta un mapa de la triangulación que realizó en “LONG ISLAND SOUND”.

moto: “De este famoso punto, cuya importancia en la historia del comercio del mundo no es necesario encarecer aquí, decía el abate de La Caille, que su verdadera situación ofrecía tales dudas, que los Geógrafos más célebres diferían en unas cien leguas¹⁷; y tanto para desvanecer esta vergonzosa duda, cuanto con el fin de realizar interesantes determinaciones astronómicas¹⁸ y la medición de un grado de meridiano terrestre por debajo del Ecuador, se ofreció el mismo Astrónomo a establecerse en aquellas latitudes, en donde midió, desde 1751 hasta 1753, un pequeño arco de un grado y un cuarto, con toda la precisión que en aquella época se podía alcanzar”.



Nicolas Louis de la Caille

Naturalmente, hizo saber Ibáñez que cien años después se mejoraron sensiblemente sus resultados gracias a la instrumentación y procedimientos de la geodesia contemporánea o novísima. Para entonces, el Cabo era colonia inglesa y contaba con un Observatorio Astronómico dirigido por Maclear¹⁹. El astrónomo irlandés decidió prolongar el arco meridional de La Caille, un empeño ambicioso que comenzaría en el año 1838 y que no se terminaría hasta 1857, logrando ofrecer a la comunidad científica, en palabras de Ibáñez, “un arco de meridiano de 4° 36’ 49”’; bellísima operación que comprende una base, 46 estaciones geodésicas, 6 astronómicas y una red hipsométrica, compuesta de 152 puntos, cuyas diferencias de altitud exceden alguna vez de 2.000 metros”.



Thomas Knight Maclear

¹⁷ Recuérdese que la equivalencia métrica de la legua es próxima a los cinco kilómetros, de modo que la incertidumbre en la localización de aquel lugar era del orden de 500 kilómetros.

¹⁸ Fue durante su estancia en Sudáfrica cuando se determinó por primera vez la distancia de la Tierra a la Luna en función de la paralaje diurna que presentaba allí y en Berlín, a donde se había trasladado Llande con igual propósito.

¹⁹ Maclear contó en sus operaciones geodésicas con la inestimable colaboración de Ch. Piazzi Smyth, otro geodesta ilustrado, que suspendió su colaboración al ser nombrado Director del Observatorio de Edimburgo, y viajero permanente: Egipto, Rusia y las Islas Canarias fueron algunos de sus lugares de trabajo. En el primer país aprovechó su estancia para estudiar la gran pirámide bajo el punto de vista geodésico, astronómico y metrológico.



La red geodésica para medir el nuevo arco de meridiano en Sudáfrica. Autorretrato de Charles Piazz Smyth, uno de sus observadores, y dibujo panorámico que realizó desde uno de sus vértices.

Termina el primer y más extenso bloque del discurso con un apretado resumen, en el que se pretende demostrar otra vez la supremacía de la geodesia contemporánea sobre las de épocas pasadas. Ibáñez selecciona para ello las peculiaridades que son propias del nuevo cálculo de observaciones, a la luz de la estadística, y lo hace con una didáctica brillante: "...en lo que a la medición de arcos de meridiano y de paralelo terrestres se refiere: entre todos los perfeccionamientos que han producido tan notable aumento de precisión en las observaciones y en los resultados definitivos, descuella la idea capital de las condiciones superabundantes, la cual conduce, por medio de la resolución de numerosas ecuaciones, a valores únicos, desapareciendo de esta suerte todas las contradicciones que se presentaban en los antiguos procedimientos de cálculo. En las primitivas triangulaciones, cada cuatro puntos daban tan sólo lugar a cinco líneas y a dos triángulos, que eran las condiciones suficientes; mientras que en las modernas redes se utilizan seis líneas y cuatro triángulos por cuadrilátero, y aumenta rápidamente su número con el de los lados de los polígonos. Para las nivelaciones se establecían antes líneas aisladas, que proporcionaban el correspondiente perfil del terreno y las diferencias de nivel de todos los puntos de cada línea como condición suficiente; al paso que actualmente se cierran grandes polígonos con las mismas líneas, lo cual da lugar a condiciones superabundantes, que han de quedar rigurosamente satisfechas. Al determinar diferencias de longitud geográficas, se ligaban solamente de dos en dos los puntos elegidos, y hoy se disponen inmensos polígonos en que entran diferentes esta-

ciones, y ofrecen igualmente condiciones geométricas superabundantes que se deben satisfacer para que exista la compensación general de los errores".

Llegado el discurso de Ibáñez al segundo bloque que comentábamos al principio, recalca el papel desempeñado por Bessel para que se pudiese desarrollar finalmente la gravimetría, manifestando que en él está el origen "de las modernas investigaciones sobre la figura de la Tierra, por medio de la determinación de la intensidad de la gravedad con el péndulo, aplicando el fecundo teorema de Clairaut. Las profundas investigaciones que, desde 1825 hasta 1828, llevó a cabo el ilustre astrónomo de Königsberg, y la determinación de la longitud del péndulo simple de segundos que hizo en Berlín siete años después, forman época en la historia de la ciencia, y determinan el tránsito de la NUEVA a la NOVÍSIMA GEODESIA. El péndulo de inversión, en el estado en que hoy lo utilizan los geodestas, se le debe en gran parte; porque ni Bohnenberger, al inventarlo, ni Kater al emplearlo, desde 1818, le dieron los perfeccionamientos que han resultado de las preciosas indicaciones de Bessel, cuyas notables modificaciones lo han convertido en uno de los admirables instrumentos que maneja el observador moderno".

El péndulo de Bessel lo construyó Repsold en el año 1864 y al año siguiente ya lo empezó a usar el físico suizo Philippe Plantamour. Con él se midieron además los valores de la intensidad de la gravedad en seis vértices de la red geodésica suiza, a tenor de lo que comentó Ibáñez, el cual continuaba dando cuenta de otras muchas observaciones gravimétricas:



El físico alemán Johann Gottlieb von Bohnenberger y un péndulo reversible de Katar de 1.7 m, obsérvese el detalle de la derecha.

"Siguiendo el ejemplo dado por esta nación, y bajo el patrocinio de la Asociación Geodésica Internacional, emprenden Austria, Baviera, Prusia, Rusia y Sajonia las determinaciones de la gravedad en sus respectivos territorios, y elevan el número de estaciones hasta 39, en la mayoría de las cuales se ha empleado el método de las coincidencias; pero los resultados en ellas obtenidos, aunque de una precisión en armonía con los adelantamientos modernos, no pueden considerarse más que como provisionales, porque los observadores no han tenido en cuenta una causa que ejerce gran influencia en la duración de las oscilaciones y en la longitud del péndulo simple: el movimiento que la oscilación del péndulo comunica a su trípode y, por lo tanto, a su plano de suspensión".

Precisamente, detalla después Ibáñez los estudios realizados sobre el plano de suspensión tanto por Pierce en los Estados Unidos como por Hirsch y el propio Plantamour en Suiza, aunque centrarse únicamente su atención en los que había efectuado el nuevo académico Barraquer como geodesta de la Dirección General del Instituto Geográfico y Esta-

dístico. Sus determinaciones de la intensidad de la gravedad son descritas, efectivamente, con todo detalle: "Provisto el Sr. Barraquer de un delicado aparato de reflexión, que amplifica con facilidad hasta tres mil veces, midió con el mayor esmero la corrección que debe sufrir la longitud del péndulo simple por la mencionada causa de error, cuando el aparato de inversión se halla montado sobre un trípode metálico especial, y obtuvo una cantidad considerable, dada la pequeñez absoluta de los elementos que se miden en ese linaje de experimentos. Y no contento con esta investigación, que le condujo a resultados concordantes con los obtenidos por los geodestas americano y suizos antes citados, preparó otro experimento que elimina por completo la falta de resistencia y estabilidad del trípode, puesto que el plano de suspensión del péndulo se hallaba sólidamente asegurado, por medio de un resistente brazo de bronce, a un pilar de una sola piedra de grandes dimensiones, sin descansar en el trípode. El movimiento perturbador se redujo de esta suerte a la décima parte del anterior, pero su influencia excede todavía mucho a cuanto es permitido tolerar en una determinación tan delicada y transcendental".



El físico Philippe Plantamour, pionero de la gravimetría moderna y Friedrich Wilhelm Bessel, junto a un antiguo grabado del Observatorio de Königsberg, en donde efectuó muchas de sus observaciones.



TECNOLOGÍA

INTEGRADA

TODA LA TECNOLOGÍA QUE NECESITA,
INTEGRADA EN UN SOLO SISTEMA

Con la nueva tecnología integrada de IS ROVER ya puede aprovechar todas las oportunidades de trabajo y ejecutarlas con la mayor calidad y rapidez, todo con un único sistema manejado por un solo operador, lo que permite al profesional trabajar con una alta capacidad tecnológica y una mínima infraestructura.

IS ROVER integra: Estación total Trimble S6, receptor R8 GNSS con correcciones de red VRS y controlador de campo TCS2 o CU, todo en un solo Instrumento.

La tecnología integrada de IS ROVER le permitirá rentabilizar más su trabajo aumentando su productividad al simplificar la implantación de equipos de campo y mejorar la metodología de trabajo.

 **Trimble**
AUTHORIZED DISTRIBUTOR

 **S&C**
Geo-tecnologías

Santiago&Cintra Ibérica S.A.

Barcelona 93 432 89 62

Madrid 902 120 870

Valencia 96 143 35 37

Sevilla 955 087 289

www.santiagoecintra.es



Charles Sanders Peirce y el suizo Adolph Hirsh, un astrónomo y geodesta amigo personal de Ibáñez y admirador de su obra, director del Observatorio de Neuchâtel.

Ibáñez continuó insistiendo en la necesidad de ser extremadamente riguroso al analizar el movimiento del péndulo pues “enseña un reciente experimento, hecho en la colina sobre la que se asienta el observatorio astronómico del Canton de Neuchâtel, que el movimiento de oscilación del péndulo de inversión se transmite además, ¿quién hubiera podido imaginarlo?, a la roca misma que sustenta el edificio. No hay, por lo tanto, duda alguna en que es forzoso medir en cada estación los movimientos de que depende la corrección, o eliminar sus efectos”. A ese propósito cita, por otro lado, el procedimiento ideado por el matemático y astrónomo suizo Charles Cellérier y presentado por él mismo en la asamblea que celebró la Asociación Geodésica Internacional en la ciudad de Munich. Tanto los pormenores del método como el consiguiente incremento de las tareas son referidos por nuestro protagonista en los siguientes términos: “...de hacer oscilar uno después de otro, sobre el mismo trípode, dos péndulos, de los cuales el uno pese aproximadamente la mitad del otro, pero cuya distancia entre los cuchillos sea en ambos casos la misma. Como el efecto perturbador de que se trata, es proporcional a la masa del péndulo que oscila, se podrá de esta suerte eliminar aquél, como lo ha probado el autor en la teoría matemática del procedimiento, presentada por él a la Asociación Geodésica Internacional reunida en Munic (sic), en donde acababa de alcanzar general aprobación. Nuevo programa de observaciones se presenta, pues, a la infatigable perseverancia de los geodestas: duplicar el trabajo de las oscilaciones, observando dos péndulos en vez de uno, o medir en cada caso, con un aparato especial, la influencia de las oscilaciones del plano de suspensión, para introducir en los resultados las correcciones correspondientes”.

Aclara después Ibáñez las innumerables correcciones que habían de tenerse en cuenta al procesar los datos proporcionados por las observaciones pendulares (en absoluto triviales), una vez que se refirió a los méritos contraídos por los geodestas en sus trabajos gravimétricos, de este modo se pronunciaba al respecto: “Aunque el péndulo de inversión tiene la inapreciable cualidad de eliminar la resistencia que el aire opone a las oscilaciones, se han hecho con él estudios bajo presiones próximas al vacío, y variando sucesivamente la presión dentro de la cámara en que oscilaba el péndulo. Objeto de concienzudo estudio y profundas investigaciones han sido

las diversas causas que podrían ocasionar errores, y que, por lo tanto, hacen introducir correcciones en la duración de la oscilación observada: la del tiempo, la de la amplitud de la oscilación, las de la presión y temperatura del aire, la de la dilatación de los metales, la del resbalamiento de los cuchillos, la de su deformación por el uso, la de la falta de igualdad de los mismos, la de la diferencia de estiramiento de la varilla cuando el disco lleno está arriba o está abajo, la de las oscilaciones del plano de suspensión, la relativa a la altitud de la estación en que se observa, y, por último, la que proviene de las respectivas influencias del Sol, de la Luna y de las mareas”.

Las recomendaciones dictadas por la Asociación Geodésica Internacional fueron prontamente cumplidas, a la vista de la información que obraba en poder de su presidente y que éste se encargó de trasladar a la concurrencia: “Las cinco partes del mundo han sido testigos de las investigaciones hechas por el hombre con el péndulo para determinar el aumento o disminución de sus oscilaciones a diferentes latitudes: más de 150 estaciones han ofrecido sus respectivos contingentes a la determinación de la figura de la Tierra y si bien Europa posee la mitad de ellas, hay región, como la India inglesa, que cuenta con un número considerable de determinaciones, modernas todas y de un interés excepcional, tanto por la posición geográfica de aquellas comarcas como por la proximidad de la gran cordillera del Himalaya, sobre cuyas elevadísimas mesetas ha oscilado hace apenas diez años el péndulo europeo...Una de esas elevadas mesetas del Himalaya, en los confines del Tibet chino, y cuya altitud excede de 5200 metros, vio sucumbir a uno de los geodestas más distinguidos del ejército inglés, el capitán Basevi, mártir de su ardiente abnegación por la ciencia, el cual, arrojando todos los peligros de tan arriesgada ascensión y los de la estancia de algunos días en tan espantable altura, subió a ella para determinar la intensidad relativa de la gravedad, sin conseguir otra cosa que morir en aquellas neveras, a centenares de kilómetros de todo auxilio, y antes de cumplir la edad de 40 años”.

Ibáñez no se extendió demasiado en sus consideraciones gravimétricas y siendo consciente de ello se autojustificó, afirmando que “El Sr. Barraquer ha enumerado los grandes servicios prestados ya por el péndulo a la determinación de la forma del Globo”, sin embargo supo aprovechar la ocasión

I. “Communication from the Secretary of State for India relative to Pendulum Observations now in progress in India in connexion with the Great Trigonometrical Survey under the Superintendence of Colonel J. T. WALKER, R.E., F.R.S.” Read by order of the President and Council.

India Office, S.W., 3rd October, 1870.

SIR,—I am directed by the Secretary of State for India to transmit to you, for the information of the President and Council of the Royal Society, the enclosed copy of a letter from Colonel Walker, the Superintendent of the Great Trigonometrical Survey of India, on the pendulum-observations that have been carried on since 1865 by Captain Basevi, together with a note, tabulated results, and a Map of India showing the pendulum-stations.

The Duke of Argyll will be obliged if, in accordance with Colonel Walker's wish, the President and Council would be so good as to furnish

Extracto de una comunicación a la Royal Society de Londres, dando cuenta de algunos de los trabajos gravimétricos del Capitán James Palladio Basevi, bajo la supervisión del Coronel (luego General) James T. Walker.

para denunciar una carencia manifiesta: La ausencia de medidas en las dos terceras partes de la superficie de la Tierra. Así lo hizo cuando anunciaba que se presentaba un amplio campo de experiencias, añadiendo *"con todas las precauciones y perfeccionamientos debidos a la NOVÍSIMA GEODESIA, principalmente en aquellas regiones en que, como en las vastas superficies oceánicas, no es posible establecer redes geodésicas para medir arcos terrestres. Las innumerables islas del Pacífico, por ejemplo, están convidando al geodesta a que sitúe convenientemente un sistema de estaciones de péndulo, cuyos resultados arrojarían vivísima luz en medio de las tinieblas en que yacen varios puntos esenciales de la geodesia"*.

Llegado Ibáñez a la penúltima fase de su discurso, una transición entre la geodesia y la metrología, se dedica a alabar nuevamente la trayectoria científica de Barraquer y a reconocer la mucha importancia de una de las aplicaciones más utilitarias de la geodesia. Las palabras de Ibáñez reflejan su legítimo orgullo por haber liderado e iniciado un proyecto cartográfico tan demandado por la comunidad científica, esto es, el Mapa Topográfico Nacional de España: *"Con excelente acuerdo os ha mencionado el nuevo Académico una de las más grandiosas aplicaciones de utilidad general que proporciona la geodesia: es a saber, la de servir como de cuadrícula o referencia en que se encajonan los trabajos de la Topografía para producir los Mapas de las naciones. Ya todas las de la culta Europa, excepto nuestra España, se hallan en posesión de una joya que el vulgo no aprecia bastante todavía, pero que las inteligencias superiores de todas las edades han sabido valorar. Y para probar que nunca han faltado en España hombres de este linaje, me bastará completar la cita²⁰ del Sr. Barraquer, añadiendo que Jovellanos dijo ya: «Mapa sin cuya luz la política no formará un cálculo sin error; no concebirá un plan sin desacierto, no dará sin tropiezo un solo paso: sin cuya dirección la economía más prudente no podrá, sin riesgo de desperdiciar sus fondos o malograr sus fines, emprender la navegación de un río, la abertura de una canal de riego, la construcción de un camino o de un nuevo puerto, ni otro alguno de aquellos diseños que, abriendo las fuentes de la riqueza pública, hacen florecer las provincias y aumentan el verdadero esplendor de las naciones ».*

Así lo han estimado, por fortuna, el Gobierno y los Representantes del país, a todos los cuales agradece esta Real Academia el impulso dado en los últimos diez años a los trabajos geodésicos y topográficos que han conducido, por fin, a la publicación de las primeras hojas²¹ de nuestro deseado Mapa Nacional que, con perseverancia, y sin desatentadas impacencias, vendrá un día a llenar el vergonzoso vacío que existe, en punto a representación topográfica del suelo europeo, y ya no habrá solución de continuidad en la co-



La ciudad de Madrid y sus alrededores en la hoja del Mapa Topográfico Nacional que lleva su nombre, la primera editada en el año 1875 con el número 559.

lección de innumerables hojas que se ofrecen al estudio del Estadista, del General, del Ingeniero, del Agricultor, y que presentarán una imagen del terreno desde el antiguo Peñón de Calpe hasta las costas septentrionales de la Noruega; desde las bocas del Danubio hasta los occidentales islotes de Irlanda".

Resulta un tanto sorprendente que Ibáñez reservase muy poco espacio para las cuestiones metroológicas, a las que indudablemente prestaba gran atención, habida cuenta de su máxima responsabilidad al frente de La Convención Internacional del Metro; la explicación más plausible no puede ser otra que la falta de tiempo, tal como él mismo se encargó de subrayar en otras fases de su intervención. Con esa limitación se comprende perfectamente que citase sólo de pasada los primeros intentos, frustrados por otra parte, de lograr una unidad patrón de las medidas lineales asociada exclusivamente a la geodesia: el metro francés, como era llamado por sus detractores, o la longitud del péndulo de segundos, por el que se decantaban más los anglófilos. Ibáñez refiere, no obstante, la imposibilidad de conseguir una u otra a la luz de los últimos avances logrados en esta disciplina científica, ni que decir tiene que, por encima de todo, muestra su gran entusiasmo al referirse a la paulatina implantación del Sistema Métrico Decimal.

Así se pronunciaba el Ibáñez metrologo: *"De la NOVÍSIMA GEODESIA ha nacido la metrología de precisión. Era un tiempo en que se buscaban en la Naturaleza los prototipos lineales: quién en una parte alcuota del meridiano terrestre; quién en la longitud del péndulo de segundos, medida en una*

²⁰ Aunque Ibáñez atribuya la cita a Barraquer, lo cierto es que este se limitó a reproducir (según confesó en su discurso) las palabras que había pronunciado antes Frutos Saavedra Meneses en su discurso de ingreso en la misma Academia (12 de febrero de 1862), con el título Sobre los Progresos de la Geodesia.

²¹ A la hoja nº 559 de Madrid siguieron las de Colmenar Viejo (534-1875), Getafe (582-1876), San Lorenzo del Escorial (533-1877), Villaviciosa de Odón (558-1877), Alcalá de Henares (560-1877), Arganda (583-1877), Navalcarnero (581-1878) y Algete (535-1879).



Entre los años 1796 y 1797, se decidió colocar en los lugares más transitados de París muestras del metro para que se fuesen familiarizando con ellos los parisinos. El de la izquierda se conserva en la selecta Plaza de Vendôme y el otro en la calle Vaugirard.

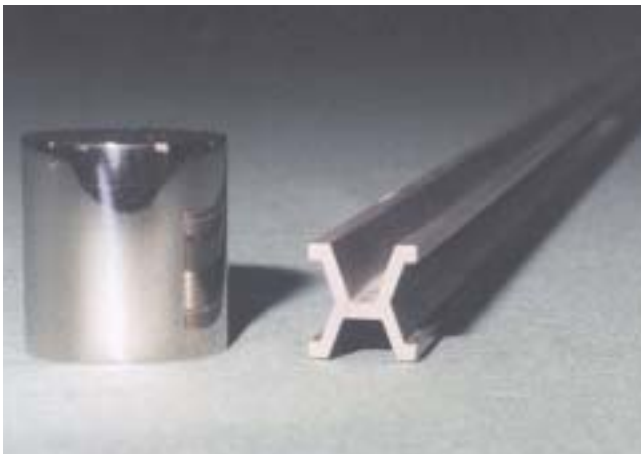
latitud geográfica determinada. Desde Bessel se sabe ya que es vano empeño el querer fundar un sistema de pesas y medidas en un módulo o prototipo lineal, que no se pierda ni altere jamás, por provenir del Globo terráqueo, y al cual se pueda acudir en todo tiempo para reconstruir el origen del sistema, si desapareciese; por que la NOVÍSIMA GEODESIA ha demostrado que las irregularidades del cuerpo terrestre y la falta de conocimiento de su densidad, hacen de todo punto imposible la adopción de un módulo fundado en las llamadas constantes naturales, tal cual lo imaginaron, apoyados en los conocimientos geodésicos de aquella época, los legisladores franceses de 1795; pero el empeño de éstos, que pretendían tener en el metro la diezmillonésima parte del cuadrante de meridiano terrestre, y el de los ingleses que insistían en sacar del péndulo su módulo de medir, han sido abundosas fuentes en que han bebido y se han regenerado, a fuerza de investigaciones sin cuento, la geodesia misma y la metrología, con lo que se han ensanchado prodigiosamente los horizontes de la ciencia pura. Otra de las ventajas que la falsa definición del metro ha producido a la humanidad, es que a ella se debe la adhesión de los pueblos a un solo sistema, el métrico-decimal, únicamente francés en su origen, y adoptado hoy por 19 naciones de Europa y de América, en diplomático convenio asociadas, y que juntas comprenden 400 millones de habitantes".

Ibáñez señala a continuación la paradoja de tener que volver, en cierto sentido, al antiguo sistema de prototipos, una vez logrado el necesario consenso, y las muchas servidumbres que ocasionaría. Ésta fue su lección de metrología "...el medio de tener una medida universal, consiste en constituir una Asociación de las naciones que quieran adoptarla; preparar una medida, que por la materia de que esté construida sea lo más resistente a la acción de los agentes naturales, y que por su forma y definición se halle exenta de las alteraciones en el uso; conservarla esmeradamente entre todos los interesados; rodearla de testigos representados por tipos lineales de idéntica materia; mantenerla con ellos a temperatura constante en subterráneo depósito; compararla periódicamente, valiéndose de aparatos y personal adecuados; y, además de todas estas precauciones, distribuir a los Gobiernos asociados ejemplares auténticos que difieran muy poco del prototipo internacional, y cuyas diferencias a él, estén escrupulosamente determinadas por los medios más precisos que se conozcan en la época en que se opere²². Esto es lo que se está llevando a cabo con el metro de platino iridiado, terminado por trazos, en el observatorio metroológico interna-



La medalla conmemorativa del Sistema Métrico Decimal A TODOS LOS TIEMPOS ↔ A TODOS LOS PUEBLOS

²² Esta nota de pie de página figura en el discurso original de Ibáñez y transcribe con gran sagacidad los comentarios muy sarcásticos del astrónomo Francis Baily, presidente de la Asociación Astronómica de Londres, a propósito de los patrones de su país; téngase en cuenta que sus compatriotas eran mayoritariamente opuestos al nuevo sistema que se pretendía implantar. Su texto íntegro es el siguiente: « He tenido oportunidad de ver el curioso prototipo del Ministerio de Hacienda de Inglaterra, del cual no es posible hablar con suficiente burla ni desprecio. Un hurgón ordinario de cocina, limado en los extremos del modo más basto, por el más chapucero de los artesanos, haría el mismo papel que el prototipo. Este se encuentra hoy partido por medio, y los dos pedazos están unidos a cola de milano, pero tan groseramente, que las juntas tiene tanto juego como un par de tenazas. No he podido averiguar cuando fue la rotura, pues el hecho debió ocurrir en tiempo que no ha llegado a la noticia de ninguno de los actuales empleados del Ministerio (Exchequer). Y, sin embargo, hasta hace diez años, han estado circulando por Europa y América, para vergüenza de este país, copias de tal medida con un certificado en pergamino, que las acompañaba, cuyos derechos, sin incluir los personales de los contrastadores, ascendían a tres libras y tres chelines, y en el cual se aseguraba hallarse contrastadas conforme al prototipo inglés. En 1742, la Academia de Ciencias de París y la Sociedad Real de Londres, quisieron comparar los prototipos ingleses y franceses, y entonces Inglaterra mandó construir una yarda oficial de latón, que se había de custodiar en la Torre de Londres, de donde desapareció, sin saber como ni cuando».



Prototipos del metro y del kilogramo de acuerdo a las nuevas premisas de la Convención Internacional.

cional, fundado y sostenido cerca de París por las naciones asociadas, con objeto tan civilizador como es el de unificar los instrumentos de medir y pesar que emplean la ciencia, la industria y el comercio del mundo. Metro prototipo internacional se llamará el origen o base del nuevo sistema; pero no se pretenderá que tenga relación alguna con las dimensiones de nuestro planeta, ni que sea otra cosa que la representación material de la unidad del sistema".

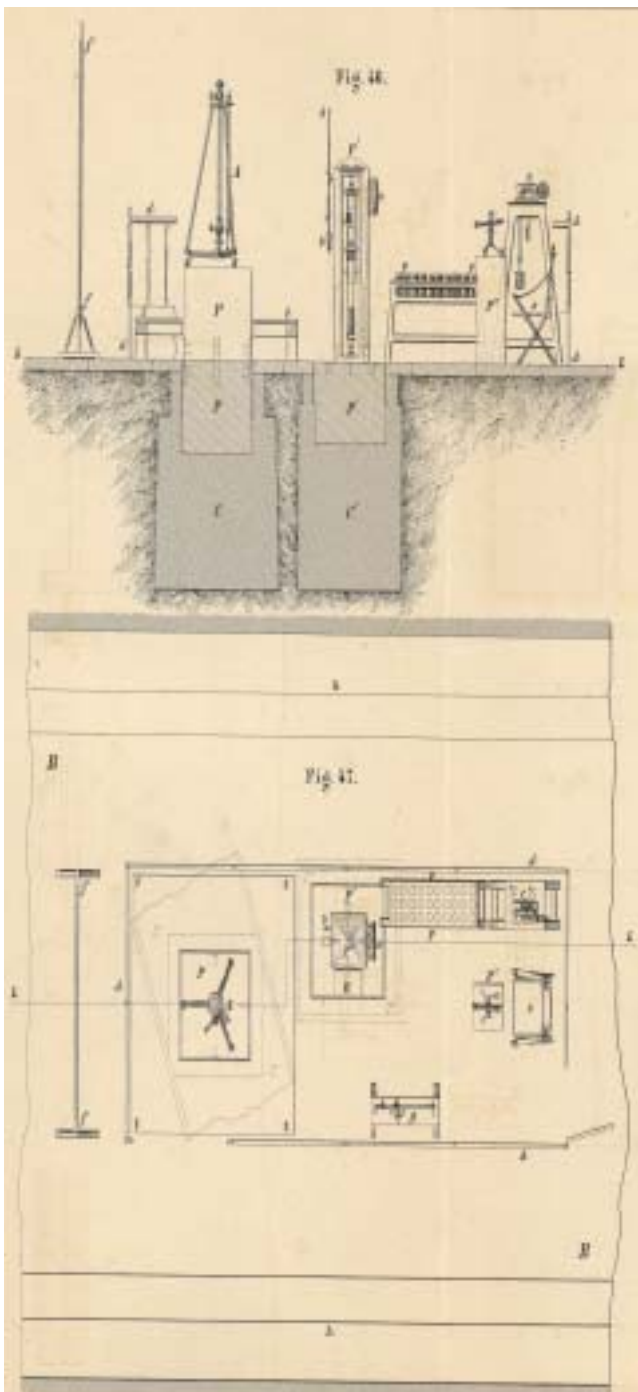
Las últimas consideraciones metrológicas de Ibáñez se refirieron a las contrapartidas que ofrecía la metrología a la geodesia: "Si la metrología de precisión ha necesitado los auxilios de la NOVÍSIMA GEODESIA, ésta no

puede ya seguir prosperando sin el concurso de la metrología actual ¿Cómo expresar en función de una sola unidad todas las mediciones de arcos terrestres, y todas las determinaciones de la fuerza de la gravedad con el péndulo, si la metrología no crea una unidad común, adoptada y respetada por todas las naciones civilizadas, y si además no compara, con gran precisión, a la misma unidad todas las reglas de medir bases geodésicas, y todas las varillas de péndulo que hasta ahora se han usado o se usen en el porvenir? Solamente cuando esta serie de comparaciones metrológicas esté terminada con un error probable de una fracción de milésima de milímetro, o de micrón (μ), como se ha convenido en decir, podrá la NOVÍSIMA GEODESIA ligar unos con otros los trabajos de las diferentes naciones, y proclamar después el resultado de la última medición del Globo".

El colofón del discurso no podía ser otro que ponderar de nuevo la valía de Barraquer y recibirlo en nombre de la Real Academia, con unas emocionadas palabras: "Bienvenido, pues, el ingeniero y consumado geodesta a reforzar nuestras filas, harto mermadas por los estragos de la muerte. Hace ya más de veinte años que sigo paso a paso los trabajos del nuevo Académico, con un interés que se explica por los estrechos y agradables vínculos, del discípulo al maestro, que me unieron a su difunto padre, el venerable General D. Joaquín Barraquer, uno de los ilustres jefes del Cuerpo de Ingenieros que guiaron mi juventud al estudiar las ciencias en la celebrada, y para mí muy querida, Escuela de Guadalajara. Ya os figurareis, Señores, mi alegría, cuando dentro de algunos instantes veamos sobre el pecho del Coronel Barraquer el emblema del más alto galardón a que puede aspirar quien consagra su existencia al estudio de las ciencias exactas, físicas y naturales".



Delegados a la II Conferencia General de la Convención del Metro ante el Pabellón Breteuil de Sèvres. Las sesiones se celebraron entre los días 4 y 14 de septiembre del año 1895. A la derecha de la imagen aparecen, con más detalle, los españoles Francisco de Paula Arrillaga Garro (sentado) y Federico Cobo de Guzmán, su sucesor; ambos fueron Directores Generales del Instituto Geográfico y Estadístico, habiendo sustituido el primero de ellos a Carlos Ibáñez de Ibero. El segundo Delegado sentado a la derecha de Arrillaga era Adolph Hirsch, Secretario de la Conferencia Internacional de Pesas y Medidas.



4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *Discursos de Recepción en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.*
- Paladini Cuadrado A. *Notas para la historia del Mapa Topográfico Nacional.* Militar: Revista de Cultura Militar (nº 3). Universidad Complutense. Madrid 1991.
- Ruiz Morales M. *Los Ingenieros Geógrafos, origen y creación del Cuerpo.* Centro Nacional de Información Geográfica. Madrid 2003.
- Ruiz Morales M. *Aportaciones del General Ibáñez e Ibáñez de Ibero a las Ciencias Geográficas.* Revista Datum XXI, nº 5, julio-agosto-septiembre. Madrid. 2003.
- Ruiz Morales M. *El Primer Sistema Cartográfico del Mapa Topográfico Nacional de España.* Revista Mapping, nº 109. Madrid 2006.
- Ruiz Morales M. *Cartas de Ibáñez de Ibero al francés Aimé Laussedat.* Revista Mapping, nº 103. Madrid 2005.
- Ruiz Morales M., Ruiz Bustos, M. *Forma y Dimensiones de la Tierra, síntesis y evolución histórica.* Ediciones del Serbal. Barcelona 2000.
- Torroja Menéndez J. M^a. *Los antecedentes del Mapa Topográfico Nacional y la real Academia de Ciencias.* Revista Mapping, mayo. Madrid 1993. ■

Dos vistas de la estación gravimétrica, instalada por Barraquer en la Biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid, en las que efectuó sus observaciones Barraquer durante el año 1882. La imagen es una reproducción de la que figura en su trabajo “Determinación Experimental de la Intensidad de la Fuerza de la Gravedad en Madrid”. (Tomo VIII de las Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico).

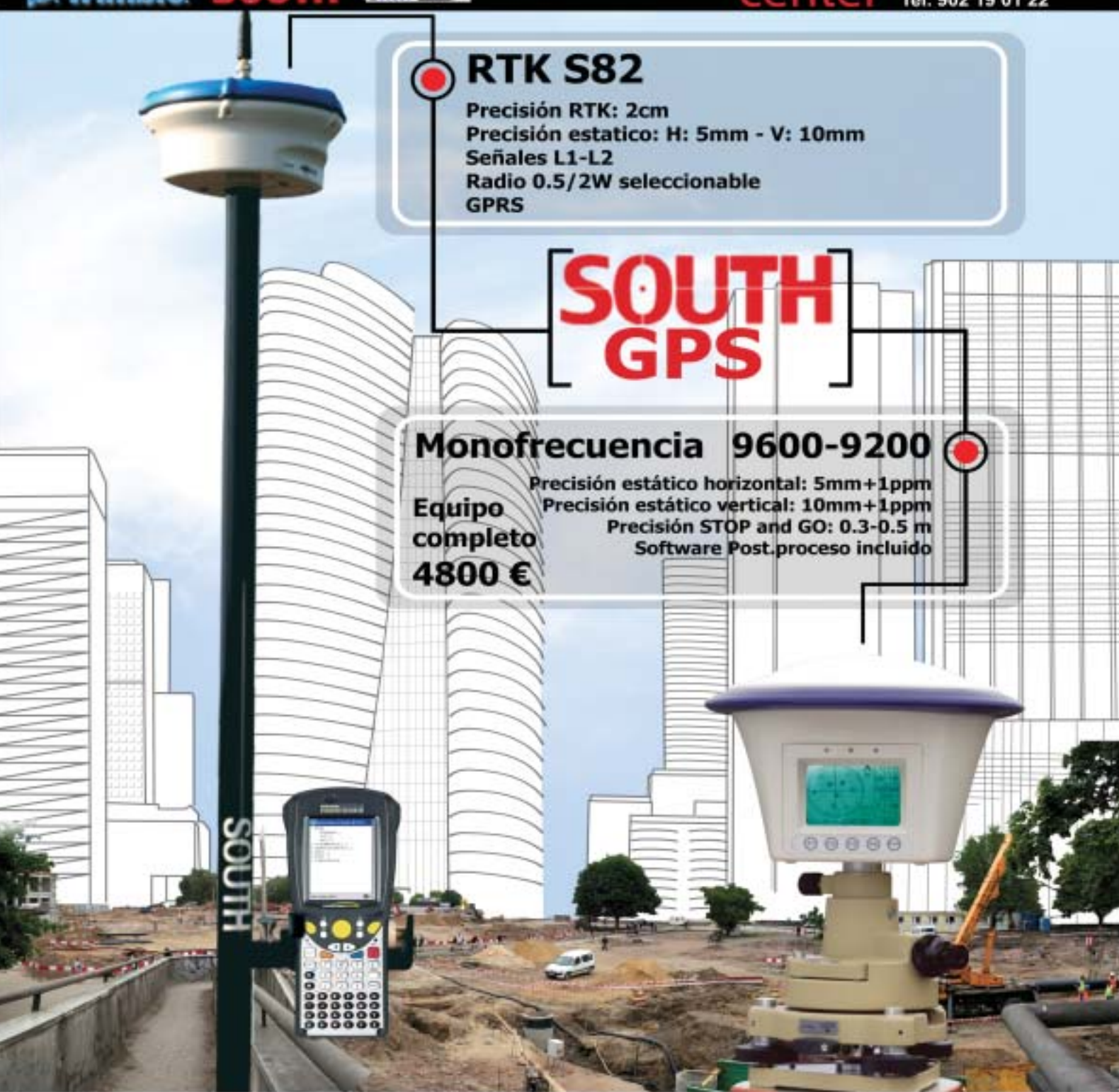
RTK S82

Precisión RTK: 2cm
 Precisión estático: H: 5mm - V: 10mm
 Señales L1-L2
 Radio 0.5/2W seleccionable
 GPRS

**SOUTH
GPS****Monofrecuencia 9600-9200**

**Equipo
completo
4800 €**

Precisión estático horizontal: 5mm+1ppm
 Precisión estático vertical: 10mm+1ppm
 Precisión STOP and GO: 0.3-0.5 m
 Software Post.proceso incluido



● M3

● 3600

● NTS-350



● GPS

● Niveles

● Accesorios

● Estaciones totales

● Alquiler de equipos

● Servicio técnico especializado

El papel de la Cartografía en el mundo de las Infraestructuras de Datos Geoespaciales

Milan Konencny

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

UNIVERSIDAD MASARYK (BRNO, REP. CHECA)

García, José Vega Pérez, Antonio Godoy Guerrero, Marcos A. Pérez Delgado y Fernando Toscano Benítez

FACULTAD DE GEOCIENCIAS

UNIVERSIDAD DE UTRECHT (HOLANDA)

Resumen

La oferta y demanda de información geoespacial es el tema central de este artículo. Hoy en día somos capaces de suministrar enormes cantidades de información geoespacial, a partir de la cual se pueden tomar unas decisiones mejor estudiadas y con mayor base, a la hora de usar los recursos naturales, para la protección medioambiental o para combatir los desastres y sus secuelas. Pero no es menos cierto que sólo podremos usarla si encaja en nuestras premisas, si la entendemos adecuadamente o si ha sido confeccionada según nuestras necesidades. No es suficiente crear una infraestructura técnica sólida, sin enseñar a la población cómo usar los mapas, ya sean éstos analógicos o digitales. Tendremos, por tanto, que proporcionar a la población unos conceptos con los que ésta pueda ser capaz de manejar la información geoespacial, así como proporcionar mapas de los que la población pueda extraer la información que necesite: información que sea lo más reciente posible y que, a la vez, sea la más adecuada para resolver los problemas, en función de las premisas de cada uno de éstos.

Abstract

The offer and demand for geospatial information is the central theme of our presentation. Nowadays we are able to provide enormous volumes of geospatial information, on the basis of which we can take better-informed decisions for use of natural resources, for environmental protection or for fighting disasters and their after-effects. But the ground truth is that we are only able to use them if they fit in our concepts, if we understand them properly, if they have been tailored to our needs. It is not enough to build a nice technical infrastructure without teaching the population how to use the maps, be they in analog or digital form. We have to provide the concepts with which the population is able to deal with geospatial information, and we have to provide maps from which the population is able to derive the information they need: information that is up-to date and tailor made for solving the problems.

I. INTRODUCCIÓN

Nos gustaría comenzar con el importante historiador de la cartografía, el príncipe egipcio Youssouf Kamal (1882-1952), editor de la *Monumenta cartographica Africae et Aegypti* (Cairo, 1926-51), la cual, en sus 10 volúmenes, mostró el alto nivel de la cartografía musulmana en la Edad Media. No sólo está basada en Ptolomeo, sino que también tuvo contribuciones propias, con trabajos como el Mapamundi de al-Idrisi (fig. 1) y el Atlas del Islam (un atlas consistente en una serie de mapas que, en conjunto, representaba a todos los países musulmanes) realizados por cartógrafos como

al-Istakhri, al-Masudi, Ibn Hawkal y al-Biruni. Los mapas en esos atlas se caracterizan, de manera significativa, por su estructura topológica. Eran muy importantes para la forma de viajar lineal, tal y como era costumbre en aquellos días, y, por tanto, eran así adaptados a tal función. La información geoespacial suministrada debe estar siempre condicionada por una demanda específica, pero también por la naturaleza del terreno o la distribución de la población que habita el país.

Un país como Egipto es un claro ejemplo de Estado en el que cartografiar todo el país a escala 1:25.000 constituiría un derroche de medios, ya que la mayoría del país tiene una densidad de población muy baja. En

cambio, para describir el muy densamente poblado valle y delta del Nilo se necesitarían unos mapas topológicos, ya que, de otra manera, los variados modelos poblacionales no podrían mostrarse adecuadamente. Es aquí donde los antiguos geógrafos árabes nos muestran el camino a seguir:

La oferta y demanda de información geoespacial es el tema central de este artículo. Hoy en día somos capaces de suministrar enormes cantidades de información geoespacial, a partir de la cual se pueden tomar unas decisiones mejor estudiadas y con mayor base a la hora de usar los recursos naturales, para la protección medioambiental o para combatir los desastres y sus secuelas. Pero no es menos cierto que sólo podremos usarla si encaja en nuestras premisas, si la entendemos adecuadamente o si ha sido confeccionada según nuestras necesidades. No es suficiente crear una infraestructura técnica sólida, sin enseñar a la población cómo usar los mapas, ya sean éstos analógicos o digitales. Tendremos, por tanto, que proporcionar a la población unos conceptos con los que ésta pueda ser capaz de manejar la información geoespacial, así como proporcionar mapas de los que la población pueda extraer la información que necesite; información que sea lo más reciente posible y que, a la vez, sea la más adecuada para resolver los problemas, en función de las premisas de cada uno de éstos.

2. ESTADO ACTUAL DE LA CARTOGRAFÍA

La Cartografía ha sido originalmente una ciencia intuitiva, que hoy día está entrando en un nuevo y revolucionario periodo de su desarrollo. Bajo el punto de vista moderno, se considera que la Cartografía posee la habilidad de crear un marco para los conocimientos en un ambiente espacial. Aunque es, en principio, cognitiva, la cartografía tradicionalmente ha transmitido estos conocimientos principalmente sobre productos en papel, que expresaban las ideas geoespaciales y permitían el almacenamiento y la transferencia de la información espacial. Posteriormente, los mapas comenzaron a usarse para el análisis y la investigación de los cada vez más complejos problemas espaciales de los trabajos científicos y de la sociedad. Los mapas sobre papel tienen muchos aspectos positivos y en el transcurso de los siglos han sido capaces de obtener claros beneficios de los desarrollos tecnológicos. Sin embargo, hasta hace muy poco, los mapas sobre papel carecían de la flexibilidad dinámica e interactiva de sus alternativas cognitivas. (Wood, 2003).

Ya nuestros antepasados poseían unas aptitudes cartográficas básicas, que les permitían registrar el conocimiento de su entorno, y poco a poco fueron capaces de elaborar y dibujar sus propios y sencillos mapas cognitivos sobre la arena, el barro y posteriormente sobre otros materiales, como, por ejemplo, sobre colmillos de mamíferos (tal vez el mapa más antiguo del mundo se encontró en Moravia y data del año 24.000 antes de Cristo). Esta habilidad permaneció anclada en el cerebro humano. A la par que el desarrollo de las tecnologías, se puede contemplar como surgen unos especialistas que creaban los mapas y de una dis-



Figura 1. Mapamundi de al-Idrisi

ciplina conocida como Cartografía. Su misión era el crear unos productos cartográficos formales, con un cierto nivel de calidad y con un cierto valor añadido. Después de una evolución que duró muchos siglos, la Cartografía ha alcanzado el estado de disciplina académica, que ayuda a entender la geografía del mundo. El desarrollo de la cartografía cognitiva, basada en la percepción del entorno, y la percepción obtenida a través de los productos cartográficos, o, en otras palabras, la creación de mapas y el uso de los mismos, han evolucionado por separado a lo largo de los siglos.

La tecnología informática comenzó a influir sobre la Cartografía a mediados del siglo XX. Esta influencia se materializó en la aparición de dos tendencias contrapuestas:

- a) Los intentos de los científicos que trabajaban con información espacial para crear una cartografía informatizada que sirviera de herramienta para el análisis e investigación de los datos espaciales, y que posteriormente condujeron a la creación de los Sistemas de Información Geográfica.
- b) Un uso más limitado de los métodos de la cartografía asistida por ordenador; para la conversión de los mapas analógicos en digitales, con el fin de facilitar y acelerar el proceso de su producción (Wood, 2003).

En particular, la creación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha influido notablemente en la nueva etapa del desarrollo de la Cartografía. Los SIG no fueron diseñados para alcanzar un mayor nivel

de calidad cartográfica; las estructuras virtuales de puntos, líneas y superficies que poseen, pueden interconectarse con bases de datos de atributos y con fuentes de símbolos. Kraak y Ormeling (2002) nos hablan de paisajes digitales y de modelos cartográficos. Hoy en día, los SIG operan en una amplia gama de proyectos espaciales, aunque la creación de mapas sigue siendo el concepto dominante. Los SIG no han reemplazado a la Cartografía; la han equipado con unas excepcionalmente exitosas tecnologías, que le aportan un mayor nivel de perfección y eficacia.

La influencia de los SIG en la Cartografía ha sido obvia, especialmente en los últimos 15 años, bajo la forma de una nueva generación de mapas y atlas electrónicos, sobre todo en Internet, lo que ha ocasionado la definición de "cartografía multimedia". De acuerdo con Cartwright (2004), el multimedia, los sistemas de comunicaciones globales y la publicación global, ofrecen posibilidades para la producción de visualizaciones dinámicas e interactivas, que emplean, sobre todo, entornos virtuales (desarrollados originalmente por la industria de los juegos de ordenador).

El desarrollo de la cartografía cognitiva requiere que exista una conexión abierta y de doble vía, entre el pensamiento y los datos, y que se disponga de una herramienta que sirva de interfase entre ambos. Esto debe permitir una investigación flexible, empleando múltiples fuentes de datos. El potencial máximo se alcanza implementando simultáneamente herramientas de multimedia dinámicas e interactivas, implícitas en un modelo denominado "interacción mapa-humana en el espacio".

Hoy día, no sólo se puede emplear el acceso inteligente a las bases de datos y el soporte interactivo de usuario para la localización de los ma-

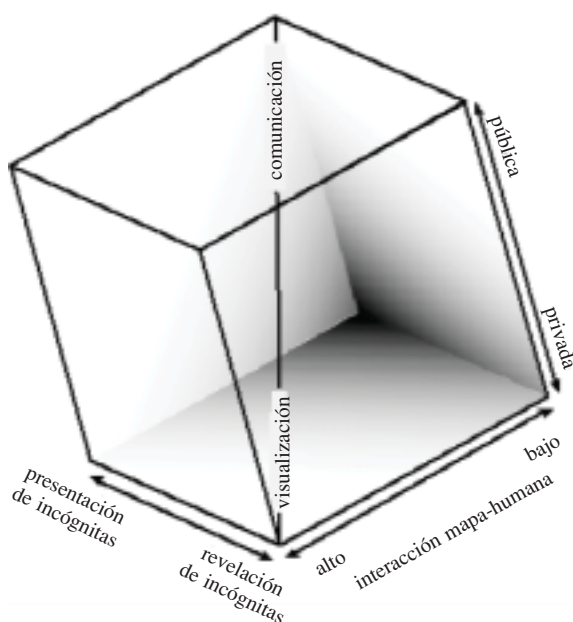


Figura 2. El Mapa utiliza un cubo para mostrar las cuatro formas de visualización para la exploración, análisis y presentación de información (de acuerdo con A.M. MacEachren, 1995)

pas adecuados en Internet, sino también para la creación y modificación de mapas, de acuerdo con unos requisitos individuales y específicos. En lugar de simplemente usar los mapas que fueron creados de antemano por otros, estas nuevas tecnologías de investigación permiten que el individuo emplee la cartografía interactivamente, en base a sus requisitos individuales, y con el fin de estudiar y presentar la información espacial. Las nuevas tecnologías permiten la conexión "en vivo" entre la esfera intuitiva interna de nuestra cognición y, vía interacción directa, la nueva generación de visualizaciones cartográficas y, por tanto, con los casi infinitos recursos de Internet.

La visualización cartográfica es el conjunto de procedimientos gráficos relacionados con los mapas que permiten el análisis de los datos y la información geoespacial. Por ejemplo, un modelo del terreno animado e interactivo es una forma de visualización cartográfica. La visualización cartográfica ofrece una amplia gama de posibilidades de interpretación y representación. Si esto se aplica a los variados datos de referencia relacionados con la superficie terrestre, empleamos el término "geovisualización". El líder global de las actividades recién mencionadas es la comisión de Visualización y Entornos Virtuales de la Asociación Cartográfica Internacional (ICA). Su principal tarea, que es el desarrollo de nuevos métodos de visualización, está lejos de concluirse. Es necesario profundizar y refinar más el tema y crearlos con la ayuda de otros campos científicos, en especial las matemáticas y la estadística, encaminados a la creación de herramientas que sean también capaces de trabajar con datos "imprecisos" o indeterminaciones en las bases de datos y en los modelos reales construidos a partir de dichas bases de datos.

Bajo la influencia de las tecnologías de la información y de la comunicación, se ha creado otra rama de la Cartografía, conocida como la cartografía ubicua. Se basa en la aparición de nuevos modos de comunicación, que especifican las relaciones entre la Cartografía y los SIG. En consecuencia, Takashi Morita (2004) describe la naturaleza básica de los mapas de la siguiente manera:

- Ofrecen un marco para la localización: Posición relativa (relación con señales sobre el terreno) y posición absoluta (sistema de coordenadas)
- Presentan visualmente los datos y permiten un rápido reconocimiento de los patrones gráficos
- Permiten la "interacción mapa-humana en el espacio": Como ya se indicó con anterioridad, esta habilidad ha existido desde los albores de la Humanidad, pero ahora se ha acelerado mediante los estímulos y facilidades de las tecnologías de la información.

También define las diferencias entre los SIG y los mapas. Un SIG implica la introducción de los datos, la construcción de las bases de datos, el análisis de los datos, y una salida de datos de la información espacial. La Cartografía no sólo consiste en la confección de mapas, sino en el uso y la comunicación de los mapas, ya que se tiene en cuenta la interacción entre el mapa, la imagen espacial y el mundo real. El SIG es un sistema

Experimente

**cómo se abre la puerta
de su próximo edificio**

ahora

Haga lo que haga, experimente las posibilidades en los Eventos Autodesk

Cualquiera que sea su actividad, cada nuevo proyecto de diseño acarrea nuevos problemas y presiones competitivas. Hoy no basta con ver una imagen de la próxima obra. Lo que de verdad necesita es la capacidad de experimentar su diseño en el mundo digital antes de crear nada en el mundo real.

En los Eventos Autodesk sabrá cómo nuestras soluciones para Arquitectura y Construcción le ayudan a analizar los resultados de sus diseños en el mundo real, ahorrando tiempo, dinero y recursos valiosos. Todo antes de construir nada. Además aproveche la oportunidad para plantear a nuestros expertos preguntas que afectan directamente a su empresa y a sus proyectos. Todo es posible con las soluciones Autodesk® 2008 para Arquitectura y Construcción y todo en los Eventos Autodesk, cerca de su localidad.

**Experimente en los Eventos Autodesk,
reserve su plaza en www.autodesk.es/experimentep**

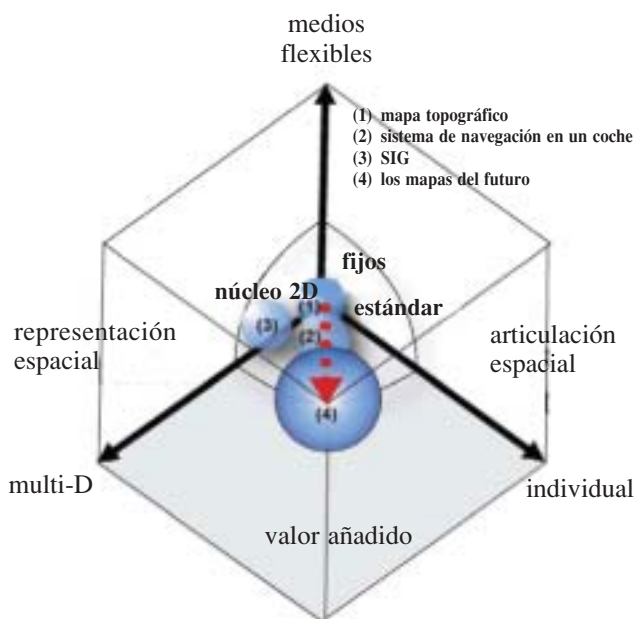


Figura 3. El mundo de los mapas (de acuerdo con T. Morita, 2005)

orientado a la función, en tanto que el mapa está orientado hacia el ser humano, incluyendo el conocimiento espacial, la toma de decisiones y la comunicación.

Los cambios en nuestro entorno externo se caracterizan por la visualización y las ubicas posibilidades de cálculo informático. Los primeros pasos en la era de la Sociedad de la Información/Sociedad Basada en el Conocimiento se caracterizan por un desplazamiento del uso contemporáneo de la radio hacia la televisión e Internet, por la visualización, empleando los medios de impresión y la visualización de la información sobre terminales. Los últimos desarrollos se basan en la existencia de múltiples ordenadores en todas partes, de equipos móviles, de "e-iniciativas" (como el e-gobierno), así como en las relaciones de persona a persona, de persona a máquina y de máquina a máquina (la comunicación entre máquinas: redes; la comunicación entre personas: entendimiento).

Mediante este proceso, la naturaleza ubicua del mapa se extiende de la siguiente manera:

1. La percepción visual nos permite contemplar cualquier parte de la imagen, reconocer la totalidad de la imagen (reconocimiento de patrones gráficos), la imagen temática y el fondo o base, y también nos permite representar visualizaciones alternativas de la misma imagen.
2. Dentro del proceso de producción, nos permite generar y crear estas imágenes en cualquier lugar.
3. En el proceso de utilización del mapa, nos permite llevar el mapa a cualquier lugar y usarlo en cualquier sitio.

La tercera vía de la cartografía contemporánea viene representada por los mapas en Internet.

Michael Peterson (2005) destaca el hecho de que Internet está redefiniendo la manera en que se usan los mapas. Los mapas en Internet son más interactivos. Pueden confeccionarse interaccionando con una base de datos *on-line* y haciendo intervenir al usuario en un nivel mayor que el posible con un mapa sobre papel. Además, Internet está haciendo factible diseminar más fácilmente las distintas maneras de mostrar las imágenes, tales como las animaciones.

Para el usuario de mapas, Internet representa una manera más rápida de distribución de los mismos y muy distintas formas de ejercer la interacción humano-mapa. Peterson también describe algunas de las razones por las que los mapas en la red son tan populares: "... es fácil comprender el porqué los mapas se distribuyen sobre Internet. La impresión sobre papel es cara, especialmente en los mayores formatos y en color. Una vez que la infraestructura está terminada, sencillamente es menos caro el colocar gráficos en color sobre la red que imprimirlos en papel. Además, cuando se añaden los costes de envío y distribución a los del propio producto impreso, las ventajas económicas de distribuir los mapas y las imágenes en Internet se hacen aun más patentes. La principal ventaja de la impresión es su resolución y su visión de conjunto. Para compensar la limitación de la resolución espacial, los mapas que se visualizan sobre el ordenador son típicamente más dinámicos. Estos mapas se actualizan con mayor frecuencia, incorporan algún tipo de funcionalidad interactiva del tipo de zoom, o de que las series de mapas puedan verse como una animación. La combinación mapas-Internet es un notable desarrollo, no sólo para la mejora de la distribución de los mapas, sino porque hace posible una forma más interactiva de cartografía".

3. EL MUNDO DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE DATOS GEOESPACIALES (IDE): ¿SERÁ CAPAZ EL PERFECCIONISMO DE LAS TECNOLOGÍAS DE RESPONDER A LAS DEMANDAS DE LA SOCIEDAD?

3.1. INSPIRE

Todos los datos que la Cartografía puede ofrecer deben ser distribuidos y si deseamos acceder a la información geoespacial en cualquier lugar y en cualquier momento, la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) se convierte en una condición *sine qua non*. Hoy día, se está discutiendo en el Parlamento Europeo una iniciativa legislativa denominada INSPIRE (Infraestructura de Datos Espaciales de Europa). Muchos de los aspectos de esta iniciativa, que se inició originalmente en la Dirección General de Medioambiente de la Unión Europea, estaban orientados al usuario e incluyeron inicialmente a representantes de Eurogeographics y de algunas otras organizaciones. Hay tres conceptos importantes que pueden caracterizar a esta iniciativa: disponibilidad de los datos, acceso a los datos y la oferta de unas condiciones legales que aseguren este proceso.

El concepto INSPIRE se basa en un nuevo modo de suministrar la información geográfica, tanto en el ámbito nacional como europeo. La necesidad de este nuevo modo se basa en la noción de disponibilidad y posibilidad de uso de la información como base para la redacción de políticas, etc. La meta de INSPIRE a corto plazo, es apoyar el proceso legislativo de la política medioambiental de la Unión Europea. Es un hecho que todos los temas y aspectos de la política medioambiental (agua, aire, clima, suelo, biodiversidad, etc.) tienen una dimensión espacial comunitaria. Esta dimensión espacial es muy importante, tanto para las políticas medioambientales y de otros sectores como para la información geográfica y, por tanto, necesita integrarse en una infraestructura de información comunitaria.

El proceso para la creación de INSPIRE debe basarse en una metodología de cooperación, donde se coordinen las actividades de los diferentes sectores y a diferentes niveles, con el fin de hacer disponible la información relevante para todos; esto también requiere la coordinación entre los sistemas locales y nacionales y los sistemas en el ámbito europeo. Finalmente, se espera realizar la integración de la información de un amplio espectro de sectores (transporte, agricultura, etc.), junto con su implementación en el sector medioambiental.

INSPIRE se basa en seis principios fundamentales:

1. Los datos deben capturarse una sola vez y mantenerse en el nivel donde esto pueda hacerse de la forma más eficaz.
2. Debe ser posible combinar una información espacial continua, desde diferentes fuentes de información y a través de toda Europa.
3. Debe ser posible compartir la información recogida en un nivel con todos los demás niveles diferentes, con un nivel de detalle suficiente para investigaciones detalladas y, en general, con fines estratégicos.
4. La información geográfica necesaria para el buen gobierno a todos los niveles, debe de ser abundante, bajo unas condiciones que no restrinjan su uso extensivo.
5. Debe ser fácil el descubrir qué información hay disponible y si se ajusta a las necesidades de un uso en particular y bajo qué condiciones puede adquirirse y emplearse.
6. Los datos geográficos deben ser fáciles de entender e interpretar, ya que pueden visualizarse dentro de un contexto adecuado, seleccionado de una manera amistosa.

3.2. IDEG

Ahora bien, lo que es válido para Europa también debe tener algo de validez a nivel mundial, y pensamos que esto puede reforzar la misión de la Infraestructura de Datos Espaciales Globales (IDEG). La Infraestructura de Datos Espaciales Globales soporta el acceso mundial a la información geográfica. Esto se logra a través de las acciones coordinadas de naciones y organizaciones que promueven el conocimiento y la aplicación

de políticas complementarias, de normas comunes y de mecanismos eficaces para el desarrollo y disponibilidad de la interoperabilidad de los datos geográficos digitales y las tecnologías, para apoyar la toma de decisiones a todas las escalas y para múltiples propósitos.

Estas acciones abarcan las políticas, los aspectos organizativos, los datos, las tecnologías, las normas, los mecanismos para la entrega y los recursos financieros y humanos necesarios para asegurar que no se impida a los que trabajan a escala mundial y regional alcanzar sus objetivos. Estas ideas de la IDEG son desarrolladas por 3 grupos de trabajo: el Grupo de Trabajo Técnico, el Grupo de Trabajo Legal y Económico y el Grupo de Trabajo de Apoyo a la Toma de Decisiones.

Las actividades de las Infraestructuras de Datos Espaciales regionales, así como las de las Infraestructuras de Datos Espaciales Globales, son muy importantes e irremplazables. Todas las iniciativas regionales están estudiando muy cuidadosamente y, cuando es posible, participando en las actividades de la IDEG.

Sin un acceso garantizado (en el sentido exacto del término) a los datos geoespaciales y también a la información, será difícil alcanzar estas ambiciones cartográficas. Así que también hay mucho en juego para nosotros los profesionales de la Cartografía.

4. LAS LECCIONES APRENDIDAS EN SITUACIONES DE GESTIÓN DE DESASTRES

El reciente desastre del tsunami en el Océano Índico demostró la magnitud con que la Información y las Tecnologías de la Comunicación pueden contribuir a dar respuesta ante las emergencias y a una reducción en los daños causados por el desastre. El uso de las tecnologías espaciales (incluida la Cartografía) ha demostrado ser muy útil en la valoración de riesgo, mitigación en los daños y en la preparación de las fases en la gestión escalonada de los desastres.

Tal y como la comunidad mundial aprendió a partir del evento del tsunami, el espacio y las tecnologías espaciales desempeñan un papel vital, proporcionando un aviso rápido a las comunidades que se encuentren en riesgo. Pero para que los países en vías de desarrollo puedan incorporar el uso del espacio y de las soluciones basadas en la tecnología espacial, existe la necesidad de aumentar los conocimientos, de desarrollar las capacidades nacionales y también de desarrollar unas soluciones personalizadas y adecuadas a las necesidades del mundo en vías de desarrollo.

Jan Egeland, subsecretario de la ONU, en un momento de su discurso de apertura de la Conferencia Mundial sobre la Reducción del Desastre, que tuvo lugar en Kobe, del 18 al 22 de enero del año 2005, usó el famoso proverbio japonés que nos recuerda que *"La visión sin la acción es un ensueño; la acción sin la visión es una pesadilla"*, y tal como la tragedia del tsunami nos ha mostrado, señaló que los desastres locales pueden

tener un impacto mundial. También nos recordó que los riesgos globales requieren de soluciones auténticamente globales. Instó a adoptar, tan pronto como fuese posible, unos claros indicadores para poder establecer una rápida recuperación ante los desastres en el ámbito local y mundial.

Además, indicó que esa reducción de los efectos del desastre no es simplemente una cuestión de tecnología sofisticada ni de hardware; en su raíz, se trata de una cuestión de comunicación y educación; necesitamos un sistema de alerta global que nos avise anticipadamente. Pero nos permitió recordar: la tecnología no es la solución para todo. También afirmó que desde Singapur a África Sur, la experiencia nos muestra que son las personas, y no el hardware, las que deben estar en el centro de cualquier medida de preparación ante un desastre que vaya a tener éxito. Él también pidió que se revisen radicalmente nuestros modelos de desarrollo, de modo que la reducción de los efectos y la gestión de los desastres se conviertan en el eje central de la política del desarrollo sostenible.

La conferencia de Kobe aprobó varios documentos, incluida la Declaración de Hyogo, en la que también se reconoció que una cultura de prevención del desastre y de recuperación rápida, asociada con las estrategias para la prevención de desastres, debe alentarse a todos los niveles, desde los niveles individuales a los niveles internacionales. Las sociedades humanas tienen que vivir bajo el riesgo de las catástrofes ocasionadas por la naturaleza.

En otro documento, el “Marco de Trabajo de Hyogo para la Acción de los años 2005 al 2015: Construyendo una Rápida Recuperación de Naciones y Comunidades ante los Desastres”, la Conferencia ha adoptado las siguientes cinco prioridades de actuación:

1. Asegurarse que esa reducción del riesgo en los desastres sea una prioridad nacional y local, y con un fuerte apoyo institucional para su implementación.
2. Identificar, evaluar y supervisar el riesgo de los desastres y reforzar la advertencia anticipada de los mismos.
3. Usar los conocimientos, innovación y educación para construir una Cultura de la Seguridad.
4. Reducir los factores de riesgo subyacentes.
5. Fortalecer la preparación ante los desastres, para dar una respuesta eficaz a todos los niveles.

El punto 2 de las prioridades del antedicho párrafo 17, dice: “El punto de partida para la reducción del riesgo en los desastres y para promover una cultura de recuperación rápida ante el desastre, reside en el conocimiento de los riesgos y de las vulnerabilidades físicas, sociales, económicas y medioambientales ante los desastres con que se enfrentan la mayoría de las sociedades, así como las maneras en que estos riesgos y vulnerabilidades están cambiando a corto y largo plazo, seguido por las acciones a tomar sobre la base de estos conocimientos”.

Para concretar los temas del campo de la asesoría de los riesgos nacionales y locales, se formularon las siguientes actividades clave:

- A) Desarrollar, poner al día periódicamente y distribuir ampliamente, y en un formato adecuado, los mapas de riesgo y toda la información relacionada, con destino a la toma de decisiones, al público general y a las comunidades en riesgo.
- B) Desarrollar sistemas de indicadores de riesgo de desastres y de vulnerabilidad, a escala nacional y subnacional, que permita a los que toman las decisiones evaluar el impacto de los desastres sobre las condiciones sociales, económicas y medioambientales, y distribuir los resultados entre los que toman las decisiones, el público y las poblaciones al riesgo.
- C) Registrar, analizar, resumir y diseminar la información estadística sobre la ocurrencia del desastre, los impactos y las pérdidas, en una base regular y a través de los mecanismos internacionales, regionales, nacionales y locales.

Los antedichos temas podrían relacionarse con otros muchos, pero el potencial de la Infraestructura de Datos Espaciales Globales y el potencial de la Cartografía Global no son lo suficientemente patentes, al menos en los documentos de la conferencia ¿Es acaso algún tipo de ignorancia o simplemente el hecho de que no podemos ofrecer suficientemente nuestros resultados de manera que formen parte de la cultura de prevención del desastre y de la recuperación rápida ante el mismo, ni de la estrategia asociado con dicha prevención? (según palabras de la Declaración de Hyogo).

Puede que sea que todavía estamos demasiado interesados con los aspectos tecnológicos del problema, pero no lo bastante con los procedimientos en desarrollo destinados a las personas que necesitan todos nuestros datos para su vida cotidiana, pero que también necesitan conseguirlos de forma que los puedan entender.

Desgraciadamente, las lecciones de la reciente gestión de desastres nos indican que los que toman las decisiones necesitaron la información geoespacial, pero no tuvieron un acceso a la misma a tiempo ni de la forma en que ellos estaban acostumbrados.

5. LAS REALIDADES CARTOGRÁFICAS Y POTENCIALES EN EL MUNDO DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE DATOS ESPACIALES GLOBALES

Incluso en el Nuevo Mundo de las Infraestructuras de Datos Espaciales Globales, nunca nos situaremos más allá de la Cartografía, ya que siempre querremos que nuestro conocimiento del mundo comience teniendo sentido y lo estructuraremos a través de la ayuda de los mapas y los atlas. Es en Alejandría, Egipto, donde el geógrafo Ptolomeo desarrolló por vez primera el concepto del atlas: cómo subdividir el mundo en 26 partes y cómo representar el mundo en su entidad, y sus partes. No-

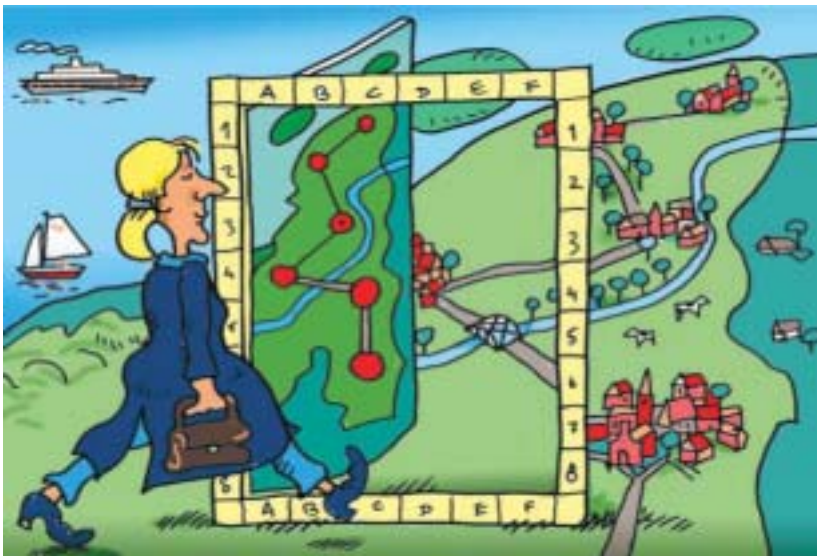


Figura 4. El mapa como la puerta a nuestro entorno, que permite el acceso a los datos geoespaciales

sotros todavía estamos usando sus ideas de subdividir el mundo en partes, que van del norte al sur y del oeste al este. Nosotros sólo estamos refinando estas ideas; en lugar de los atlas, que se comenzaron a emplear cuando nuestro conocimiento del mundo aumentó más allá de lo que nosotros podríamos representar en un mapa único, nosotros usamos los sistemas de mapas; en el siglo XIX, en otra revolución de los geodatos, comenzamos a usar los atlas nacionales. La siguiente revolución de los geodatos, a finales del siglo XX, nos llevó a los atlas digitales. Todavía mantenemos estas ideas cartográficas para dar un sentido al mundo.

Un ejemplo del concepto del atlas (como forma de almacenamiento de la información geoespacial, tal como la hemos aprendido a manejar) son, por ejemplo, los atlas de emergencias. Aquí, en primer lugar, el atlas nos permite el acceso al área afectada, nos abre la puerta a dicha área y también permite a personas que se encuentran muy lejanas entender sus problemas.

Los mapas de los atlas pueden ser como cuadros de distribución geográfica, a través de los que se puede acceder a los metadatos o a otros datos sobre los que se basan los mapas. Haciendo un clic sobre un símbolo en un mapa de nuestros servicios telefónicos, nos podemos conectar con el centro de emergencia representado por dicho símbolo. Pulsando un botón en los mapas, también somos capaces de acceder a los archivos subyacentes, de modo que los mapas son maneras de pedir y acceder a la información. Un buen ejemplo son los atlas de emergencias, que hoy día la mayoría de las regiones tienen que preparar. Muestran la capacidad de los servicios de emergencia, indican las rutas de escape, muestran las direcciones esperadas de las inundacio-

nes (asándose en los modelos digitales del terreno), muestran el número de las personas afectadas, la situación donde se encuentran las raciones de emergencia, las posiciones convenientes para dejar caer víveres o las zonas de despegue más adecuadas para la evacuación. Estos atlas de emergencias constituyen un primordial ejemplo de la continua importancia del concepto atlas, ya que siguen reuniendo e integrando información espacial actualizada, confeccionada para ajustarse a las necesidades, y fácil de usar, de modo que en las emergencias no se cometa ningún error.

Las emergencias no serán nuestra única preocupación en el futuro; hay por delante una gran tarea para planificar el desarrollo sostenible analizando las masas de datos que recogemos hoy día. Hemos desarrollado técnicas de obtención de datos y, hablando estrictamente, podemos hacerlo sin usar los

mapas. Pero todavía los mapas hacen más fácil el conceptualizar estos esfuerzos y verificar sus resultados. Continuamente, y a través de las técnicas cartográficas, se están elaborando nuevas ideas para analizar los datos, incluso los datos no espaciales; la "espacialización" es otro ejemplo. La estructura institucional en la que se está efectuando este trabajo de desarrollo está funcionando de abajo a arriba: las Comisiones y los Grupos de Trabajo de la ICA, tales como Early Warning (Temprana Advertencia), Ubiquitous Mapping (Cartografía Ubicua), Visualization (Visualización), Mapping and Internet (Cartografía e Internet), deciden por ellos mismos cómo hacer para resolver las tareas que se les han propuesto, aun cuando, al igual que la Comisión de Normas de la FIG, tienen que trabajar dentro de los marcos de trabajo impuestos por otros.



Figura 5- Ilustración de minería de datos mediante cartografía asistida por ordenador

Quizás hayamos enfatizado demasiado las fronteras tecnológicas de nuestra profesión. También debemos señalar que sólo a través de la enseñanza de la geografía accederemos también a la educación primaria y secundaria. A través de nuestros grupos infantiles de Cartografía somos capaces de influir en la manera con que los niños escolares de todo el mundo ven su entorno y aprenden a manejar las técnicas necesarias para utilizar la información geoespacial, para resolver sus problemas. Uno de los aspectos que surgen aquí es la manera en que nuestras diferentes culturas influyen en la manera en la que nosotros observamos los datos geoespaciales. La representación cartográfica nunca está exenta de valores o es completamente objetiva; la manera como nosotros miramos al mundo es semejante a la de nuestros primeros atlas escolares: nosotros pasamos de la perspectiva de nuestro país a una más amplia del continente y lo continuaremos haciendo incluso cuando la Infraestructura de Datos Espaciales Globales esté terminada.

6. CONCLUSIONES

1. El Papel de las Agencias Cartográficas Nacionales es muy importante, y no podemos soslayar su poder en los grandiosos planes que se han desarrollado para el acceso y disponibilidad de los datos globales, sobre todo teniendo en cuenta que ellos también proporcionan los datos de referencia a los que tienen que ser ajustados todos los demás datos geoespaciales.
2. En las conferencias de los últimos años, así como en las entrevistas, los directores de las Agencias Cartográficas Nacionales usan a menudo la palabra "más allá de" en conexión con la Cartografía (más allá de los mapas, más allá de la cartografía). Se podría decir que ellos quieren decir que las técnicas necesarias que ellos estaban proyectando eran completamente distintas a las técnicas cartográficas que ellos aprendieron cuando jóvenes. No comprenden suficientemente que esa cartografía y esos mapas son ahora diferentes de los tiempos analógicos. Debemos resaltar que la Cartografía dispone de nuevas tecnologías, de nuevos mercados, de nuevas posibilidades de personalizar la información geoespacial a los individuos.

El papel de los que están construyendo la Infraestructura de Datos Espaciales Globales es demasiado ingenieril y los ingenieros frecuentemente piensan que con tal de que se lleve la información a aquéllos que deben trabajar con ella, todo irá bien. Pero...
3. La cartografía empieza donde el Infraestructura de Datos Espaciales termina.... La visualización de los datos espaciales mediante las nuevas herramientas tecnológicas (Internet y Web, los móviles, la

banda ancha, etc.) no tiene ningún sentido en tanto que el destinatario final no entienda las imágenes y no pueda integrarlas en su percepción de la realidad, que está en su mapa mental. La Cartografía continuará siendo esencial en estos casos.

REFERENCIAS

- Cartwright, W.: "Future Cartographics: Where to now?" Presentation made at the Conference of British Cartographic Society, Oxford. 2000
- Egeland, J.: <http://www.unisdr.org/wcdr/intergover/opening/Egeland-statements-opening.pdf>.2005.
- Hyogo Declaration. <http://www.unisdr.org/wcdr/official-doc/L-docs/HYOGO-declaration-asseparate-non-official-document.pdf>. 2005
- Hyogo Framework for Action 2005-2015: *Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters*. <http://www.unisdr.org/wcdr/official-doc/Ldocs/OUTCOME-FINAL-as-separate-non-official-document.pdf>
- Konecny, M 2001 *ICA Statement on SDI and Cartography*. Proceedings on 5th Global Spatial Data Infrastructure Conference. 21-25 May 2001, Cartagena, Colombia.
- Konecny, M. 2001 *Global Issues 2001*. Global Issues and Cartography. Plenary Session Address. 17-31. In: Vol. 1. Proceedings on *Mapping 21st Century*. The 20th International Cartographic Conference. ICC2001 Beijing, China. August 6-10.
- Konecny, M. 2003 *Knowledge-Based Society and the Role of Global Mapping*. Global Mapping Forum, Okinawa, Japan. Conference Proceedings.
- Kraak, M.-J., Ormeling F.: *Cartography: Visualisation of Geospatial Data*, Pearson Education, Harlow. 2002
- MacEachren, A.M.: *How Maps Work: Representation, Visualization and Design*. The Guilford Press London. 1995
- Morita T.: *Ubiquitous mapping in Tokyo*. 9-13. In: Proceedings in UPIMap2004, The First International Joint Workshop on Ubiquitous, Pervasive and Internet Mapping. September 7-9,2004, Tokyo, Japan. 194 p.
- Ormeling F.: *Message from the International Cartographic Association, Focusing on Future Cartographic Education*. Geomatica 2001, Habana, Cuba. Draft.2001.
- Ormeling F.: *Challenges and Opportunities for Cartography in the Digital Era*. Draft. India. 2001.
- Peterson M.: *Internet Maps and Map Use, International Perspective*. GIS Development Journal, February 2005, Vol. 9, issue 2. p. 20-23.
- Strategic Plan of ICA, 2004. www.icaci.org
- Wood M., 2003. *Some Personal Reflections on Change... The Past and Future of Cartography*. The Cartographic Journal Vol. 40, No. 2, pp. 111-115. ■



GeoTres de

INGENIERÍA DE MODELIZACIÓN Y EXPLORACIÓN GEOMÉTRICA



Topografía 3D de Alta Definición

Trabaje con información detallada y precisa, "as built", gracias al escaneado y modelado tridimensional

Le proporcionamos los datos en cualquier soporte y tecnología: nube de puntos, mallas polícaras, modelos de superficie, modelos de sólidos, ortomágenes, sistemas diedrico, etc.



Alquiler GPS T. Real 1.100€/mes
Consulte nuestras ofertas

GPS TIEMPO REAL CENTIMETRICO

IBEREF MADRID

Red de estaciones de referencia

- *Duplique su productividad*
- *Convierta sus Referencias en móviles*
- *Trabaje a más distancia con más precisión*
- *Olvídese de vigilar sus Referencias*

en Madrid y Toledo



ESTACION TOTAL

SmartStation
Serie 1200
Serie 800 700 400

NIVEL

NA2/NAK2
DNA10/03
RUGBY 100/200
RUGBY 300/400

ACCESORIOS Y SERVICIOS. DISTO SOFTWARE MATERIAL DE MARCADO SERVICIO TÉCNICO

902 490 839 / 617 326 454
informacion@acre-sl.com
www.acre-sl.com
www.laserescaner.com

Autovia A-42.
Km 35-36. Salida Yeles
Nave 13
Illescas - Toledo



Datos facilitados por el Observatorio Astronómico Nacional

Agradecemos al Observatorio Astronómico su valiosa colaboración en nuestra Revista

CALENDARIOS

Introducción

Un calendario es un sistema que, con propósitos civiles o religiosos, organiza largos intervalos de tiempo en períodos de tiempo menores (tales como año, mes y semana) utilizando como unidad el día, con el propósito de que cada día se exprese de manera unívoca (sin ambigüedad).

En la actualidad hay unos 40 calendarios distintos en uso y aún más han dejado de ser usados. La mayoría de ellos tienen una cierta base astronómica, por cuanto intentan dividir el año trópico (correspondiente al ciclo de las estaciones climáticas) o el mes sinódico (correspondiente al ciclo de las fases lunares) en un número entero de días. En la práctica, cada calendario se define con un conjunto de reglas establecidas por convenio con las que se trata de conseguir un sistema que no se desvíe excesivamente, a medio plazo, del tipo de ajuste astronómico en que se basa; pero sin pretender un ajuste muy preciso (que no exigiría un excesivo número de reglas), pues su fin es social, no científico.

El calendario civil usado en las relaciones internacionales y en la mayoría de los países es el **calendario gregoriano** que, además, constituye la base del calendario eclesiástico de católicos y protestantes. La unidad de este calendario es el **día**, definido como 86.400 segundos de Tiempo Atómico Internacional (TAI).

Para facilitar los cambios internacionales, la Organización Internacional de Normalización (ISO) adoptó dos recomendaciones referidas a la escritura numérica de las fechas y a la numeración de las semanas:

Escritura numérica de fechas: Los tres elementos de la fecha se expresarán en cifras árabes y se pondrán en el orden: año, mes y día. El mes y el día se expresarán cada uno con dos cifras, pudiendo la de la izquierda ser un cero. Dada la ambigüedad que se presentó con la llegada del año 2000, se recomienda expresar el año con sus cuatro cifras. *Ejemplo:* el 28 de febrero de 2007 se escribe como 2007-02-28 o bien 20070228.

Numeración de las semanas: El lunes se considera como el primer día de la semana. Las semanas se numeran de 01 a 52. La primera semana del año, numerada 01, es la que contiene el primer jueves de enero. Se incluye una semana numerada 53 cuando el año considerado termina en jueves, o bien en jueves o viernes en caso de ser bisiesto.

Los **siglos**, períodos de 100 años, también son susceptibles de ser numerados en relación con un origen arbitrario. En el caso de la era cristiana, el primer siglo empezó el 1 de enero del año 1 y finalizó el 31 de diciembre del año 100; el siglo XX empezó el 1 de enero del año 1901 y acabó el 31 de diciembre del año 2000; el siglo XXI empezó el 1 de enero del año 2001 y acabará el 31 de diciembre del año 2100.

De manera análoga pueden numerarse los **milenios**, períodos de 1000 años; aunque su uso está peor definido que el de los siglos. El segundo milenio de la era cristiana se inició el 1 de enero del año 1001 y terminó el 31 de diciembre del año 2000. El día 1 de enero del 2001 se inició el tercer milenio.

Día Juliano

Una manera conveniente de expresar el instante en que un determinado fenómeno astronómico se ha dado consiste en dar el **número de día juliano** en que tal fenómeno se dio o se dará. La facilidad de uso se debe a que es una medida del tiempo continua, que puede ser fácilmente introducida en ecuaciones; la determinación del tiempo transcurrido entre dos sucesos se obtendrá mucho más fácilmente como una resta

Día a 0 ^h de TU	Día juliano	Día a 0 ^h de TU	Día Juliano
2007 Ene 0	2454100,5	2007 Jul 0	2454281,5
2007 Feb 0	2454131,5	2007 Ago 0	2454312,5
2007 Mar 0	2454159,5	2007 Set 0	2454343,5
20067 Abr 0	2454190,5	2007 Oct 0	2454373,5
2007 May 0	2454220,5	2007 Nov 0	2454404,5
2007 Jun 0	2454251,5	2007 Dic 0	2454434,5

ENERO

TIEMPOS

SOL

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de tiempo (v.-m.)	en Madrid (TU)													
				h	m	s		Orto	Culmin.	Ocaso	a 0 ^h de TU										
											Asc. recta	Declinac.									
1	L	1	2454101,5	06	41	04,550	-03	11	7	38	12	18	11	16	59	18	44	16,2	-23	03	02
2	M	2	2454102,5	06	45	01,117	-03	40	7	38	12	18	39	16	59	18	48	41,0	-22	58	08
3	M	3	2454103,5	06	48	57,684	-04	08	7	38	12	19	07	17	00	18	53	05,5	-22	52	47
4	J	4	2454104,5	06	52	54,250	-04	35	7	38	12	19	34	17	01	18	57	29,7	-22	46	58
5	V	5	2454105,5	06	56	50,814	-05	02	7	38	12	20	01	17	02	19	01	53,4	-22	40	42
6	S	6	2454106,5	07	00	47,374	-05	29	7	38	12	20	28	17	03	19	06	16,7	-22	33	60
7	D	7	2454107,5	07	04	43,931	-05	55	7	38	12	20	54	17	04	19	10	39,6	-22	26	50
8	L	8	2454108,5	07	08	40,485	-06	21	7	38	12	21	20	17	05	19	15	02,1	-22	19	15
9	M	9	2454109,5	07	12	37,037	-06	47	7	38	12	21	45	17	06	19	19	24,0	-22	11	12
10	M	10	2454110,5	07	16	33,588	-07	12	7	38	12	22	09	17	07	19	23	45,4	-22	02	44
11	J	11	2454111,5	07	20	30,140	-07	36	7	37	12	22	34	17	08	19	28	06,3	-21	53	50
12	V	12	2454112,5	07	24	26,693	-08	00	7	37	12	22	57	17	09	19	32	26,6	-21	44	30
13	S	13	2454113,5	07	28	23,248	-08	23	7	37	12	23	20	17	10	19	36	46,4	-21	34	44
14	D	14	2454114,5	07	32	19,806	-08	45	7	36	12	23	42	17	11	19	41	05,5	-21	24	34
15	L	15	2454115,5	07	36	16,367	-09	07	7	36	12	24	04	17	12	19	45	24,1	-21	13	59
16	M	16	2454116,5	07	40	12,930	-09	29	7	35	12	24	25	17	13	19	49	42,0	-21	02	59
17	M	17	2454117,5	07	44	09,495	-09	49	7	35	12	24	45	17	14	19	53	59,2	-20	51	35
18	J	18	2454118,5	07	48	06,061	-10	09	7	35	12	25	05	17	16	19	58	15,8	-20	39	47
19	V	19	2454119,5	07	52	02,626	-10	29	7	34	12	25	24	17	17	20	02	31,6	-20	27	35
20	S	20	2454120,5	07	55	59,187	-10	47	7	34	12	25	42	17	18	20	06	46,7	-20	15	00
21	D	21	2454121,5	07	59	55,745	-11	05	7	33	12	25	59	17	19	20	11	01,1	-20	02	03
22	L	22	2454122,5	08	03	52,299	-11	22	7	32	12	26	16	17	20	20	15	14,6	-19	48	43
23	M	23	2454123,5	08	07	48,850	-11	38	7	32	12	26	32	17	22	20	19	27,5	-19	35	09
24	M	24	2454124,5	08	11	45,406	-11	54	7	31	12	26	47	17	23	20	23	39,6	-19	20	56
25	J	25	2454125,5	08	15	41,951	-12	09	7	30	12	27	01	17	24	20	27	50,7	-19	06	31
26	V	26	2454126,5	08	19	38,506	-12	22	7	30	12	27	15	17	25	20	32	01,2	-18	51	45
27	S	27	2454127,5	08	23	35,063	-12	35	7	29	12	27	27	17	26	20	36	10,8	-18	36	38
28	D	28	2454128,5	08	27	31,624	-12	48	7	28	12	27	39	17	28	20	40	19,6	-18	21	11
29	L	29	2454129,5	08	31	28,188	-12	59	7	27	12	27	50	17	29	20	44	27,5	-18	05	24
30	M	30	2454130,5	08	35	24,753	-13	10	7	26	12	28	00	17	30	20	48	34,6	-17	49	18
31	M	31	2454131,5	08	39	21,317	-13	19	7	26	12	28	09	17	31	20	52	40,9	-17	32	53

FEBRERO

TIEMPOS

SOL

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de tiempo (v.-m.)	en Madrid (TU)													
				h	m	s		Orto	Culmin.	Ocaso	a 0 ^h de TU										
											Asc. recta	Declinac.									
1	J	32	2454132,5	08	43	17,878	-13	28	7	25	12	28	18	17	32	20	56	46,4	-17	16	09
2	V	33	2454133,5	08	47	14,437	-13	36	7	24	12	28	26	17	34	21	00	51,1	-16	59	07
3	S	34	2454134,5	08	51	10,993	-13	44	7	23	12	28	32	17	35	21	04	54,9	-16	41	47
4	D	35	2454135,5	08	55	07,545	-13	50	7	22	12	28	38	17	36	21	08	57,9	-16	24	10
5	L	36	2454136,5	08	59	04,096	-13	56	7	21	12	28	44	17	37	21	13	00,1	-16	06	15
6	M	37	2454137,5	09	03	00,645	-14	01	7	20	12	28	48	17	39	21	17	01,5	-15	48	04
7	M	38	2454138,5	09	06	57,194	-14	05	7	18	12	28	52	17	40	21	21	02,1	-15	29	59
8	J	39	2454139,5	09	10	53,744	-14	08	7	17	12	28	55	17	41	21	25	01,8	-15	10	53
9	V	40	2454140,5	09	14	50,295	-14	10	7	16	12	28	57	17	42	21	29	01,0	-14	51	54
10	S	41	2454141,5	09	18	46,850	-14	12	7	15	12	28	58	17	43	21	32	59,2	-14	32	40
11	D	42	2454142,5	09	22	43,406	-14	13	7	14	12	28	59	17	45	21	36	56,7	-14	13	12
12	L	43	2454143,5	09	26	39,966	-14	13	7	13	12	28	58	17	46	21	40	53,5	-13	53	29
13	M	44	2454144,5	09	30	36,528	-14	13	7	11	12	28	57	17	47	21	44	49,6	-13	33	32
14	M	45	2454145,5	09	34	33,090	-14	11	7	10	12	28	56	17	48	21	48	44,7	-13	13	21
15	J	46	2454146,5	09	38	29,653	-14	09	7	9	12	28	53	17	49	21	52	39,4	-12	52	58
16	V	47	2454147,5	09	42	26,213	-14	07	7	8	12	28	50	17	51	21	56	33,2	-12	32	22
17	S	48	2454148,5	09	46	22,770	-14	03	7	6	12	28	47	17	52	22	00	26,3	-12	11	34
18	D	49	2454149,5	09	50	19,323	-13	59	7	5	12	28	42	17	53	22	04	18,8	-11	50	34
19	L	50	2454150,5	09	54	15,872	-13	54	7	4	12	28	37	17	54	22	08	10,5	-11	29	23
20	M	51	2454151,5	09	58	12,420	-13	49	7	3	12	28	31	17	55	22	12	01,5	-11	08	01
21	M	52	2454152,5	10	02	08,968	-13	43	7	2	12	28	24	17	57	22	15	51,7	-10	46	29
22	J	53	2454153,5	10	06	05,519	-13	36	7	1	12	28	17	17	58	22	19	41,5	-10	24	47
23	V	54	2454154,5	10	10	02,073	-13	28	7	0	12	28	09	17	59	22	23	30,5	-10	02	55
24	S	55	2454155,5	10	13	58,631	-13	20	6	57	12	28	01	18	00	22	27	18,8	-09	40	54
25	D	56	2454156,5	10	17	55,192	-13	11	6	55	12	27	52	18	01	22	31	06,7	-09	18	45
26	L	57	2454157,5	10	21	51,754	-13	02	6	54	12	27	42	18	02	22	34	53,9	-08	56	27
27	M	58	2454158,5	10	25	48,315	-12	52	6	52	12	27	32	18	03	22	38	40,5	-08	34	01
28	M	59	2454159,5	10	29	44,875	-12	41	6	51	12	27	21	18	05	22	42	26,5	-08	11	28

MARZO

TIEMPOS

SOL

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de tiempo (v.-m.)	en Madrid (TU)													
				h	m	s		Orto	Culmin.	Ocaso	a 0 ^h de TU										
											Asc. recta	Declinac.									
1	J	60	2454160,5	10	33	41,432	-12	30	6	49	12	27	10	18	06	22	46	12,0	-07	48	48
2	V	61	2454161,5	10	37	37,986	-12	19	6	48	12	26	58	18	07	22	49	56,9	-07	26	01
3	S	62	2454162,5	10	41	34,537	-12	07	6	46	12	26	45	18	08	22	53	41,2	-07	03	08
4	D	63	2454163,5	10	45	31,085	-11	54	6	45	12	26	32	18	09	22	57	25,3	-06	40	09
5	L	64	2454164,5	10	49	27,632	-11	41	6	43	12	26	19	18	10	23	01	08,6	-06	17	04
6	M	65	2454165,5	10	53	24,179	-11	27	6	42	12	26	05	18	11						

ABRIL

TIEMPOS

SOL

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de tiempo (v.-m.)	en Madrid (TU)				
				h	m	s		Orto	Culmin.	Ocaso	Asc. recta	Declinac.
1	D	91	2454191,5	12	35	54,584	+04 08	5 59	12 18 44	18 39	00 40 02,2	+04 18 36
2	L	92	2454192,5	12	39	51,130	-03 30	5 58	12 18 26	18 40	00 43 40,9	+04 41 45
3	M	93	2454193,5	12	43	47,677	-03 32	5 56	12 18 08	18 41	00 47 19,7	+05 04 49
4	M	94	2454194,5	12	47	44,225	-03 14	5 54	12 17 50	18 42	00 50 58,5	+05 27 48
5	J	95	2454195,5	12	51	40,776	-02 57	5 53	12 17 33	18 43	00 54 37,5	+05 50 42
6	V	96	2454196,5	12	55	37,329	-02 39	5 51	12 17 16	18 44	00 58 16,7	+06 13 29
7	S	97	2454197,5	12	59	33,885	-02 22	5 50	12 16 59	18 45	01 01 56,1	+06 36 10
8	D	98	2454198,5	13	03	30,443	-02 05	5 48	12 16 42	18 46	01 05 35,7	+06 58 44
9	L	99	2454199,5	13	07	27,003	-01 48	5 47	12 16 25	18 47	01 09 15,6	+07 21 11
10	M	100	2454200,5	13	11	23,564	-01 32	5 45	12 16 09	18 48	01 12 55,7	+07 43 31
11	M	101	2454201,5	13	15	20,124	-01 16	5 43	12 15 53	18 49	01 16 36,1	+08 05 43
12	J	102	2454202,5	13	19	16,682	-01 00	5 42	12 15 37	18 50	01 20 16,8	+08 27 47
13	V	103	2454203,5	13	23	13,237	-00 44	5 40	12 15 22	18 51	01 23 57,7	+08 49 43
14	S	104	2454204,5	13	27	09,788	-00 29	5 39	12 15 07	18 52	01 27 39,2	+09 11 30
15	D	105	2454205,5	13	31	06,336	-00 14	5 37	12 14 52	18 53	01 31 20,8	+09 33 08
16	L	106	2454206,5	13	35	02,888	-00 00	5 36	12 14 38	18 54	01 35 02,9	+09 54 36
17	M	107	2454207,5	13	39	59,431	+00 14	5 34	12 14 24	18 55	01 38 45,2	+10 15 58
18	M	108	2454208,5	13	42	55,983	+00 28	5 33	12 14 10	18 56	01 42 28,0	+10 37 04
19	J	109	2454209,5	13	46	52,539	+00 42	5 31	12 13 57	18 57	01 46 11,1	+10 58 01
20	V	110	2454210,5	13	50	49,099	+00 55	5 30	12 13 44	18 58	01 49 54,7	+11 18 49
21	S	111	2454211,5	13	54	45,662	+01 07	5 28	12 13 32	18 59	01 53 38,7	+11 39 24
22	D	112	2454212,5	13	58	42,226	+01 19	5 27	12 13 20	19 01	01 57 23,1	+11 59 48
23	L	113	2454213,5	14	02	38,788	+01 31	5 25	12 13 08	19 02	02 01 07,9	+12 20 01
24	M	114	2454214,5	14	06	35,348	+01 42	5 24	12 12 57	19 03	02 04 53,2	+12 40 01
25	M	115	2454215,5	14	10	31,908	+01 53	5 23	12 12 47	19 04	02 08 38,9	+12 59 48
26	J	116	2454216,5	14	14	28,458	+02 04	5 21	12 12 36	19 05	02 12 25,0	+13 19 22
27	V	117	2454217,5	14	18	25,009	+02 14	5 20	12 12 27	19 06	02 16 11,6	+13 38 43
28	S	118	2454218,5	14	22	21,558	+02 23	5 19	12 12 18	19 07	02 19 58,7	+13 57 51
29	D	119	2454219,5	14	26	18,106	+02 32	5 17	12 12 09	19 08	02 23 46,2	+14 16 44
30	L	120	2454220,5	14	30	14,655	+02 41	5 16	12 12 01	19 09	02 27 34,4	+14 35 24

de Madrid, lo que les permite emitir cada media hora las señales horarias de tiempo oficial. Hay que resaltar, sin embargo, que las señales emitidas sufren un pequeño retraso por propagación cuando la emisión tiene lugar desde un satélite. Dichos relojes están sincronizados con el sistema GPS.

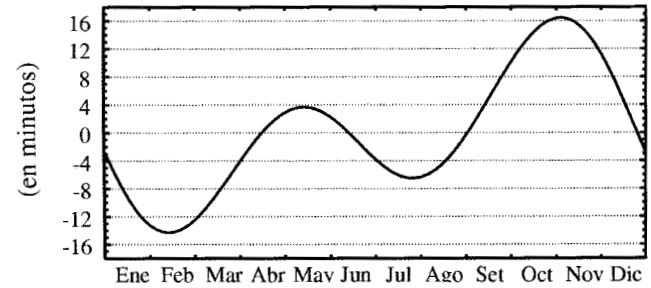
Todos los tiempos indicados en estas tablas se refieren a las 0^h del tiempo universal (TU) del día considerado.

El tiempo solar verdadero se obtiene sumando la ecuación de tiempo al tiempo solar medio que, a su vez, se obtiene sumando el TU del instante considerado y la longitud (Este) del lugar:

$$\text{tiempo solar medio} = \text{TU} + \text{longitud}_{\text{Este}}$$

$$\text{tiempo solar verdadero} = \text{tiempo solar medio} + \text{ecuación de tiempo}$$

Ecuación de tiempo



TIEMPOS

SOL

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de tiempo (ver.-med.)	en Madrid (TU)				
				h	m	s		Orto	Culmin.	Ocaso	Asc. recta	Declinac.
1	M	121	2454221,5	14	34	11,205	+0,214	5 15	12 11 53	19 10	02 31 23,0	+14 53 49
2	M	122	2454222,5	14	38	07,757	+0,210	5 13	12 11 46	19 11	02 35 13,1	+15 11 59
3	J	123	2454223,5	14	42	04,311	+0,209	5 12	12 11 39	19 12	02 39 01,8	+15 29 54
4	V	124	2454224,5	14	46	00,869	+0,211	5 11	12 11 33	19 13	02 42 52,1	+15 47 34
5	S	125	2454225,5	14	49	57,428	+0,216	5 10	12 11 28	19 14	02 46 42,9	+16 04 58
6	D	126	2454226,5	14	53	53,990	+0,222	5 09	12 11 23	19 15	02 50 34,2	+16 22 06
7	L	127	2454227,5	14	57	50,552	+0,229	5 07	12 11 19	19 16	02 54 26,1	+16 38 58
8	M	128	2454228,5	15	01	47,114	+0,236	5 06	12 11 15	19 17	02 58 18,6	+16 55 34
9	M	129	2454229,5	15	05	43,675	+0,241	5 05	12 11 12	19 18	03 02 11,6	+17 11 52
10	J	130	2454230,5	15	09	40,233	+0,243	5 04	12 11 09	19 19	03 06 05,4	+17 27 54
11	V	131	2454231,5	15	13	36,787	+0,242	5 03	12 11 07	19 20	03 09 59,7	+17 43 38
12	S	132	2454232,5	15	17	33,339	+0,239	5 02	12 11 06	19 21	03 13 54,5	+17 59 04
13	D	133	2454233,5	15	21	29,888	+0,233	5 01	12 11 05	19 22	03 17 50,0	+18 14 13
14	L	134	2454234,5	15	25	26,438	+0,227	5 00	12 11 05	19 23	03 21 46,0	+18 29 02
15	M	135	2454235,5	15	29	22,990	+0,223	4 59	12 11 05	19 24	03 25 42,6	+18 43 34
16	M	136	2454236,5	15	33	19,546	+0,224	4 58	12 11 06	19 25	03 29 39,7	+18 57 46
17	J	137	2454237,5	15	37	16,107	+0,230	4 57	12 11 07	19 26	03 33 37,6	+19 11 39
18	V	138	2454238,5	15	41	12,657	+0,239	4 56	12 11 09	19 27	03 37 36,0	+19 25 12
19	S	139	2454239,5	15	45	09,238	+0,250	4 55	12 11 12	19 28	03 41 34,9	+19 38 26
20	D	140	2454240,5	15	49	05,804	+0,261	4 55	12 11 15	19 28	03 45 34,2	+19 51 19
21	L	141	2454241,5	15	53	02,367	+0,269	4 54	12 11 19	19 29	03 49 34,2	+20 03 52
22	M	142	2454242,5	15	56	58,928	+0,274	4 53	12 11 23	19 30	03 53 34,7	+20 16 05
23	M	143	2454243,5	16	00	55,485	+0,276	4 52	12 11 28	19 31	03 57 35,7	+20 27 56
24	J	144	2454244,5	16	04	52,039	+0,274	4 52	12 11 33	19 32	04 01 37,2	+20 39 27
25	V	145	2454245,5	16	08	48,591	+0,271	4 51	12 11 39	19 33	04 05 39,2	+20 50 36
26	S	146	2454246,5	16	12	45,141	+0,266	4 50	12 11 45	19 34	04 09 41,7	+21 01 23
27	D	147	2454247,5	16	16	41,692	+0,261	4 50	12 11 51	19 35	04 13 44,7	+21 11 49
28	L	148	2454248,5	16	20	38,244	+0,257	4 49	12 11 59	19 35	04 17 48,1	+21 21 52
29	M	149	2454249,5	16	24	34,797	+0,256	4 48	12 12 06	19 36	04 21 51,9	+21 31 34
30	M	150	2454250,5	16	28	31,353	+0,256	4 48	12 12 14	19 37	04 25 56,2	+21 40 53
31	J	151	2454251,5	16	32	27,912	+0,260	4 47	12 12 22	19 38	04 30 01,0	+21 49 49

La ecuación de tiempo se define como la corrección al tiempo medio (obtenido a partir de relojes de precisión) para obtener el tiempo solar verdadero. Antiguamente se consideraba como la corrección a aplicar al tiempo verdadero (obtenido con medidas astronómicas) para obtener el tiempo medio. Este cambio de definición se traduce en un cambio de signo respecto de ediciones del ANUARIO anteriores a 1994.

El valor absoluto máximo de la ecuación de tiempo no supera los 16,5 minutos. Su variación máxima en un día no excede los 30 segundos. La ecuación de tiempo para este año se puede calcular aproximadamente mediante la fórmula:

$$595^{\circ} \text{sen}(198^{\circ} + 1,09713 d) + 441^{\circ} \text{sen}(175^{\circ} + 0,9856 d)$$

siendo *d* el día del año. El error cometido es menor de medio minuto.

La ecuación de tiempo se anula en las siguientes cuatro fechas: 15 de abril, 13 de junio, 1 de septiembre y 25 de diciembre. En estas fechas, el tiempo solar medio y el verdadero prácticamente coinciden.

Su valor es mínimo el día 11 de febrero, con un mínimo secundario el 26 de julio. Su valor es máximo el día 3 de noviembre, con un máximo secundario el 14 de mayo.

EFEMÉRIDES DEL SOL PARA 2007

Los instantes de salida y puesta del Sol (Orto y Ocaso) han sido calculados para Madrid, corrigiendo por un valor medio de la refracción y pres-

JULIO

TIEMPOS

SOL

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de tiempo (v.-m.)			en Madrid (TU)					a 0° de TU						
				h m s			m s			Orto	Culmin.	Ocaso	Asc. recta	Declinac.	Orto	Culmin.	Ocaso	Asc. recta	Declinac.		
				h	m	s	m	s	h											m	s
1	D	182	2454282,5	18	34	41,248	-03	41	4	48	12	18	33	19	49	06	38	22,8	+23	08	50
2	L	183	2454283,5	18	38	37,812	-03	53	4	49	12	18	44	19	49	06	42	31,0	+23	04	51
3	M	184	2454284,5	18	42	34,373	-04	04	4	49	12	18	55	19	49	06	46	38,9	+23	00	27
4	M	185	2454285,5	18	46	30,931	-04	15	4	50	12	19	06	19	48	06	50	46,4	+22	55	39
5	J	186	2454286,5	18	50	27,485	-04	26	4	50	12	19	17	19	48	06	54	53,7	+22	50	27
6	V	187	2454287,5	18	54	24,037	-04	36	4	51	12	19	27	19	48	06	59	00,6	+22	44	52
7	S	188	2454288,5	18	58	20,588	-04	46	4	51	12	19	37	19	48	07	03	07,3	+22	38	53
8	D	189	2454289,5	19	02	17,140	-04	56	4	52	12	19	46	19	47	07	13,6	+22	32	30	
9	L	190	2454290,5	19	06	13,695	-05	06	4	53	12	19	56	19	47	07	19,5	+22	25	43	
10	M	191	2454291,5	19	10	10,255	-05	15	4	53	12	20	04	19	47	07	25,2	+22	18	33	
11	M	192	2454292,5	19	14	06,815	-05	23	4	54	12	20	13	19	46	07	31,0	+22	11	01	
12	J	193	2454293,5	19	18	03,381	-05	31	4	55	12	20	21	19	46	07	36,9	+22	03	05	
13	V	194	2454294,5	19	22	59,948	-05	39	4	55	12	20	28	19	45	07	42,8	+21	54	46	
14	S	195	2454295,5	19	26	56,514	-05	46	4	56	12	20	35	19	45	07	48,7	+21	46	05	
15	D	196	2454296,5	19	30	53,078	-05	53	4	57	12	20	42	19	44	07	54,6	+21	37	01	
16	L	197	2454297,5	19	34	49,638	-05	59	4	58	12	20	48	19	43	07	49,3	+21	27	36	
17	M	198	2454298,5	19	38	46,195	-05	05	4	58	12	20	53	19	43	07	43,5	+21	17	48	
18	M	199	2454299,5	19	42	42,748	-05	10	4	59	12	20	58	19	42	07	47	53,2	+21	07	39
19	V	200	2454300,5	19	46	39,299	-05	15	5	00	12	21	03	19	42	07	51,5	+20	57	08	
20	V	201	2454301,5	19	50	35,855	-05	19	5	01	12	21	06	19	41	07	55,5	+20	46	17	
21	S	202	2454302,5	19	53	32,401	-05	23	5	02	12	21	10	19	40	07	59,5	+20	35	04	
22	D	203	2454303,5	19	57	28,953	-05	26	5	03	12	21	14	19	39	08	03,5	+20	23	30	
23	L	204	2454304,5	20	01	25,507	-05	28	5	03	12	21	14	19	38	08	07,5	+20	11	36	
24	M	205	2454305,5	20	05	22,063	-05	30	5	04	12	21	16	19	38	08	11,5	+20	01	22	
25	M	206	2454306,5	20	09	18,622	-05	31	5	05	12	21	17	19	37	08	15,9	+19	46	48	
26	J	207	2454307,5	20	13	15,182	-05	32	5	06	12	21	17	19	36	08	19,4	+19	33	55	
27	V	208	2454308,5	20	17	11,747	-05	32	5	07	12	21	17	19	35	08	23,4	+19	20	42	
28	S	209	2454309,5	20	21	8,312	-05	31	5	08	12	21	16	19	34	08	27,3	+19	07	09	
29	D	210	2454310,5	20	25	04,873	-05	30	5	09	12	21	14	19	33	08	31,4	+18	53	18	
30	L	211	2454311,5	20	29	01,434	-05	28	5	10	12	21	12	19	32	08	35,2	+18	39	09	
31	M	212	2454312,5	20	32	57,992	-05	25	5	11	12	21	09	19	31	08	39,2	+18	24	41	

OCTUBRE

TIEMPOS

SOL

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de tiempo (v.-m.)			en Madrid (TU)					a 0° de TU						
				h m s			m s			Orto	Culmin.	Ocaso	Asc. recta	Declinac.	Orto	Culmin.	Ocaso	Asc. recta	Declinac.		
				h	m	s	m	s	h											m	s
1	L	274	2454374,5	00	37	24,355	+10	05	6	11	12	04	31	17	58	12	27	19,7	-02	57	09
2	M	275	2454375,5	00	41	20,917	+10	24	6	12	12	04	17	17	56	12	30	56,7	-03	20	25
3	M	276	2454376,5	00	45	17,479	+10	44	6	13	12	05	12	17	54	12	34	34,2	-03	43	39
4	J	277	2454377,5	00	49	14,040	+11	02	6	14	12	03	34	17	53	12	38	12,0	-04	06	51
5	V	278	2454378,5	00	53	10,598	+11	21	6	15	12	03	15	17	51	12	41	50,0	-04	30	00
6	S	279	2454379,5	00	57	07,153	+11	39	6	16	12	02	57	17	50	12	45	28,5	-04	53	06
7	D	280	2454380,5	01	01	03,705	+11	57	6	17	12	02	40	17	48	12	49	07,3	-05	16	08
8	L	281	2454381,5	01	05	00,254	+12	14	6	18	12	02	23	17	46	12	52	46,6	-05	39	07
9	M	282	2454382,5	01	08	56,801	+12	31	6	19	12	02	06	17	45	12	56	26,3	-06	02	01
10	M	283	2454383,5	01	12	53,348	+12	47	6	20	12	01	50	17	43	13	00	06,4	-06	24	50
11	J	284	2454384,5	01	16	49,895	+13	03	6	21	12	01	34	17	42	13	03	47,0	-06	47	35
12	V	285	2454385,5	01	20	46,444	+13	19	6	22	12	01	17	17	40	13	07	28,0	-07	10	14
13	S	286	2454386,5	01	24	42,994	+13	34	6	23	12	01	04	17	39	13	11	09,6	-07	32	47
14	D	287	2454387,5	01	28	39,548	+13	48	6	24	12	00	50	17	37	13	14	51,6	-07	55	13
15	L	288	2454388,5	01	32	36,103	+14	02	6	25	12	00	36	17	36	13	18	34,2	-08	17	33
16	M	289	2454389,5	01	36	32,661	+14	16	6	26	12	00	23	17	34	13	22	17,3	-08	39	46
17	M	290	2454390,5	01	40	29,211	+14	28	6	27	12	00	11	17	33	13	26	01,0	-09	01	52
18	J	291	2454391,5	01	44	25,761	+14	41	6	28	11	59	59	17	31	13	29	45,2	-09	23	50
19	V	292	2454392,5	01	48	22,311	+14	53	6	29	11	59	47	17	30	13	33	30,1	-09	45	39
20	S	293	2454393,5	01	52	18,859	+15	04	6	30	11	59	36	17	28	13	37	15,6	-10	07	20
21	D	294	2454394,5	01	56	15,404	+15	14	6	32	11	59	26	17	27	13	41	01,6	-10	28	52
22	L	295	2454395,5	02	00	12,007	+15	24	6	33	11	59	17	17	25	13	44	48,2	-10	50	15
23	M	296	2454396,5	02	04	08,556	+15	33	6	34	11	59	08	17	24	13	48	35,6	-11	11	27
24	M	297	2454397,5	02	08	05,104	+15	42	6	35	11	58	59	17	23	13	52	23,6	-11	32	30
25	V	298	2454398,5	02	12	01,651	+15	50	6	36	11	58	52	17	21	13	56	12,3	-11	53	22
26	J	299	2454399,5	02	16	58,202	+15	57	6	37	11	58	45	17	20	14	00	01,6	-12	14	03
27	S	300	2454400,5	02	19	54,757	+16	03	6	38	11	58	39	17	19	14	03	51,7	-12	34	33
28	D	301	2454401,5	02	23	51,316	+16	09	6	39	11	58	34	17	17	14	07	42,6	-12	54	51
29	L	302	2454402,5	02	27	47,879	+16	14	6	41	11	58	29	17	16	14	11	34,2	-13	14	58
30	M	303	2454403,5	02	31	44,444	+16	18	6	42	11	58	25	17	15	14	15	26,6	-13	34	52
31	M	304	2454404,5	02	35	41,009	+16	22	6	43	11	58	22	17	13	14	19	19,7	-13	54	33

AGOSTO

TIEMPOS

SOL

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de tiempo (v.-m.)			en Madrid (TU)					a 0° de TU						
				h m s			m s			Orto	Culmin.	Ocaso	Asc. recta	Declinac.	Orto	Culmin.	Ocaso	Asc. recta	Declinac.		
				h	m	s	m	s	h											m	s
1	M	213	2454313,5	20	36	54,545	-06	22	5	12	12	21	06	19	30	08	43	17,2	+18	09	58
2	J	214	2454314,5	20	40	51,096	-06	19	5	13	12	21	07	19	29	08	47	10,1			

cindiendo del relieve en el horizonte. Se indica también, en la columna **Culminación**, el instante de paso del centro del disco solar por el meridiano de Madrid, lo que constituye el *mediodía verdadero*. Para conocer el tiempo *oficial* en que se da cada fenómeno, hay que sumar una o dos horas al valor obtenido de la tabla, dependiendo de la época del año.

Para calcular el orto, el ocaso y la culminación del Sol en cualquier otro lugar de España véanse los apartados *Ortos y ocasos del Sol* y *Paso del Sol por el meridiano* en el ANUARIO.

En las dos últimas columnas se indica la posición aparente geocéntrica del Sol a las 0^h de TU, expresada en coordenadas ecuatoriales, **ascensión recta** y **declinación**. Para obtener las coordenadas en cualquier otro instante debe realizarse una interpolación de segundo grado partiendo de los valores de dichas columnas (véase el apartado *Interpolación* en la sección *TABLAS* del ANUARIO).

Se llama culminación del Sol al paso del centro del Sol por el meridiano del lugar. El instante de la culminación del Sol en cualquier lugar de España se puede obtener de la siguiente manera aproximada:

- (1) a la ascensión recta del día considerado se le resta el tiempo sidéreo en Greenwich a 0^h de TU de este día (tabla en *TIEMPOS*);
- (2) se le resta la longitud Este del lugar (por ejemplo, en el caso de Madrid se suman 15^m, al ser la longitud de Madrid de -15^m); y
- (3) si tenemos un tiempo negativo, se suman 24^h.

La posición del Sol en su órbita aparente, la *eclíptica*, se da mediante la coordenada *longitud*, que designaremos con el símbolo ☉. Su valor aproximado para el día *d* de un año cualquiera viene dado por:

$$\odot \approx 280^\circ + 0,986 d + 2^\circ \text{sen}(0,986 d).$$

Un desarrollo más preciso de ☉ para este año puede encontrarse en la página del ANUARIO dedicada a *datos solares*.

Las coordenadas ecuatoriales del Sol se pueden calcular aproximadamente mediante:

$$\alpha_{\odot} \approx \arctan(0,917 \tan \odot), \text{ mismo cuadrante que } \odot$$

$$\delta_{\odot} \approx \arcsen(0,398 \text{sen } \odot).$$

Por ejemplo, para el día 10 de abril (*d* = 100) se obtienen: ☉ = 21° (primer cuadrante), α_☉ = 19° = 1^h16^m, δ_☉ = +8,°2.

Los instantes de orto y ocaso del Sol para un lugar dado pueden ser calculados de manera aproximada:

- (1) se calculan la longitud del Sol, ☉, y el instante de culminación para el lugar;
- (2) se calcula el tiempo auxiliar:
 $H = 6^h4^m + 77^m \text{sen } \odot$, en la Península y Baleares
 $H = 6^h3^m + 49^m \text{sen } \odot$, en Canarias

- (3) para determinar el orto, se resta el valor *H* al instante de la culminación;
- (4) para determinar el ocaso, se suman ambos valores.

La presencia de montañas o colinas en el horizonte tiene como efecto el retrasar el instante del orto o adelantar el del ocaso. Si el Sol sale en un lugar del horizonte en que el relieve alcanza una altura *h* (en metros) por encima del lugar de observación y se encuentra a una distancia *D* (en km), el retraso en el orto viene dado aproximadamente por: 19° *h* (m)/*D* (km). El adelanto en el ocaso se calcula análogamente. En Canarias, usar 16^s como factor multiplicativo.

El lugar en el horizonte en que sale o se pone el Sol se indica con el *acimut*, ángulo que se mide desde el Sur (acimut=0°) y es positivo hacia el Oeste. Utilizando desarrollos antes explicados, el acimut, *a*, del ocaso viene dado por:

$$a \approx \arcsen(-0,012 - 0,523 \text{sen } \odot), \text{ en la Península y Baleares}$$

$$a \approx \arcsen(-0,008 - 0,452 \text{sen } \odot), \text{ en Canarias.}$$

El acimut del orto se calcula de igual manera pero se toma con signo negativo.

ESTRELLA POLAR

Se denomina Estrella Polar a la más brillante de la constelación de la Osa Menor (αUMi). Se trata de una estrella de magnitud *V*=2,0 que se encuentra a ~ 1° de la dirección del Polo Norte. Al ser visible a lo largo de todo el año (en el hemisferio Norte) resulta adecuada para algunas aplicaciones en topografía y navegación. Su proximidad al polo permite determinar la latitud del lugar: en primera aproximación (error < 1°), es la altura de la Polar. Su dirección sobre el horizonte da, en primera aproximación, la del meridiano.

α ₂₀₀₀	2 ^h 31 ^m 48 ^s ,70
δ ₂₀₀₀	89°15'50,77
μ _α cosδ	0,0383'' por año
μ _δ	-0,0152'' por año
π	0,003''
<i>V</i>	2,02 ^{mag}
<i>B-V</i>	0,60 ^{mag}
tipo espectral	F8

Consideraciones previas

Para realizar o reducir observaciones de la Polar conviene determinar los siguientes valores:

- tiempo sidéreo local = tiempo sidéreo en Greenwich a 0^hTU + 1,0027379 * Tiempo Universal + longitud λ del lugar (positiva al Este)
- ángulo horario de la Polar:
 $H = \text{tiempo sidéreo local} - \text{asc. recta de la Polar } (\alpha, \text{ ver tabla})$
- distancia polar de la Polar: *p* (ver tabla)
- declinación de la Polar: δ = 90° - *p*

El instante de culminación superior de la Polar por el meridiano de Greenwich en una fecha dada puede calcularse a partir del valor de la ascensión recta α dada en la tabla de la Polar, mediante:

$$TU = 0,99727 (\alpha - TSG0 + 24^h)$$

donde TSG0 es el tiempo sidéreo de Greenwich a 0^h de TU (v. tabla en TIEMPOS) y el tiempo TU resultante debe darse entre 0^h y 24^h.

Predicción de las coordenadas horizontales de la Polar

La altura h y el acimut a de la Polar en el día y hora considerados y en un lugar de latitud ϕ vienen dados por:

$$\text{altura: } h = \phi + p \cos H - 0,00873 (p \operatorname{sen} H)^2 \tan \phi$$

$$\text{acimut: } a = -p \operatorname{sen} H / \cos h$$

donde todos los ángulos (ϕ, p, H, h, a) deben ser expresados en grados y el acimut a se mide desde el Norte positivamente hacia el Este.

Determinación de la latitud

La medida de la altura h de la Polar sobre el horizonte permite determinar la latitud ϕ de un lugar, suponiendo que se conoce la longitud λ de éste con suficiente precisión. Se calculan, como se ha indicado antes, el ángulo horario H de la Polar y su distancia polar p para el instante TU en que se ha realizado la medida de la altura h . Tras corregir ésta de refrac-

ción, errores instrumentales y, si fuera necesario, de la depresión del horizonte, la latitud se determina mediante:

$$\phi = h - p \cos H + 0,00873 (p \operatorname{sen} H)^2 \tan h$$

donde todos los ángulos (ϕ, p, H, h) deben ser expresados en grados. Para nuestras latitudes, el último sumando es $< 20''$.

Determinación de la meridiana

La medida, sobre el horizonte, de la dirección de la Polar respecto del Norte permite determinar la dirección de la meridiana. Procediendo como antes, calculamos los ángulos H y p . Medimos la altura h de la Polar o la prededimos mediante la fórmula dada en Predicción... El acimut de la Polar vendrá dado por:

$$a = -p \operatorname{sen} H / \cos h$$

mediándose el acimut a desde el Norte y positivo hacia el Este. Si se desea referir el acimut al Sur, súmese 180° al valor antes obtenido.

El hecho de usar un valor de la ascensión recta α para una fecha dada, sin interpolar a la hora de observación, introduce un error esperado en la latitud ϕ que se determine de 0",1 (3 m), siendo el error máximo posible menor de 0",4 (12 m).

El día 1 de noviembre la Polar culmina dos veces en Greenwich, siendo las coordenadas en su segundo paso: $\alpha = 2^h 42^m 22^s,74$ y $p = 41^m 59^s,4$.

Posición aparente de la Polar en 2007 en su culminación superior en Greenwich

día	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p	
	2 ^h 39 ^m 41'		2 ^h 38 ^m 41'		2 ^h 38 ^m 41'		2 ^h 38 ^m 42'		2 ^h 38 ^m 42'		2 ^h 38 ^m 42'		2 ^h 39 ^m 42'		2 ^h 40 ^m 42'		2 ^h 41 ^m 42'		2 ^h 41 ^m 42'		2 ^h 42 ^m 41'		2 ^h 41 ^m 41'		2 ^h 41 ^m 41'
1	86:15 55:9		97:01 51:8		50:20 53:5		13:56 0:3		6:37 9:5		29:81 18:0		14:45 22:8		11:32 23:1		8:52 18:9		54:76 10:9		22:44 59:8		81:44 48:5		81:44 48:5
2	85:01 55:6		95:07 51:7		48:46 53:6		12:73 0:7		6:76 9:8		31:17 18:2		16:10 22:8		12:96 23:1		10:48 18:7		56:32 10:5		22:93 59:0		80:73 48:1		80:73 48:1
3	83:73 55:4		93:08 51:7		46:71 53:8		12:02 1:0		7:26 10:1		32:47 18:3		17:66 22:9		14:70 23:0		12:52 18:5		57:74 10:2		23:06 58:7		80:05 47:8		80:05 47:8
4	82:29 55:1		91:09 51:7		45:01 53:9		11:44 1:3		7:82 10:4		33:70 18:5		19:14 22:9		16:59 23:0		14:56 18:3		59:01 9:8		23:17 58:3		79:44 47:5		79:44 47:5
5	80:72 54:9		89:13 51:7		43:38 54:1		10:97 1:7		8:40 10:7		34:83 18:7		20:62 23:0		18:63 23:0		16:53 18:0		60:11 9:4		23:30 57:9		78:89 47:3		78:89 47:3
6	79:05 54:7		87:24 51:7		41:86 54:4		10:59 2:0		8:97 11:0		35:88 18:8		22:15 23:1		20:80 22:9		18:38 17:8		61:08 9:0		23:49 57:6		78:40 47:0		78:40 47:0
7	77:32 54:5		85:45 51:8		40:46 54:6		10:26 2:3		9:48 11:2		36:89 19:0		23:80 23:2		23:04 22:8		20:07 17:5		61:96 8:7		23:74 57:3		77:93 46:7		77:93 46:7
8	75:60 54:3		83:76 51:8		39:17 54:8		9:94 2:5		9:91 11:5		37:91 19:3		25:62 23:3		25:27 22:7		21:62 17:2		62:80 8:3		24:05 57:0		77:45 46:3		77:45 46:3
9	73:90 54:1		82:16 51:9		37:98 55:0		9:60 2:8		10:26 11:7		39:03 19:5		27:60 23:4		27:42 22:6		23:06 16:9		63:64 8:0		24:41 56:6		76:93 46:0		76:93 46:0
10	72:28 54:0		80:64 52:0		36:85 55:2		9:19 3:0		10:54 12:0		40:30 19:7		29:70 23:5		29:45 22:4		24:44 16:7		64:53 7:7		24:78 56:3		76:33 45:7		76:33 45:7
11	70:73 53:9		79:16 52:0		35:76 55:4		8:69 3:3		10:80 12:3		41:75 20:0		31:87 23:6		31:34 22:3		25:79 16:4		65:47 7:4		25:13 55:9		75:61 45:3		75:61 45:3
12	69:26 53:8		77:68 52:0		34:67 55:6		8:11 3:5		11:11 12:6		43:38 20:2		34:03 23:6		33:10 22:1		27:17 16:2		66:49 7:1		25:43 55:5		74:77 45:0		74:77 45:0
13	67:87 53:6		76:15 52:0		33:52 55:8		7:47 3:8		11:55 12:9		45:14 20:4		36:09 23:6		34:76 22:0		28:61 16:0		67:57 6:8		25:63 55:1		73:79 44:6		73:79 44:6
14	66:53 53:5		74:54 52:0		32:28 55:9		6:84 4:1		12:18 13:2		46:94 20:6		38:02 23:6		36:39 21:8		30:13 15:7		68:70 6:5		25:72 54:7		72:69 44:3		72:69 44:3
15	65:19 53:4		72:79 52:0		30:93 56:1		6:30 4:5		13:02 13:6		48:70 20:7		39:81 23:5		38:03 21:7		31:73 15:5		69:83 6:2		25:67 54:3		71:51 44:0		71:51 44:0
16	63:81 53:2		70:92 52:0		29:49 56:3		5:93 4:8		14:04 13:9		50:35 20:8		41:50 23:5		39:72 21:6		33:39 15:3		70:94 5:8		25:49 53:9		70:32 43:7		70:32 43:7
17	62:34 53:0		68:95 52:1		28:00 56:5		5:78 5:2		15:15 14:2		51:86 20:9		43:12 23:5		41:48 21:5		35:10 15:0		71:99 5:5		25:19 53:5		69:17 43:4		69:17 43:4
18	60:73 52:9		66:96 52:2		26:56 56:7		5:84 5:5		16:27 14:4		53:26 21:0		44:74 23:5		43:34 21:4		36:81 14:8		72:94 5:1		24:83 53:1		68:11 43:2		68:11 43:2
19	58:97 52:7		65:05 52:3		25:25 57:0		6:04 5:8		17:31 14:7		54:57 21:2		46:40 23:5		45:28 21:3		38:50 14:5		73:78 4:7		24:47 52:8		67:19 43:0		67:19 43:0
20	57:07 52:5		63:30 52:4		24:14 57:3		6:28 6:2		18:23 14:9		55:87 21:3		48:13 23:6		47:29 21:2		40:12 14:2		74:47 4:3		24:17 52:4		66:40 42:7		66:40 42:7
21	55:10 52:4		61:72 52:6		23:24 57:6		6:48 6:4		19:03 15:1		57:19 21:5		49:96 23:6		49:35 21:0		41:64 13:8		75:04 3:8		24:01 52:1		65:70 42:5		65:70 42:5
22	53:14 52:3		60:31 52:7		22:50 57:9		6:58 6:7		19:74 15:3		58:58 21:6		51:89 23:7		51:41 20:9		43:03 13:5		75:51 3:5		23:99 51:8		65:00 42:2		65:00 42:2
23	51:26 52:3		59:00 52:9		21:84 58:1		6:57 6:9		20:42 15:5		60:06 21:8		53:91 23:7		53:43 20:7		44:29 13:2		75:94 3:1		24:09 51:5		64:20 41:9		64:20 41:9
24	49:51 52:2		57:73 53:0		20:17 58:4		6:47 7:2		21:10 15:8		61:65 22:0		56:00 23:7		55:38 20:5		45:43 12:8		76:41 2:8		24:23 51:2		63:23 41:6		63:23 41:6
25	47:92 52:2		56:42 53:1		18:44 58:6		6:31 7:5		21:84 16:1		63:35 22:2		58:13 23:7		57:23 20:2		46:51 12:5		76:99 2:5		24:28 49:2		62:07 41:2		62:07 41:2
26	46:45 52:2		55:03 53:2		19:61 58:8		6:13 7:8		22:66 16:3		65:15 22:3		60:26 23:6		58:94 20:0		47:59 12:2		77:73 2:2		24:23 50:4		60:73 40:9		60:73 40:9
27	45:05 52:1		53:52 53:3		18:67 59:0		5:99 8:1		23:59 16:6		67:03 22:5		62:35 23:6		60:53 19:8		48:76 12:0		78:61 1:8		23:95 50:0		59:28 40:7		59:28 40:7
28	43:64 52:1		51:90 53:4		17:66 59:3		5:91 8:4		24:65 16:9		68:93 22:6		64:36 23:5		62:02 19:6		50:08 11:7		79:57 1:5		23:48 49:5		57:77 40:4		57:77 40:4
29	42:17 52:0				16:60 59:5		5:94 8:8		25:82 17:2		70:83 22:7		66:25 23:4		63:50 19:4		51:56 11:5		80:51 1:1		22:87 49:2		56:28 40:2		56:28 40:2
30	40:58 51:9				15:53 59:8		6:09 9:1		27:09 17:5		72:68 22:7		68:02 23:3		65:04 19:2		53:15 11:2		81:33 0:7		22:17 48:8		54:83 40:0		54:83 40:0
31	38:86 51:8				14:51 60:0				28:43 17:7				69:69 23:2		66:70 19:0				81:98 0:3				53:44 39:8		53:44 39:8

El lector que necesite más datos y fórmulas, deberá adquirir el Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid, 2007.

Novedades Técnicas

TRIMBLE PRESENTA LA SOLUCIÓN DE IMÁGENES ESPACIALES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

La estación espacial Trimble VX combina capacidades ópticas, de escaneado 3D y de vídeo líderes en un sistema de posicionamiento avanzado para poner la información geoespacial a su alcance

El pasado 29 de enero de 2007, Trimble presentó estación espacial Trimble® VX™, un sistema de posicionamiento avanzado que combina capacidades ópticas, de escaneado 3D y de vídeo, la tecnología Trimble VISION™, para medir objetos en 3D para generar conjuntos de datos 2D y 3D para proyectos de imágenes espaciales. La nueva estación espacial Trimble VX revoluciona el alcance de los servicios que los topógrafos, ingenieros y profesionales geoespaciales y de la cartografía pueden ofrecer, así como también les permite acceder a las aplicaciones de imágenes espaciales para mejorar las oportunidades de la empresa. La estación espacial Trimble VX permite que los usuarios combinen información terrestre extremadamente precisa con datos aéreos para generar conjuntos de datos completos a fin de utilizarlos en la industria de la información geoespacial.



Una plataforma óptica avanzada para el posicionamiento preciso

Fabricada en la plataforma de hardware más avanzada, la estación espacial Trimble VX incluye controles servoasistidos Trimble MagDrive™ patentados, que hacen girar el instrumento con velocidad y agilidad, a más de 100 grados por segundo, para proporcionar un control ultra suave y lograr una puntería precisa. El movimiento eficaz del instrumento asegura un tiempo de espera mínimo entre mediciones.

Guiada por la tecnología Trimble VISION

La estación espacial Trimble VX ofrece tecnología Trimble VISION, que proporciona capacidades de flujo de vídeo y de captura de imágenes. Los usuarios pueden seleccionar puntos como objetivo a medir tan solo presionando la pantalla táctil del controlador en los puntos correspon-

dientes del flujo de vídeo. Esta capacidad ofrece una eficacia mejorada durante la puntería remota y grosera mientras se utiliza el flujo de trabajo existente del equipo.

La tecnología Trimble VISION incluye una característica de superposición de datos que permite a los usuarios ver datos de posicionamiento en una pantalla de vídeo de la obra. Los usuarios pueden ver, en tiempo real, las características que se han medido antes de abandonar el lugar; lo que les asegura que se han medido todos los puntos requeridos y reduciendo así la posible repetición de trabajos y duplicaciones.

Escaneado 3D para medir volúmenes y superficies de gran tamaño

Para aplicaciones tales como modelado 3D y cálculos de volumen, que requieren de una gran cantidad de mediciones, la estación espacial Trimble VX incluye una función de escaneado 3D con la que los usuarios pueden capturar nubes de puntos muy rápidamente.

LA NUEVA ESTACIÓN TOTAL ROBÓTICA DE TOPCON AÑADE GENERACIÓN DE IMÁGENES DIGITALES

La adición más reciente a la serie de estaciones totales robóticas de Topcon –la GPT-9000Ai– ahora ofrece la productividad y versatilidad añadidas de la generación de imágenes digitales integrada, una tecnología de primicia mundial que Topcon presentó en 2005 con la estación total GPT-7000i

“La 9000Ai pone la gestión de material, el diseño según las especificaciones y la supervisión estructural/medioambiental en la mano del operario. Con la adición del software de generación de imágenes digitales es posible combinar fotografías de múltiples obras y crear modelos 3D y nubes de puntos”.

La estación total robótica GPT-9000Ai proporciona mediciones sin prima de precisión única hasta 2.000 metros –la mayor longitud del sector, y puede medir fácilmente objetivos difíciles como líneas eléctricas.

El sistema robótico incluye la nueva controladora de campo FC-200 de Topcon, el ordenador de campo más rápido disponible. La controladora incorpora un procesador de escala Intel X a 520 MHz para un rápido rendimiento y el sistema operativo Windows Mobile 4.2. Es posible añadir un módulo de radio RS-1 GHz adaptable a la FC-200 para comunicaciones de datos bidireccionales, de largo alcance y sin interferencias.

También se incluye el nuevo y mejorado sistema de seguimiento RC-3 de Topcon, que ofrece captar el prisma con la simplicidad de un solo toque. Diseñado integralmente para trabajar con el nuevo prisma ligero de 360 grados, el RC-3 ofrece la simplicidad del funcionamiento con un solo toque y la adquisición de prisma Quicklock más rápida del sector.

El software de designación de canal único de opcon permite que hasta seis sistemas robóticos distintos funcionen en el mismo lugar.



ANEBA PRESENTÓ CARTOMAP 5.7 Y TABLET CARTOMAP 5.7 EN CONSTRUMAT

Por fin los Ingenieros Técnicos en Topografía tienen a su disposición Tablet CARTOMAP, novedosa aplicación que les permite controlar estaciones totales, GPS o distanciómetros, y les facilita toda la información del proyecto en obra.

Tablet CARTOMAP es 100% CARTOMAP con lo cual se dispone de toda la funcionalidad de uno de los programas de referencia en el sector, presente en más de 30 países y que cuenta con más de 5000 usuarios.

El asistente de toma de datos hace uso de las últimas tecnologías de voz generada e interpretada por ordenador, lo que agiliza el trabajo en campo.

El centro de comunicaciones permite importar y exportar datos en más de 50 de formatos (DXF/DWG, digi, istram, clip, trazado, LandXML...).

El CAD 3D se combina con el autocroquis en tiempo real dando la posibilidad de dibujar automáticamente según la codificación de datos. El usuario dispone en campo de las más de 200 herramientas de dibujo asistido que ofrece CARTOMAP, incluyendo división interactiva de parcelas, generación de plataformas, enlaces entre diversos tipos de alineaciones...

El modelo digital del terreno y el curvado se calculan y actualizan en tiempo real con cada punto medido, incluso contemplando las líneas de rotura codificadas y dibujadas de forma automática. El topógrafo ve en tiempo real el resultado definitivo sin demora y con total precisión.

Las potentes herramientas de edición de trazado en planta, rasantes y secciones tipo, proporcionan la mayor potencia en ingeniería civil actualmente disponible en campo operando conjuntamente con estaciones y GPS. Las comprobaciones automáticas de trazado facilitan la detección de posibles desajustes proporcionando la tranquilidad del trabajo bien hecho.

Los perfiles longitudinales y transversales le proporcionan información in-

mediata basada en la toma de datos que se está haciendo. Cualquier diferencia respecto al proyecto queda reflejada y puede ser subsanada mediante el revolucionario editor de QUADS.

Se puede replantear cualquier elemento, incluso aquellos generados en el momento con las herramientas de CARTOMAP. También se pueden hacer mediciones de control de calidad de puntos conocidos o de la obra proyectada.

Las valoraciones en campo pueden ser muy rápidas y precisas pudiendo generar todo tipo de informes en Excel, PDF, ASCII... y planos en PDF, DXF, DWG... para una perfecta integración con otras aplicaciones y empresas.

Las certificaciones de obra se pueden realizar de forma instantánea gracias a la generación del modelo en tiempo real. Se puede cubicar de diversas formas: por malla, por perfiles comparativos, según sección tipo, por cota de certificación, etc.

Los datos del proyecto se pueden visualizar en 3D, de forma estática o dinámica, sobre el terreno real en cuestión de segundos.

Tablet CARTOMAP puede funcionar sobre equipos ligeros (menos de 400 gr), pequeños (pantallas de 5") hasta equipos robustos de altas prestaciones pero adaptados para portabilidad con aparatos de topografía (trípode, minitripode auxiliar; jalón...). Una gran ventaja es que estos equipos son verdaderos PCs que se pueden utilizar en oficinas situadas en obra. ANEBA le asesorará, sin ningún compromiso, acerca del equipo más adecuado a sus necesidades.

Para más información, pueden contactar con ANEBA por e-mail: info@aneba.com, teléfono 933.633.820, y web: <http://www.aneba.com>

EL ÁREA DE CARRETERAS DE LA DIPUTACIÓN DE VALENCIA IMPLANTA UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PIONERO EN ESPAÑA

El sistema, basado en las soluciones geoespaciales de Autodesk, facilita el trabajo de los diferentes equipos técnicos: ingenieros, cartógrafos, topógrafos y ofrece información online a los ciudadanos sobre el estado de la red de carreteras y sus incidencias a través de su portal de Internet www.dival.es.

La Diputación de Valencia ha puesto en marcha un innovador sistema de información geográfica (SIG) que permite la gestión integral de la red de carreteras dependiente de este organismo –2.000 kilómetros– facilitando el trabajo de los diferentes equipos técnicos, la ordenación y gestión del tráfico y que permite ofrecer información online a los ciudadanos con información sobre el estado de las carreteras y posibles incidencias. El proyecto se ha basado en la plataforma de soluciones geoespaciales de Autodesk, implementadas y puestas en marcha por Ser&Tec, distribuidor de Autodesk en la Comunidad Valenciana.

El nuevo sistema, encuadrado en el PIC (Plan Integral de carreteras-Programa de inversiones 2004-08), da respuesta a las necesidades y exigencias de los técnicos que manejan cartografía y al resto de usuarios del departamento, a la vez que ofrece información sobre el estado de la red de carreteras de Valencia a todos aquellos interesados a través de su portal de Internet www.dival.es.

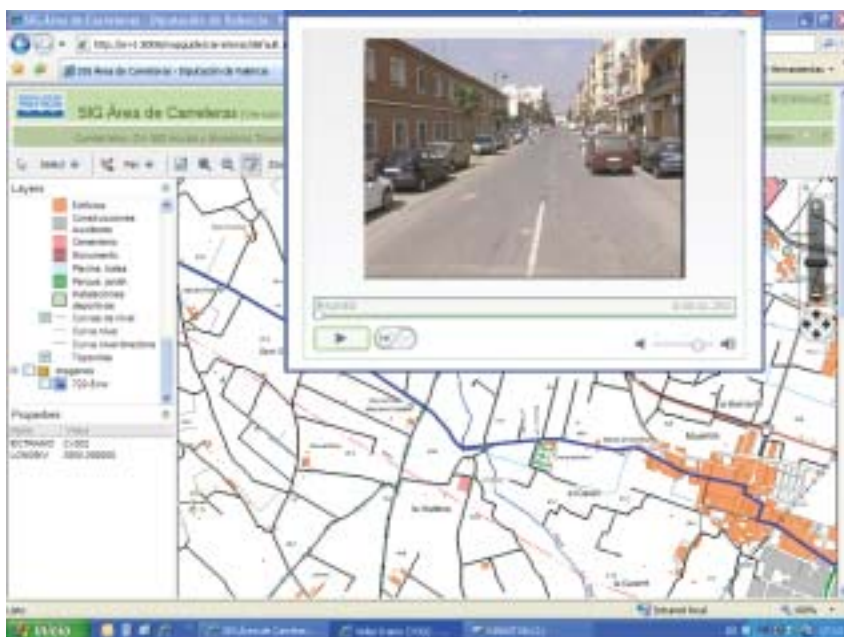
De acuerdo con el Director del Área de Carreteras de la Diputación de Valencia, José Antonio Aranda Castelló, “Valencia necesitaba un Sistema de Información Geográfica que unificara todas las bases de datos, la información y los documentos y ficheros que cada técnico disponía en diferentes soportes. Además, resultaba vital poder acceder a toda la información a través de una única aplicación”. La solución adoptada, implementada por Ser&Tec y utilizando las diferentes soluciones geoespaciales de Autodesk, permite utilizar el Sistema de Información

Geográfica como apoyo a la gestión departamental, logrando alimentar con información geoespacial al propio departamento de carreteras y a la Diputación y a cualquier tipo de usuario, profesional o particular con información sobre el estado de la red de carreteras de Valencia.


El sistema, pionero en España, utiliza la solución AutoCAD Map 3D para unificar las diferentes bases de datos, además de Autodesk Mapguide Enterprise para publicar la información en Internet facilitando el acceso universal a cualquier tipo de usuario, profesional o particular, a través del portal www.dival.es. Finalmente, Autodesk Mapguide Studio permite presentar la información utilizando los estándares de identidad corporativa de la Diputación.

El nuevo sistema GIS de la Diputación de Valencia permite, entre otras funcionalidades:

- Optimizar la toma de decisiones al acceder a datos espaciales, de manera eficiente y con la rapidez requerida en situaciones de emergencia.
- Acceder a la información (actualizada diariamente, cada 24 horas,) asociada al estado de las carreteras, a los técnicos de carreteras y ciudadanos mediante la aplicación GIS, sobre el estado de la red de carreteras: incidencias, densidad de tráfico, tramos con limitaciones por motivos varios (festejos, obras, catástrofes naturales...).
- Disponer de información sobre la situación y gestión de la red de carreteras.
- Acceder a la cartografía asociada a las carreteras, para uso de topógrafos, cartógrafos e ingenieros civiles, mejorando los rendimientos en la gestión.
- Aumentar la productividad en la gestión de carreteras por parte de la Diputación de Valencia.



Por su parte, Enrique Crespo Calatrava, Diputado Presidente del Área de Infraestructuras y Medio Ambiente de la Diputación de Valencia, comenta que “con el Sistema de Información Geográfica (SIG) basado en los productos de Autodesk implementado en el Área de Carreteras, los beneficios que obtienen los ciudadanos en la vertiente de Internet, accediendo a la información desde sus casas o lugares de trabajo, son múltiples, como la programación de rutas, conocer las incidencias o limitaciones que presenta la carretera, número de vehículos que circulan por la misma, cartografía y proyectos asociados, obras en ejecución, programa de actuaciones, etc., y todo ello en un soporte cartográfico territorial”.



Yo creo en la precisión.

El nuevo Leica ScanStation: este láser escáner 3D de alta definición para ingeniería civil y levantamiento de plantas es un buen ejemplo de nuestra dedicación incondicional a sus necesidades. Precisión: otra razón más para confiar en Leica Geosystems.



La precisión es más que un recurso - cuando tu reputación está en juego, es una necesidad absoluta.

Tolerancia cero es la mejor manera de pensar cuando otros deben confiar en tus datos. Por eso, la precisión es lo primero en Leica Geosystems. Nuestro exhaustivo espectro de soluciones cubre todas las necesidades de medición en topografía, ingeniería y aplicaciones geoespaciales. Y están respaldadas por un servicio y soporte técnico de primera clase que da respuesta a sus preguntas. Cuando más importa. Cuando está en el campo. Cuando hace falta.

Puede contar con Leica Geosystems como proveedor de una solución altamente innovadora para cada faceta de su trabajo.

Leica Geosystems, s.l.
Nicaragua, 46, 2^a 4^a
E-08029 Barcelona
Tlf.: (+34) 93 494 94 40
Fax: (+34) 93 494 94 42
www.leica-geosystems.com

- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

Vida Profesional

GLOBALGEO CIERRA CON ÉXITO SU TERCERA EDICIÓN

Globalgeo 2007 y la **7ª Semana Geomática** han reunido conjuntamente cerca de 1.912 asistentes –casi un 20% más que en 2005–, de los cuales un 9,5% han sido extranjeros. A este incremento hay que añadir un aumento del número de expositores –48 en total, representando 170 marcas–, así como una mayor internacionalidad y calidad de las 125 ponencias de la 7ª Semana Geomática.

Según el presidente del Globalgeo, Lluís Sanz, “se han conseguido los objetivos previstos en esta edición, tanto en lo referente a la participación de visitantes, como en el cumplimiento de las expectativas de contactos profesionales y comerciales de los expositores”. Sanz destaca también “la presentación de interesantes novedades en el campo de la captura de imágenes aéreas y de satélite en alta resolución, así como en su proceso y gestión para la formación de modelos tridimensionales de gran precisión”. Entre las presentaciones relacionadas con estas técnicas, resalta la del Ayuntamiento de Barcelona “Vuelo virtual por la ciudad de Barcelona: incorporación de la dimensión histórica”, navegable sobre imágenes que datan desde 1947 hasta 2005. “Por otro lado –añade Sanz– en el campo de la instrumentación topográfica, se han presentado las últimas versiones de los sistemas de medición y seguimiento de deformaciones, y su utilidad en el control de proyectos de túneles, presas o edificios”. Por último, como colofón final de esta edición, resaltar la conferencia de Pedro Duque sobre sus experiencias en el espacio y sobre la novedad que representa el primer satélite de observación europeo propiedad de una empresa privada.

La información de alta resolución innova la Geomática. Además de revisar el estado general de la tecnología y las aplicaciones geomáticas, la 7ª Semana Geomática se ha concentrado por segunda vez consecutiva en los sensores de alta resolución y sus aplicaciones. Según el director del Instituto de Geomática y organizador del congreso, Ismael Colomina, “se ha observado una consolidación de la tecnología por encima de la aparición de novedades tecnológicas. Se ha constatado, también, un mayor y mejor uso de los sistemas



digitales de alta resolución, tanto de sensores en satélites como en aviones”.

La 7ª Semana Geomática, celebrada en paralelo a Globalgeo, ha vivido su edición más internacional con la participación de más de 300 asistentes de 27 países, en su mayoría de Europa y América Latina, seguidos por Asia, África y Norteamérica.

La participación del sector privado, con casi el 29% de las presentaciones, ha sido importante. Este hecho manifiesta que el sector de Geoinformación es un sector en crecimiento y altamente innovador. Por otro lado, las sesiones de Cartografía y SIG se han centrado en la integración de geoinformación, como cartografía digital, imágenes de satélite y datos de navegación por satélite en aplicaciones de la gestión territorial y del transporte.

Además de la Semana Geomática, en el marco de Globalgeo se han celebrado más de treinta encuentros y jornadas, como el Fórum TIG/SIG, dedicado a la interoperabilidad y accesibilidad a la información geográfica (IG); y el Brokerage Event, cuyo objetivo ha sido promover el desarrollo de aplicaciones de navegación por satélite en Cataluña. De carácter bienal, la próxima edición de Globalgeo se celebrará en 2009.

CURSO DE TRAZADO CON APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROGRAMA CLIP WINDOWS, en Santiago de Compostela

Durante los pasados meses de enero y febrero se ha desarrollado en Santiago de Compostela un Curso de Trazado con aplicación práctica del programa Clip Windows, que, con una duración de 50 horas lectivas, ha sido promovido por la Delegación en Galicia del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, e impartido por nuestro compañero Felipe Carrascosa, con amplia experiencia en esta actividad.

Muchos de nuestros compañeros en dicha comunidad autónoma han aprovechado dicho curso para mejorar sus conocimientos en este importante campo de nuestra actividad, tanto en las obras como en los proyectos en que trabajan.



Desde la Delegación de Galicia se pretende continuar con el desarrollo de acciones formativas como ésta, que permiten la formación

continua y la actualización de conocimientos de los Ingenieros Técnicos en Topografía, que se irán programando en función de las necesidades que transmiten los colegiados.

CURSOS DEL INSTITUTO DE GEOMÁTICA

El Instituto de Geomàtica (Castelldefels, Barcelona) organiza los siguientes cursos:

22-26 de octubre de 2007

“Laser Ranging, LIDAR” 7ª edición

Impartido por: Peter Friess y Grady Tuell (Optech International)

12-16 de noviembre de 2007

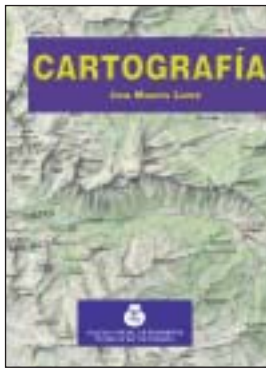
“Interferometric Synthetic Aperture Radar. Airborne SAR” 8ª edición

Impartido por: Riccardo Lanari (IREA-CNR, IT) y Joao Moreira (Orbisat, BR)

El idioma del curso es inglés. El período de inscripción está abierto para todos los módulos.

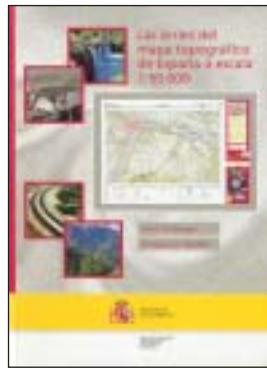
Hojas de inscripción, programas y más información sobre las actividades del Instituto de Geomàtica en la web <http://www.ideg.es>

Libros Técnicos



Título: Cartografía
Autor: José Martín López

33,10 € Ref. 701
(24,10 € colegiados y alumnos E.U.I.T.T.)



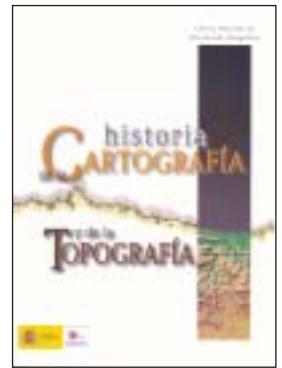
Título: Las series del mapa topográfico de España a Escala 1:50.000
Autores: Luis Urteaga y Francesc Nadal

21,03 € Ref.: 038



Título: Cartógrafos Españoles
Autor: José Martín López

27,10 € Ref.: 021



Título: Historia de la Cartografía y de la Topografía
Autor: José Martín López

41,60 € Ref. 039



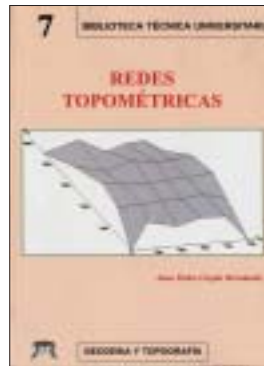
Título: Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital
Autor: José Luis Lerma García

43,40 € Ref. 5006



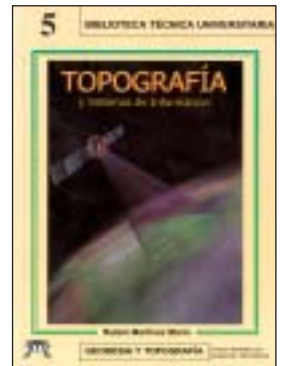
Título: Fotogrametría analítica
Autores: Felipe Buill - Amparo Núñez - Juan José Rodríguez

14,30 € Ref.: 804



Título: Redes Topométricas
Autor: Juan Pedro Carpio Hernández

27,40 € Ref. 6008



Título: Topografía y Sistemas de Información
Autor: Rubén Martínez Marín

23,08 € Ref.: 6006



Título: Problemas de Fotogrametría I
Autor: José Lerma García

10,20 € Ref.: 5001



Título: Problemas de Fotogrametría II
Autor: José Lerma García

11,75 € Ref.: 5003



Título: Problemas de Fotogrametría III
Autor: José Lerma García

8,70 € Ref.: 5002



Título: Aerotriangulación: Cálculo y Compensación de un bloque fotogramétrico
Autor: José Lerma García

18,54 € Ref.: 5004



Título: Transformaciones de coordenadas
Autores: J. A. Pérez y J. A. Ballell

23,08 € Ref.: 6007



Título: Topografía para Ingenieros
Autores: Silvino Fernández García y Mª Luz Gil Docampo

27,88 € Ref. 6008



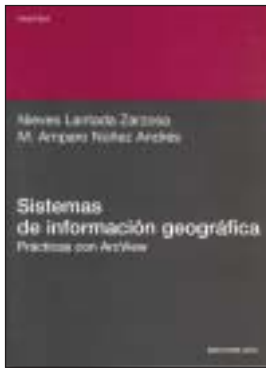
Título: Topografía para Estudios de Grado
Autores: J. J. de San José Blasco, E. Martínez García y M. López González

30,29 € Ref.: 6009

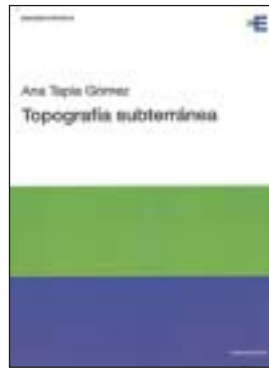


Título: Programas Informáticos de Topografía
Autor: Carlos Tomás Romeo

24,52 € Ref. 6005



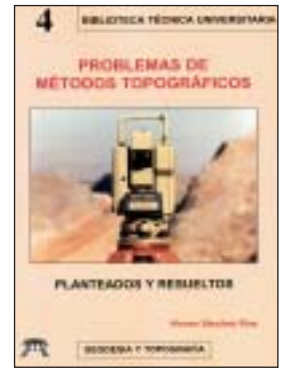
Título: **Sistemas de Información Geográfica Prácticas con ArcView**
 Autores: N. Lantada Zarzosa y M. A. Núñez Andrés
12,80 € Ref. 803



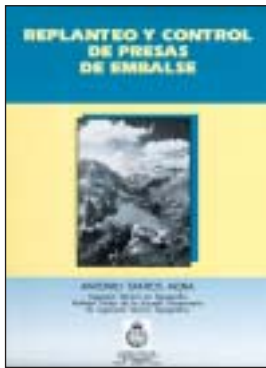
Título: **Topografía subterránea para minería y obras**
 Autores: Ana Tapia Gómez
12,10 € Ref. 801



Título: **Fundamentos Teóricos de los Métodos Topográficos**
 Autor: Alonso Sánchez Ríos
21,63 € Ref. 6002



Título: **Problemas de Métodos Topográficos (Planteados y Resueltos)**
 Autor: Alonso Sánchez Ríos
18,27 € Ref. 6003



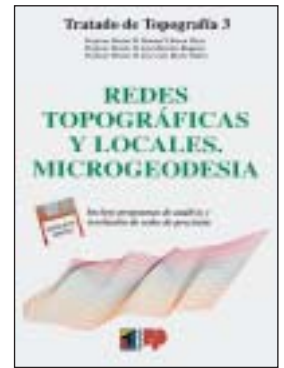
Título: **Replanteo y control de presas de embalse**
 Autor: Antonio Santos Mora
12,10 € Ref. 302



Título: **Tratado de Topografía 1**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
48,06 € Ref. 2001

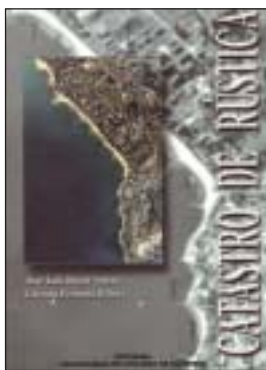


Título: **Tratado de Topografía 2**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
72,10 € Ref. 2002

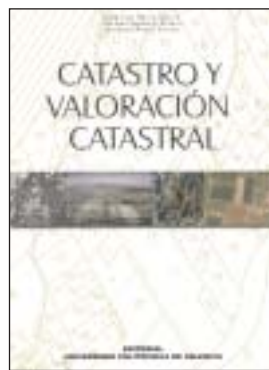


Título: **Tratado de Topografía 3**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
72,10 € Ref. 2003

Los tres volúmenes: 192,26 € (108,30 € colegiados)



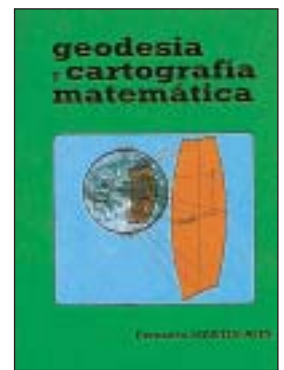
Título: **Catastro de Rústica**
 Autores: José Luis Berné Valero y Carmen Femenia Ribera
31,68 € Ref. 5005



Título: **Catastro y Valoración Catastral**
 Autores: José Luis Berné Valero, Carmen Femenia Ribera y Jerónimo Aznar Bellver
43,40 € Ref. 5007



Título: **Geodesia (Geométrica, Física y por Satélites)**
 Autores: R. Cid Palacios y S. Ferrer Mtnez.
24,10 € Ref. 030



Título: **Geodesia y Cartografía Matemática**
 Autor: Fernando Martín Asín
32 € Ref. 205

Boletín de Pedido a la Revista TOPOGRAFIA Y CARTOGRAFIA Avda. de la Reina Victoria, 66, 2.º C - 28003 Madrid
 Teléfono: 91 533 89 65 - Fax: 91 533 46 32

N.º Ref.	Cantidad	Título	Precio unitario	Total

Gastos de envío: 3 € Europa por ejemplar, para más ejemplares u otros países consultar (secretaria_revista@coit-topografia.es)

Nombre

Dirección Tel.

Ciudad Provincia C.P.

Forma de pago: talón nominativo giro transferencia C/C: 2032-0037-50-3300010988

Remitir justificante de giro o transferencia. **NOTA: Estos precios son con IVA incluido.**

FESTIVIDAD DE SAN ISIDORO DE SEVILLA

El pasado 21 de abril tuvo lugar en Madrid la celebración de los tradicionales actos conmemorativos 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 en Madrid del mismo.

Los actos comenzaron a las 10:30 horas con la celebración de la tradicional misa en memoria de los colegiados fallecidos durante el último año, en la iglesia de San Bruno, próxima a la sede de la Junta de Gobierno del COITT.

A continuación, los asistentes se desplazaron al Palacio de Congresos de Madrid, en cuyo Salón de Banquetes, el Decano del COITT, D. Pedro J. Cavero Abad, dirigió unas palabras a los asistentes, procediendo después a hacer entrega de una placa, como homenaje y reconocimientos a sus muchos años de dedicación profesional, a cada uno de los siguientes Ingenieros Técnicos en Topografía colegiados que se han jubilado en este último año o han alcanzado en activo la edad de 67 años: D. Antonio Terroba Ponz, D. Antonio Polo Delgado, D. Ernesto Ledesma Mellado, D. José Carlos Rivas Lafuente, D. Salvador Romero Guillén, D. Ricardo Pastor Rodado, D. Andrés Martín Aragón Pacheco, D. Fernando Batres Aguado, D. Enrique Arrufat Molina, D. Manuel Cavia Rocote, D. Francisco García Rivero, D. Julio Pindado López, D. Herminio Moreno García, D. Alejandro Elices Concha, D. Onofre Rodríguez Rodríguez, D. Luís Pliego Viyuela, D. Ricardo Sousa Salgado, D. J.

Antonio Cerezo Sabio, D. José Clemente Iglesias, D. Fernando Ortiz Rodríguez, D. José Luis Regidor Gutiérrez, D. Juan de Nicolás Marina, D. Julián Azcona Crespo, D. Francisco Arjona Carrillo, D. Fernando de la Cruz Argibay, D. Antonio Durán Miranda, D. Fco. Manuel Martínez Fernández, D. Ramón Capellas Álvarez, D. Torcuato Rivas Vega, D. Justo Peña Sanz, D. Jesús Rodríguez Teresa, D. Alfonso Mora Palazón, D. Ricardo López Palos, D. José María Santos Rodríguez, D. Francisco Mozo Jambrina, D. Joaquín M. Carrero Carrero, D. Mariano Cayuelas Nolasco, D. Diego Guardiola Pérez y D. Feliciano Ruiz del Portal Garrido.

Entrega de Placas en San Isidoro, por parte del Decano, D. Pedro Cavero Abad





SUSCRITO UN CONVENIO DE COLABORACIÓN CON LA DIRECCIÓN GENERAL DE CATASTRO

El pasado día 27 de febrero, Jesús Miranda y Pedro Cavero, Decano-Presidente del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, suscribieron un convenio de colaboración orientado al mutuo intercambio de información.

En virtud del acuerdo alcanzado, la Dirección General del Catastro nos facilitará accesos a la información gráfica de los inmuebles que fuera precisa para la ejecución de trabajos topográficos, mientras que el Colegio se compromete a entregar mediante procedimientos telemáticos la documentación gráfica digital georreferenciada de los trabajos visados que pudiera tener trascendencia en la definición



catastral de los inmuebles. A dicha información se añadirá, en su caso, el acta de deslinde contradictorio, con la conformidad expresa de todos los colindantes afectados por la alteración objeto del trabajo.

Mediante el convenio suscrito, el Colegio de Topógrafos se compromete a instalar en su sede un Punto de Información Catastral a disposición de sus colegiados, que ya está en funcionamiento.

Para obtener más información acerca del Convenio y la documentación necesaria para realizar trabajos en virtud de este convenio: consultar nuestra web <http://www.coit-topografia.es>

VI PREMIO SAN ISIDORO PARA PROYECTOS FIN DE CARRERA DE I. T. TOPOGRÁFICA

El jurado nombrado por la Junta de Gobierno del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, organizador del VI Premio San Isidoro para Proyectos Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Topográfica presentados durante el año 2006, y constituido por D. Andrés Díez Galilea (Vicedecano y Profesor de la UPM), D. Antonio M. Luján Díaz (Profesor de la UPM), D. José Antonio Sánchez Sobrino (IGN), D. Javier González Matesanz (IGN) y D. Carlos Barrueso Gómez (Director de Topografía y Cartografía), decidió por unanimidad conceder los siguientes premios:

Primer Premio, para el trabajo titulado *“Cartoteca histórica virtual de las Islas Canarias”*, de D. Alberto Fernández Wyttenbach, siendo tutores del mismo D. Miguel Ángel Bernabé Poveda, D. Miguel Ángel Manso Callejo, D^a Daniela Ballari y D^a Milagros Ruiz Pacheco; y que fue presentado en la E.T.S. de Ingenieros en Topografía Geodesia y Cartografía de Madrid.

Segundo Premio, para el trabajo titulado *“Levantamiento topográfico con la aplicación del barredor láser 3D del graderío romano en el yacimiento arqueológico de Tiermes. Reconstrucción digital y modelo digital del terreno”*, de D^a. Sonsoles Pérez Cañas y D^a. Estela Pérez Martín, siendo tutores del mismo D^a. Teresa Fernández Pareja, D. Roberto Gómez Jara y D. Pedro Martín-Delgado Gómez, y que fue presentado en la E.T.S. de Ingenieros en Topografía Geodesia y Cartografía de Madrid.

Tercer Premio, para el trabajo titulado *“Proyecto de implantación de una red mediante técnicas GPS para dar cobertura al yacimiento arqueológico ‘Civna Sulpica’ (Peñalba de Castro, Burgos). Obtención de cartografía a escala 1/500 y realización de un levantamiento gravimétrico de la misma zona, para intentar localizar posibles galerías subte-*



Primer Premio: D. Alberto Fernández Wyttenbach

rráneas” de D. Oscar González Díaz, siendo tutores del mismo D^a. Mercedes Farjas Abadía, D^a Rosa Leal Gil, D. Antonio Vázquez Hoehne y D. Francisco Prieto Morín, y que fue presentado en la E.T.S. de Ingenieros en Topografía Geodesia y Cartografía de Madrid.

El acto de entrega de los premios a los autores de los proyectos declarados ganadores, así como a los tutores de los mismos, se realizó en los actos que, con motivo de la celebración de San Isidoro, organizó la Junta de Gobierno del COITT y que tuvieron lugar en Madrid el pasado 21 de abril.



Segundo Premio: D^a. Sonsoles Pérez Cañas y D^a. Estela Pérez Martín



Tercer Premio: D. Óscar González Díaz

Relación de Altas y Bajas habidas en el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía en el año 2006

ALTAS DE COLEGIADOS

Alcázar Cano, Alicia	Andalucía
Alonso Fernández, Luis	Andalucía
Alvarez Aranega, Pablo Juan	Andalucía
Aznar Navarro, Juan Antonio	Andalucía
Calzadilla Soriano, Carlos	Andalucía
Campos Alcaide, Maria Belén	Andalucía
Cano Rodríguez, Juan Jose	Andalucía
Cháves Vázquez, Leonardo	Andalucía
Cruz Molina, Juan De Dios	Andalucía
Díaz Ruiz, Eva Maria	Andalucía
Espinosa Payer, Javier	Andalucía
Exposito Martínez, Lázaro	Andalucía
Fernández Luque, Ismael	Andalucía
Fraille Blázquez, Victoriano Jose	Andalucía
García De Casasola Romero, Gines Antonio	Andalucía
García Ortiz, Jose Angel	Andalucía
García Raya, Alejandro	Andalucía
García Ruiz, Antonio	Andalucía
Gonzalez Consuegra, Víctor Manuel	Andalucía
Gonzalez Escabias, Antonio Jesús	Andalucía
Gonzalez Maraver, Jose Maria	Andalucía
Gonzalez Pena, Ignacio	Andalucía
Guardabrazo De La Cruz, Federico	Andalucía
López Gallego, Juan	Andalucía
Lucendo Díaz, Jesús Ramon	Andalucía
Marín Ruiz, Antonio	Andalucía
Martin Garcia, Antonio Luis	Andalucía
Monreal Martinez, Enrique	Andalucía
Montavez Sanchez, Antonio	Andalucía
Neble Hinojosa, Adolfo Enrique	Andalucía
Olmo Extremera, Maria Trinidad	Andalucía
Pérez Bolívar, M ^a Elena	Andalucía
Quintero Bastón, Sonia	Andalucía
Raya Garcia, Francisco	Andalucía
Roldan Montiel, Carlos Javier	Andalucía
Ruiz De Adana Santiago, Fco De Borja	Andalucía
Salamanca Zafra, Mónica	Andalucía
Soriano Barceló, Tomas	Andalucía
Torres López, Fabiola	Andalucía
Villegas Zamora, Diego	Andalucía
Chacobo Martinez, Raquel	Aragón
Macazaga De Aranzabal, Maitane	Aragón
Alonso Laredo, Paula	Asturias
Alonso Pérez, Jose Manuel	Asturias
Álvarez Álvarez, Lucia	Asturias
Alvarez Valdes, Alejandro	Asturias
Arango Martinez, David	Asturias
Bernardo Pérez, Roberto	Asturias
Blanco Gonzalez, Alberto	Asturias
Bravo Del Couz, Manuel Angel	Asturias
Carbajo Alonso, Patricia	Asturias
Cordero Acebal, Jairo	Asturias
Cortina Del Río, M ^a Yanett	Asturias
Costales Fernández, Daniel	Asturias
Fernández Cabo, Irene	Asturias
Fernández Junco, Javier	Asturias
Fernández Riestra, Eva	Asturias
García Del Frade, Elisa Beatriz	Asturias
García Mallada, Leticia	Asturias
García Sanchez, Raul	Asturias
Gaspar Pérez, Graciela	Asturias
Gonzalez Vigil, Diego	Asturias

Iglesias Vega, Vanessa	Asturias
Lage Cal, Raquel	Asturias
Linera Martin, Lorena	Asturias
López Alvarez, Jose Ramon	Asturias
Martinez Díaz, Luis Francisco	Asturias
Martinez Franco, Roberto	Asturias
Puertas Peláez, Gonzalo	Asturias
Reguera Fernández, Borja	Asturias
Rodríguez Gonzalvez, Pablo	Asturias
Rubin Alvarez, Lucia	Asturias
Ruiz Fernández, Esther	Asturias
Sayago Armas, Montserrat	Asturias
Suarez Espina, Jorge	Asturias
Suarez Suarez, Ana	Asturias
Ballesteros Ortiz, Antonio Luis	Baleares
Barrio Manzanas, Pablo	Baleares
García Vicente, Rosa Maria	Baleares
Sanz Vaquer, Ricardo	Baleares
Machado Garcia, Jose	C. Valenciana
Acebes Moreno, Vanessa	C. Valenciana
Argente Andrés, Alexis	C. Valenciana
Ayala Seibane, Alberto Julio	C. Valenciana
Beneto Reig, Eduardo	C. Valenciana
Campos Bosca, M ^a Luisa	C. Valenciana
Campos Sanchez, Trinidad	C. Valenciana
Casas López, Oscar	C. Valenciana
Climent Gil, Lucas	C. Valenciana
Colom Delgado, Carlos	C. Valenciana
Crespo Bernad, Laia	C. Valenciana
Cuenca Encarnación, Mario Eros	C. Valenciana
De Las Heras Bellido, Juan	C. Valenciana
Domenech Costa, Ana Belén	C. Valenciana
Eady Carrascosa, Iván	C. Valenciana
Enrique Ponz, Alfonso	C. Valenciana
García Palomares, Natalia	C. Valenciana
Gómez Llorens, David	C. Valenciana
Hueso Zarandieta, Ignacio	C. Valenciana
Iborra Fabra, Ramon	C. Valenciana
Inglada Sancho, Jose Vicente	C. Valenciana
Izquierdo Nuñez, Antonio	C. Valenciana
López Gonzalez, Adela	C. Valenciana
Martinez López, Juan Jose	C. Valenciana
Montaner Lombera, Laura	C. Valenciana
Navarro Caballero, Clara	C. Valenciana
Navarro Garcia, Javier	C. Valenciana
Pascual Taberner, Jose	C. Valenciana
Pérez Carrascosa, Ana	C. Valenciana
Pérez Soto, Álvaro	C. Valenciana
Ramos Grass, Raquel	C. Valenciana
Requena Olmeda, Francisco	C. Valenciana
Saornil Gómez, Israel	C. Valenciana
Serna Jiménez, Miriam	C. Valenciana
Valero Fernández, Juan Jose	C. Valenciana
Villaverde Tena, Jose Vicente	C. Valenciana
Almeida Garcia, Santiago	Canarias
Cabrera Trujillo, Macario	Canarias
Cardona Pérez, Josue	Canarias
Castillo Rodríguez, Jonatan	Canarias
De León Miranda, Rafael Jose A.	Canarias
Domínguez Santana, Guacimara	Canarias
Felipe Hernandez, Nuria	Canarias
Fuentes Garcia, Juan Manuel	Canarias
Marrero Suarez, Jonathan David	Canarias
Martin Garcia, Vanesa Del Pino	Canarias
Martinez Quintana, David	Canarias

Medina Rodríguez, Jose Juan	Canarias
Montesdeoca Almeida, M ^a Dolores	Canarias
Moreno Calderín, Alejandro	Canarias
Núñez Le Bihan, Arabela Sol	Canarias
Ocaña Muñoz, Álvaro	Canarias
Olmos Machín, Jose Antonio	Canarias
Perdomo Gonzalez, Rayco	Canarias
Pérez Molina, Artemi	Canarias
Pérez Ramírez, Elena Maria	Canarias
Ramos Moreno, Jose Adonay	Canarias
Ruiz Rodríguez, Baudilio	Canarias
Santana Medina, Encarnación	Canarias
Trujillo Santana, Juan Alberto	Canarias
Bayarri Cayon, Vicente	Cantabria
Felipe Garcia, Beatriz	Castilla La Mancha
Fernández Santamarina, Jose Juan	Castilla La Mancha
García Moya, Oscar	Castilla La Mancha
Hernandez López, David	Castilla La Mancha
Ortega Terol, Damián	Castilla La Mancha
Talavera Ropero, Angel	Castilla La Mancha
Arroyo Gonzalez, Jose Antonio	Castilla y León
Ayuso Abad, Jorge	Castilla y León
Baeza Gómez, Alexander	Castilla y León
Barcala Jiménez, Mario	Castilla y León
Del Cura Serrano, Neftalí	Castilla y León
Fernández Fernández, Beatriz	Castilla y León
Gonzalez Alvarez, Jorge	Castilla y León
Guerra Cascallana, Pedro	Castilla y León
Herrero De Frutos, Alberto	Castilla y León
Jerónimo Fernández, Rubén Antonio	Castilla y León
Plaza Maillo, Jose Manuel	Castilla y León
Rueda Jiménez, Alberto	Castilla y León
Sanz Virseda, Angel	Castilla y León
Alfocea Larrauri, Josefa	Cataluña
Avendaño Vendrell, Gemma	Cataluña
Cantón Duarte, Maria	Cataluña
Faro Ballarin, Raul	Cataluña
Filter Ancio, Raul	Cataluña
Gimeno Bermudo, Edgar	Cataluña
López Martinez, Rubén	Cataluña
Martinez Fernández, Jose Antonio	Cataluña
Mila Otero, Jorge	Cataluña
Pastor Heredia, Jordi	Cataluña
Pera Hospital, Joan	Cataluña
Royo Sanabria, Sira	Cataluña
Santillana Pozo, Eva	Cataluña
Teixido Gómez, Jaume	Cataluña
Chaves Torrado, M ^a Isabel	Extremadura
Fernández Aguado, Mariano	Extremadura
Romero Valhondo, Antonio Maria	Extremadura
Gago Gómez, Alejandro	Galicia
Gesto Martínez, Manuel	Galicia
Gonzalez López, Luis Manuel	Galicia
Juncal Boquete, Jose Antonio	Galicia
Paz Sanchez, Marcos	Galicia
Porto Gestoso, Carlos	Galicia
Rodríguez Bermúdez, Carlos	Galicia
Curiel Villaverde, Roberto	La Rioja
Vozmediano Montoya, Diego	La Rioja
Arévalo Fernández De La Cueva, Fco. Jose	Madrid
Barbero Guerrero, Ignacio	Madrid
Barrio Garcia, Mercedes	Madrid
Barrio Gómez, David	Madrid
Bernardino Valverde, Jorge	Madrid
Cabrero Gómez, Ricardo	Madrid
Calero Hermosilla, Francisco	Madrid
Calvo Ferruelo, Sergio	Madrid
Castaño Suarez, Jose Manuel	Madrid
Castro Franco, Rubén	Madrid

Castro Viqueira, Álvaro Antonio	Madrid
Chaves Ruiz, Félix Manuel	Madrid
Del Toro Espinosa, Iván	Madrid
Derqui Rodríguez, Carlos	Madrid
Fernández Wyttenbach, Alberto	Madrid
Fraile Cerrillo, Julio	Madrid
Galán Torrego, Daniel	Madrid
Gonzalez Díaz, Oscar	Madrid
Guillen López, Inmaculada	Madrid
Gutierrez Pérez, Daniel	Madrid
Gutierrez Pérez, Manuel Antonio	Madrid
Jiménez Osa, Javier	Madrid
Lucena Garcia, Maria De Los Llanos	Madrid
Manzanares Delgado, Antonio Manuel	Madrid
Marín Herreros, Luis	Madrid
Martin De Almagro Antón, Raquel	Madrid
Martinez Magro, Javier	Madrid
Mendez Gonzalez, Jose Luis	Madrid
Mengual Montero, Juan Carlos	Madrid
Merino Alvarez, Maria Gloria	Madrid
Muñoz De La Mata, Luis	Madrid
Orea Rodríguez, Laura	Madrid
Orozco Villarrubia, David	Madrid
Ortega Colomo, Cristina	Madrid
Pérez Martin, Estela	Madrid
Pulido Benito, Juan	Madrid
Rodríguez Martin, Manuela	Madrid
Sanchez Vargas, Jose Luis	Madrid
Sanz Vicario, Julián	Madrid
Toro Rebollo, Juan	Madrid
Valero Hontanillo, Nicolás Pedro	Madrid
Vaquero Luengo, Leonardo Jose	Madrid
Yagüe Campos, Daniel	Madrid
Marichalar Echenique, Pablo	Navarra
Aizpitarte Odria, Ibon	País Vasco
Arto Montes, Ruth	País Vasco
Biaín Garmendia, Gorka	País Vasco
Cea Magariño, Fernando	País Vasco
Chadda, Maider	País Vasco
Iñiguez De Gordoa Díaz De Otalora, Ernesto	País Vasco
Jimbert Leturiondo, Patricio	País Vasco
Morilla Jiménez, Manuel	País Vasco
Rubio Rodríguez, Roberto	País Vasco
Yañez Martin, Santiago	País Vasco

JUBILADOS

Martin Domingo, Luis	Andalucía
Polo Delgado, Antonio	Andalucía
Romero Guillen, Salvador	Aragón
Gómez Vidal, Eduardo	C. Valenciana
Martinez Conesa, Antonio	C. Valenciana
Chornet Salvador, Leocadio	C. Valenciana
García Rivero, Francisco	Castilla La Mancha
Gutierrez Cabañas, Manuel	Castilla y León
Elices Concha, Alejandro	Cataluña
Clemente Iglesias, Jose	Galicia
Fernández Pérez, José	Galicia
Capellas Alvarez, Ramon	Madrid
Ciruelos Guijarro, Carlos	Madrid
Duran-Miranda, Antonio	Madrid
García Riera, Carlos	Madrid
López Palos, Ricardo	Madrid
Martinez Fernández, Fco. Manuel	Madrid
Ortega Ariza, Elías	Madrid
Peinado Aznar, Manuel	Madrid

Rivas Vega, Torcuato	Madrid
Gimeno Rico, Víctor	País Vasco

FALLECIDOS

García Fernández, Cristóbal	Andalucía
Feliu Garcia, Francisco	C. Valenciana
Pons Chaos, Rafael	C. Valenciana
Fuentes Pardo, Angel	Castilla y León
Estanyol Ballell, Liberto	Cataluña
Alcázar Álvarez, José Luis	Galicia
Acevedo Laborda, Luis	Madrid
García De Los Ríos, Pablo E.	Madrid
García Gonzalez, Jose Manuel	Madrid
Ruiz Gijón, Rafael	Madrid

BAJAS VOLUNTARIAS

Gonzalez Molina, Enrique	Andalucía
Díaz Bigotes, Begoña	Asturias
García Galán, Juan Miguel	Asturias
Mendez Moreno, Ana	Asturias
Mendez Pardo, Fco. Javier	Asturias
Menéndez García, Eduardo	Asturias
Pérez Paredes, Almudena	Asturias
Rubio Fernández, Belarmino Jonathan	Asturias
Shaw Molina, M ^a Belén	Asturias
Vázquez Bartolomé, Rene	Asturias
Alfonso Caamaño, Ana	C. Valenciana
Estela Ramos, Marco Antonio	C. Valenciana
García Rubio, Pedro Antonio	C. Valenciana
Jurado Pozuelo, Jose Luis	C. Valenciana
Labrador Gonzalez, M ^a Luz	C. Valenciana
Martinez Carbonell, Carmelo	C. Valenciana
Morales Millán, Juan Francisco	C. Valenciana
Morell Rama, Jose	C. Valenciana
Peñarrubia Martinez, Maria Luz	C. Valenciana
Redondo Colado, Esther	C. Valenciana
Sainz Najarro, Nerea	C. Valenciana
Orihuela Tadeo, Ulises Javier	Canarias
Ozaez Ballesteros, Antonio	Castilla La Mancha
Sanchez Martin, M ^a Nilda	Castilla y León
Alberich Gonzalez, Isabel	Cataluña
Carreras Giner, Pere	Cataluña
Gea Martinez, Yolanda	Cataluña
Poquet Vitoria, Jorge	Cataluña

Serrano Monje, Ana	Cataluña
Caballero Cáceres, M ^a Carmen	Extremadura
Gómez Lázaro, Francisco J	Extremadura
Jiménez Gonzalez, Diego	Extremadura
Travado Llanos, Rosa María	Extremadura
Andrés Martinez, Jose Manuel	Galicia
Aragón Fontenla, Pablo	Madrid
Benito Sanchez, Consuelo M ^a	Madrid
Blasco Bordoy, Francisca	Madrid
Blázquez Encinar, Diego	Madrid
Calvo Soto, Iñigo	Madrid
Ciganda Gonzalez, Alejandro	Madrid
Fernández Ruiz, Isabel	Madrid
Gallego Garcia, Miguel	Madrid
Gómez Alvarez, M ^a Jose	Madrid
Hernandez Domínguez, Gustavo	Madrid
Hoyas Ramos, Miguel	Madrid
Jiménez Sanz, Arturo	Madrid
Merino Alvarez, Maria Gloria	Madrid
Ramos Alvarez, Jesús	Madrid
Rodríguez Tarodo, Fernando	Madrid
Romero Gómez, Concepción	Madrid
Romero Guillen, Ramon	Madrid
Rosa Hervás, Miguel Angel	Madrid
Sanchez Gómez, Raul	Madrid
Sanz Claramonte, Benito	Madrid
Alonso Martinez, Iñaki	País Vasco
Chadda Zabaleta, Aitor	País Vasco
Fuentes Miñarro, Diego	País Vasco
Madina Riaño, Aitziber	País Vasco
Mutiloa Baztarrica, Iñigo	País Vasco
Uriarte Gonzalo-Bilbao, Adelina	País Vasco
Vidal Ojanguren, Karmelo	País Vasco

BAJAS POR APLICACIÓN DEL ARTÍCULO 48.2

Martinez Martos, M ^a Belén	Andalucía
Tello Extremera, Maria	Andalucía
Fernández Clavijo, Jose Manuel	C. Valenciana
Alba Muñoz, Salvador	Cataluña
Rodríguez Loudot, Sabina	Cataluña
Antolín Salazar, Alicia	Extremadura
De La Cruz Toro, Felipe	Extremadura
Guerrero León, Matías	Extremadura
Masero Sandino, M ^a Reyes	Extremadura
Moreno Gonzalez, Antonio	Extremadura
Rubio Alvarez, Abundio	Extremadura
Ronzero Rehkoff, Luis Leonardo	Madrid

TOPOGRAFIA y CARTOGRAFIA



TOPCART REVISTA DEL COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TECNICOS EN TOPOGRAFIA

SI DESEA ESTAR AL DÍA Y TENER INFORMACIÓN MUNDIAL SOBRE TOPOGRAFÍA, CARTOGRAFÍA, CATASTRO, GEODESIA, FOTOGRAMETRÍA, GPS, etc., suscríbese

El precio de la suscripción para el año 2007 es de:

	Correo ordinario	Correo certificado
España	33 € <input type="checkbox"/>	45 € <input type="checkbox"/>
Países C.E.E.....	46 € <input type="checkbox"/>	67 € <input type="checkbox"/>
América	46 € <input type="checkbox"/>	74 € <input type="checkbox"/> (con suplemento aéreo)
Otros países	48 € <input type="checkbox"/>	75 € <input type="checkbox"/> (con suplemento aéreo)

Estudiantes (remitir justificante de estar matriculado en el curso 2006-2007) 27 €

NOMBRE Y APELLIDOS.....

DIRECCIÓN, POBLACIÓN

PROVINCIA, CÓDIGO POSTAL, PAÍS, TEL. CONTACTO

Adjunto cheque o justificante de giro transferencia para la suscripción del año 2007.

c/c n.º 1098-8.- CAJA DE AHORROS PROVINCIAL DE GUADALAJARA-Alcalá, 27 - 28014 MADRID

Remítase este Boletín a **Topografía y Cartografía**. Avenida Reina Victoria, 66, 2.º C - 28003 MADRID - Tel. 91 553 89 65 - Fax 91 533 46 32 - E-mail: topografiaycartografia@top-cart.com



CONVENIO COITT – EXPOZARAGOZA 2008



Este Colegio ha firmado un Convenio con EXPOAGUA Zaragoza 2008 S.A., a través del cual EXPOAGUA realiza unos **descuentos especiales en las entradas** para asistir a la *Exposición Internacional Zaragoza 2008*, que tendrá lugar del 14 de junio al 14 de septiembre de 2008.

El descuento que obtiene el colegiado por comprar las entradas a través del colegio es del **12% sobre tarifa oficial de cada periodo**.

Tipos de Entrada:

Los *tipos de entradas* que podemos comprar son:

- **Entrada 1 día (T1).**—Entrada válida para acceder al recinto, cualquier día durante la Expo.
- **Entrada 3 días (T3).**—Entrada intransferible válida para acceder al recinto durante 3 días, consecutivos o no.
- **Pase de Temporada Noche (PTN)** ⁽¹⁾.—Pase personalizado e intransferible válido para acceder durante todos los días de duración de la Expo en horario desde las 20:00 horas hasta las 3:00 de la madrugada.

⁽¹⁾ Edición limitada a 35.000 unidades. Cantidad máxima por colectivo 200 unidades.

Según la edad del visitante tendrá estos descuentos adicionales:

– Menores 5 años*	Entrada Gratuita
– Infantil (5-14 años)*	40%
– Jóvenes (15-25 años)*	25%
– Mayores de 65 años*	25%
– Personas con discapacidad	25%

^(*) Se tomará como edad de referencia, la que cada persona tenga el día 14 de junio de 2008

Tabla con los *periodos de compra y precios para colectivos* según edades:

• Entrada de un día (T1)

ENTRADA DE UN DÍA (T1)	Venta Anticipada			EXPO 2008
	Periodo 1 01/12/2006 13/06/2007	Periodo 2 14/06/2007 06/01/2008	Periodo 3 07/01/2008 13/06/2008	Periodo 4 14/06/2008 14/09/2008
T1 adulto	n/d	23,90 €	27,10 €	30,80 €
T1 infantil (5-14 años)	n/d	14,30 €	16,30 €	18,50 €
T1 joven (15-25 años)	n/d	17,90 €	20,30 €	23,10 €
T1 mayor de 65 años*	n/d	17,90 €	20,30 €	23,10 €

^(*) Incluye personas con discapacidad

• Entrada de tres días (T3)

ENTRADA DE TRES DÍAS (T3)	Venta Anticipada			EXPO 2008
	Periodo 1 01/12/2006 13/06/2007	Periodo 2 14/06/2007 06/01/2008	Periodo 3 07/01/2008 13/06/2008	Periodo 4 14/06/2008 14/09/2008
T3 adulto	n/d	47,70 €	54,20 €	61,60 €
T3 infantil (5-14 años)	n/d	28,60 €	32,50 €	37,00 €
T3 joven (15-25 años)	n/d	35,80 €	40,70 €	46,20 €
T3 mayor de 65 años*	n/d	35,80 €	40,70 €	46,20 €

^(*) Incluye personas con discapacidad 2008

• Pase de Temporada Noche (PTN) (máximo por colectivo 200 unidades)

PASE DE TEMPORADA NOCHE (PTN)	Venta Anticipada			EXPO 2008
	Periodo 1 01/12/2006 13/06/2007	Periodo 2 14/06/2007 06/01/2008	Periodo 3 07/01/2008 13/06/2008	Periodo 4 14/06/2008 14/09/2008
PTN adulto	n/d	119,00 €	135,20 €	153,60 €
PTN infantil (5-14 años)	n/d	71,40 €	81,10 €	92,20 €
PTN joven (15-25 años)	n/d	89,20 €	101,40 €	115,20 €
PTN mayor de 65 años*	n/d	89,20 €	101,40 €	115,20 €

^(*) Incluye personas con discapacidad. Edición limitada a 35.000 unidades

Para más información, contacta con tu Delegación

CONVENIO DIRECCIÓN GENERAL DE CATASTRO C.O.I.T. EN TOPOGRAFÍA

COLABORACIÓN EN MATERIA DE GESTIÓN CATASTRAL

PUNTO DE INFORMACIÓN CATASTRAL

Consulta la web del Colegio: www.coit-topografia.es,
donde encontrarás:

- Texto íntegro del Convenio
- Procedimiento a seguir para la subsanación de discrepancias
- Formulario de Consentimiento para la obtención de datos
- Normativa para realizar trabajos catastrales bajo este Convenio
- Memoria-Tipo para este tipo de trabajos

También puedes dirigir tus consultas a:

catastro@coit-topografia.es

Índice Comercial de Firmas



Alquiler y venta de instrumentos topográficos

C/ Bofarull, 14, Bajos 08027 BARCELONA
Tel. 93 340 05 73 Fax 93 351 95 18
www.al-top.com e-mail: al-top@al-top.com



SERVICIO TÉCNICO OFICIAL

BATIMETRÍAS

- Levantamientos hidrográficos: marítimos o fluviales. Perfiles. Control obra marítima.
- Posicionamiento de dragados o vertidos.
- Toma de muestras georreferenciadas.

Embarcación propia, con GPS dif., Sonda y soft. de navegación

CB-TOP Casanovas-Berge Asoc.
C/ Trullols, 10 Ent. 2ª Barcelona (08035)
Tel./Fax: 93 418 66 02
Móviles: 629 34 16 26 / 630 02 47 01
E-mail: rb@cb-top.net



BERDALA
INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS Y LASER
SERVICIO TÉCNICO

Parque Empresarial GRANLANT
De la Mora, 15 08918 BADALONA (Barcelona)
Tel. 902 302 204 Fax 93 302 57 89
e-mail: berdala@berdala.com
www.berdala.com



Trimble Ibérica, S.L.
Vía de las Dos Castillas, nº 33
ATICA. Edif. 6, Planta 3ª
28224 Pozuelo de Alarcón
Madrid - Spain
Tel 91 351 01 00 • Fax 91 351 34 43
E-mail: ana_santos@trimble.com
http://www.trimble.com

EDEF
Estudio de Fotogrametría

Marqués de Lema, 7
Tel. 91 554 42 67
28003 MADRID

LEICA GEOSYSTEMS, S.L.
Geodesia, Topografía, Fotogrametría y Sistemas

Oficina y Asistencia Técnica
Edificio Trébol
C/. Doctor Zamenhof, 22
28027 MADRID
Tel. 91 744 07 40 - Fax 91 744 07 41
C/. Nicaragua, 46, 5ª planta - 08029 BARCELONA
Tel. 93 494 94 40 - Fax 93 494 94 42



CENTRAL 902 19 01 22
ANDALUCÍA 958 45 14 03
LEVANTE 963 58 14 94
GUIPÚZCOA 943 37 61 16

<http://www.geocenter.es>

DISTRIBUIDOR OFICIAL
VENTA Y ALQUILER



M. C. Centenera
Alquiler, Venta y Reparación de Aparatos de Topografía y Fotogrametría

Tels.: 665 519 430
619 255 918



TOPCON EUROPE POSITIONING B.V.
Pº Ferrocarril, 335, 2º - 2ª
08860 Castelldefels (Barcelona)
Tel. 93 145 87 32 • Fax 93 145 87 33
e-mail: topografia@topcon.es
<http://www.topcon.es>

ATICSA
Distribuidor Oficial

Leica INTERGRAPH TCP-IT
Geosystems

Venta y Alquiler de Material Topográfico
C/ Servando González Becerra, Local 25 (Plaza de las Américas)
Tel. 924 23 13 11 - Fax 924 24 90 02 - www.aticsa.net 06011 BADAJOZ



MEDICIONES TOPOGRÁFICAS EXTREMEÑAS, S.L.L.

ALQUILER DE G.P.S. Y SERVICIOS TOPOGRÁFICOS

06800 Mérida • e-mail meditexsl@hotmail.com
TLF. 924 304 984 • 679 631 689 • 659 904 344



Topografía • GPS • Hidrografía • Navegación • Fotogrametría
Distribuidor en España de:

PENTAX • JAVAD • ROLLEI • NAVCOM
Avda. Filipinas, 46 - 28003 MADRID
Tel. 91 553 72 07 - Fax 91 533 62 82
www.grafinta.com
grafinta@grafinta.com

ACRE

Alquiler y venta G.P.S. Instrumentos Topográficos

Autovía Madrid-Toledo
925-490839 617 326454
www.acre-sl.com




Distribuidor 

Santiago & Cintra Ibérica, S.A.
C/ José Echegaray, 4 - P.A.E. Casablanca B5
28100 Alcobendas (Madrid)
Tel. 902 120 870 - Fax 902 120 871
e-mail: info@santiageocintra.es

Alvaro Molina Topografía-G.P.S.
Alquiler y Servicios Topográficos

Sistemas G.P.S. 

Centimétrico, Decimétrico, Submétrico, Métrico

Tel. 670 248 852 • 670 243 059
e-mail: almolina@infonegocio.com

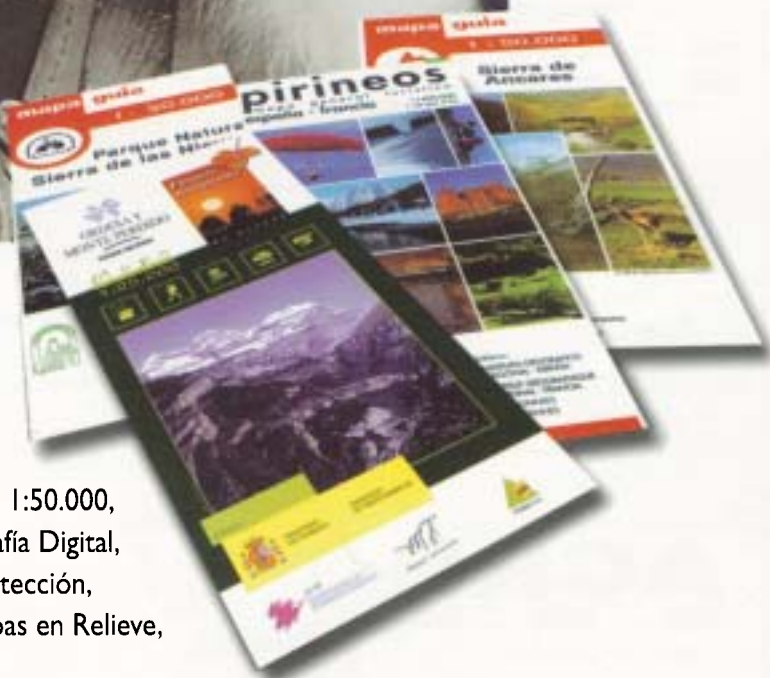
Ningún equipo
está completo, sin un
buen

GUIA

Mapas Guía, Series Turísticas
y Espacios Naturales del...

cnig

CENTRO NACIONAL
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA



Y además...

Mapa Topográfico Nacional a escalas 1:25.000 y 1:50.000,
Mapas Provinciales a escala 1:200.000, Cartografía Digital,
Mapas Autonómicos, Mapas Serie World, Teledetección,
Fotografía Aérea, Atlas Nacional de España, Mapas en Relieve,
Cartografía Histórica, Libros, etc.

Oficina central y comercialización:
General Ibáñez de Ibero, 3 • 28003 MADRID
Teléfono: +34 91 597 94 53 • Fax: +34 553 29 13
e-mail: consulta@cnig.es