



Nuestra portada:

Astrolabio (Juan José García, Madrid 1933). Réplica a escala reducida, del astrolabio de G. Arsenius de 1566 conservado en el Museo Arqueológico Nacional y que ha venido conociéndose como astrolabio de Felipe II. (Fotografía cedida por el IGN).

Vol. XXIV - N.º 143
Noviembre-Diciembre
2007

CONSEJO DE REDACCIÓN:

Pedro J. Cavero Abad
 Andrés Díez Galilea
 Fernando de la Cruz Argibay
 Ángel Luis Olmos Sánchez
 Juan Pablo Colmenarejo Fernández
 José Carlos Rivas Lafuente
 Eduardo Arellano Ramírez
 Miguel Ángel Castilla Blázquez
 Guillermo Junquera Gala
 Sonia Pardo-Balmonte García

✱

DIRECCIÓN, REDACCIÓN,
 ADMINISTRACIÓN Y
 PUBLICIDAD

Avenida de la Reina
 Victoria, 66, 2.º C
 28003 Madrid
 Teléfono 91 553 89 65
 Fax: 91 533 46 32
 secretaria_revista@coit-topografia.es

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

Modelización de estructuras históricas. Aplicación al acueducto de San Lázaro Mérida	3
Jesús Ángel Torrecilla Pinero, Jose Juan de San José Blasco, Juan Antonio Pérez Álvarez y Jesús Manuel Paniagua Sánchez.	
Automatización de trabajos fotogramétricos mediante técnicas de visión Artificial	10
Javier de Matías Bejarano, José Moreno del Pozo y José J. Guerrero Campo.	
Georreferenciación y cartografía en los yacimientos arqueológicos	16
Teresa Fernández Pareja.	
Teoría de la Evidencia aplicada a los SIG	22
M. Concepción Alonso, Agripina Sanz y José Antonio Malpica.	
Normas internacionales de valoración y administración del territorio	28
Kauko Vitanen.	
Detección cuantitativa de los daños causados por un terremoto a partir de imágenes de satélite de baja resolución	34
Tao Xiaxin y Li Ping.	
El ajuste común del "G.P.S." y las mediciones fotogramétricas	40
Cameron Ellum y Naser El-Sheimy.	
Legislación	50
Bibliografía	66
Índices del Volumen XXIV, 2007	68
Índice Comercial	70

Modelización de estructuras históricas. Aplicación al acueducto de San Lázaro en Mérida

Jesús Ángel Torrecilla Pinero^a, José Juan de Sanjosé Blasco^b, Juan Antonio Pérez Álvarez^b, Jesús Manuel Paniagua Sánchez^c

^aDPTO. DE CONSTRUCCIÓN. UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA.

^bDPTO. DE EXPRESIÓN GRÁFICA. UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA.

^cDPTO. DE FÍSICA APLICADA. UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA.

Resumen

En este artículo se exponen los trabajos realizados en la evaluación estructural del acueducto de San Lázaro. Se hace un recorrido por las técnicas empleadas en la toma de datos, así como las que se han usado en la obtención del modelo sólido. Igualmente, se analiza qué variables de modelización tienen más influencia en la calidad de los resultados obtenidos y en la precisión que se obtiene finalmente.

A continuación se hace un repaso a las técnicas de análisis empleadas, en particular la necesidad de elegir un adecuado modelo constitutivo que pueda predecir la existencia de zonas de acumulación de daño y la calibración de este modelo para reproducir el comportamiento real de la estructura. Se comparan los modelos utilizados y el análisis paramétrico que se ha realizado. En el análisis una variable externa que cobra gran importancia, cuando la estructura que se analiza tiene una cantidad de nodos elevada, es el tiempo de cálculo. En este artículo se exponen alternativas que se han usado con éxito para reducir estos tiempos de cálculo sin pérdida de precisión en los resultados. Se concluye que la conjunción de modelos de daño acumulado con modelos de tipo friccional permite una aproximación adecuada al comportamiento de la estructura sin un coste elevado de cálculo.

Palabras clave: Topografía, Elementos Finitos, Estructuras Históricas, Evaluación Estructural.

Abstract

In the report the jobs made around the structural reliability of the St. Lázaro aqueduct are presented. The complete work may be divided into three components: the "capture of information" one, the modelling one and the process and postprocess one. This is not a closed process but from then last step conclusions can be extracted so that new survey work can be developed and more accurate models can be adopted. In the report the variables which have more incidence in the average of the final results are discussed.

Next a brief overview on the calculation techniques used in the work is made, pointing specially to the fact that it is a very important decision the correct choose and calibration of the constitutive model for the material. This relevant decision not only affect to the quality of the results themselves, but may decide the size of the model which can be used for the calibration works and for the global evaluation works.

Lastly, the use of combined frictional - continuous damage models are proposed, both in calibration stages and in final model stages. With this kind of models one can reach a reasonable accuracy with few calculation cost.

Keyword: Topography, Finite Element, Historical buildings, Structural Reliability.

I. INTRODUCCION

El acueducto de San Lázaro o acueducto de rabo de buey es una construcción con orígenes romanos, y fases posteriores visigodas y árabes situada al noroeste de Mérida, que recoge agua del norte de la ciudad (fundamentalmente captaciones de manantiales) y la lleva hasta el antiguo foro romano de la misma.

Quedan tramos del acueducto en muy buen estado de conservación, especialmente los que se encuentran alrededor del río Albarregas.

El acueducto ha sufrido ya intervenciones en épocas recientes para mejorar la transitabilidad en un espacio que de otra forma quedaría aislado entre el acueducto, el río Albarregas y la calle Almendralejo.

En este trabajo se exponen las primeras fases que se han realizado para contar con esa herramienta. El trabajo no está aún ni mucho menos terminado, como se comentará a continuación.

El objetivo final no queda restringido a esta obra, sino que lo que se pretende es establecer unas pautas de actuación que permitan establecer modelos de elementos patrimoniales sobre los que modelizar las inter-

venciones que las distintas administraciones autoricen, a fin de poder prever sus efectos. Asimismo, tales modelos pueden servir de ayuda en las tareas de programación de las tareas de inspección y conservación, facilitando los puntos más sensibles al deterioro y el tamaño de los defectos a localizar.

2. DESCRIPCIÓN DEL ACUEDUCTO

El tramo de acueducto estudiado puede ser dividido en tres partes claramente diferenciadas que, desde el río Albarregas hacia el foro romano son (Figura 1):

- Una primera parte en la que, en una sección del acueducto encontramos tres niveles. El inferior, macizo, de unos cuatro metros de altura y sillares y mampuestos de gran tamaño con pocos elementos de unión visibles, el intermedio, de 3,6-3,9 metros de altura, aligerado, con pilarcetes entre bóvedas formados por materiales muy heterogéneos, desde ladrillos cerámicos a restos de sillares pequeños, y una última parte maciza formada por pequeños mampuestos unidos por argamasa. Esta primera parte parece, a simple vista, la más moderna, y puede deberse a una reconstrucción parcial del acueducto. Está limitada por dos contrafuertes situados aguas arriba del Albarregas.
- Una segunda parte en la que hay dos niveles de aligeramiento. Se aprecia una mejor factura en general, con sillares más grandes y mejor alineación de las caras del acueducto.
- Una última parte, que va a morir en un estribo partido, con un único nivel de aligeramientos, realizada con sillares de gran tamaño.

La primera de las unidades descritas presenta, en su alineación en planta, desviaciones que no parecen acomodarse al perfil del terreno, y asimismo se evidencian desplomes cuya importancia habría que valorar. Es en esta unidad en la que, bajo uno de los arcos, se ha abierto una puerta para facilitar la transitabilidad a través del acueducto y permitir el uso del parque que se encuentra rodeándolo.

3. TRABAJOS DE CAMPO

Los trabajos de campo persiguen conseguir un modelo geométrico relativamente preciso, así como información acerca de las condiciones de contorno. Estos trabajos se han dividido en varias partes:

En primer lugar, se ha realizado un trabajo de identificación de las diferentes unidades del acueducto, detectando qué partes podrían captarse mediante fotogrametría o topografía. La vegetación que rodea el monumento, así como el paso sobre el río Albarregas hace complicada la realización de trabajos de topografía, por lo que ha sido preciso alternar diversas técnicas.

Posteriormente, en las zonas en las que la vegetación lo ha permitido, se ha realizado un levantamiento topográfico con una estación total Topcon GPT 7001i "sin prisma". De esta forma, se han obtenido 3.502 puntos



Figura 1. Vista general del acueducto.

de control sobre los que se ha realizado el modelo sólido. Estos puntos se han procesado en gabinete, uniéndolos de modo que se tenga una malla de líneas características (ojos del acueducto por un lado, líneas de cornisa por otro, límite del suelo, etc). La técnica empleada permite obtener una densidad de puntos bastante elevada, reduciendo el tiempo de trabajo de campo con respecto al uso de medios topográficos clásicos [8].

Al mismo tiempo, su empleo permite el tratamiento de singularidades que la fotogrametría no puede recoger:

Dado que no es planteable el realizar una cata en las inmediaciones del acueducto, para determinar las condiciones en las que este se apoya en el terreno se ha realizado una campaña de perfiles geofísicos, empleando un georradar. Esta técnica permite detectar discontinuidades en el terreno que rodea al acueducto (tales como posibles cimentaciones, o capas de diferente dureza en las que haya ido a apoyarse la fábrica).

Por último, en las zonas más despejadas, se ha realizado un trabajo de fotogrametría terrestre. Esta técnica permite obtener modelos tridimensionales de edificios de una forma relativamente automática.

Con las técnicas empleadas se pretende tener un abanico suficientemente amplio como para poder comparar ventajas e inconvenientes de cada una a fin de aplicarlas en sucesivos trabajos. Fundamentalmente, el trabajo con topografía clásica permite una mayor versatilidad, a cambio de un mayor tiempo de trabajo de campo, mientras que la fotogrametría terrestre reduce este tiempo, pero necesita de un espacio despejado alrededor del edificio a levantar, y de un mayor trabajo de gabinete.

Los trabajos de obtención de geometría mediante estación total se han llevado a cabo en seis jornadas de trabajo, lo cual nos lleva a un rendimiento medio de unos 600 puntos por jornada. Una vez llevados estos puntos a gabinete es preciso someterlos a operaciones de limpieza del modelo, a fin de corregir fallos que en un primer volcado existen en la topología, tales como errores de conectividad entre diferentes jornadas, existencia de puntos muy próximos que no responden a un detalle sino

a una duplicidad y que pueden introducir singularidades en la malla, líneas muy próximas cuasi paralelas, etc.

4. OBTENCIÓN DEL MODELO SÓLIDO

En el proceso de simulación la obtención del modelo que posteriormente se mallará es, probablemente, la tarea que más tiempo de operador requiere. Se han realizado dos modelos sólidos:

- Modelo reducido: este modelo sirve para calibrar los parámetros de mallado y el modelo constitutivo de los materiales a emplear. Se ha modelizado un tramo corto de acueducto, con sólo tres ojos, sobre el que se han aplicado diferentes densidades de mallado y se han realizado diversas simulaciones (Figura 2) (Figura 3).

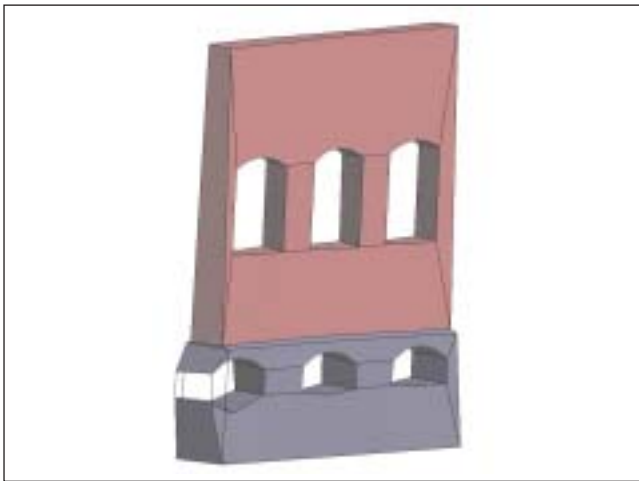


Figura 2. Modelo reducido.



Figura 3. Mallado del modelo reducido.

- Modelo completo. En este modelo se aprovecha la información obtenida del anterior para reproducir el comportamiento de todo el acueducto.

5. ESTUDIO DE CONVERGENCIA

Sobre el modelo reducido se han realizado mallas de densidad 0,8 m, 0,50 m, 0,40 m, 0,25 m y 0,20 m. Sobre estos mallados se han ejecutado tres análisis diferentes:

- En primer lugar, un análisis estático lineal, aplicando las cargas debidas al peso propio de los elementos mallados.
- En segundo lugar, un análisis con comportamiento lineal del material pero teniendo en cuenta la no linealidad geométrica.
- Por último, un análisis con comportamiento no lineal del material, empleando dos modelos constitutivos diferentes. Por un lado, se ha empleado un modelo constitutivo con plasticidad no asociada tipo Mohr Coulomb, que puede reflejar bien el comportamiento de la argamasa de unión entre piezas, y por otro, un modelo de daño continuo, que desde una mayor sencillez conceptual puede llegar a reflejar de forma similar a la anterior el comportamiento de todo el material.

En el caso del modelo con no linealidad material se ha considerado que el comportamiento, desde un punto de vista macroscópico, es similar al de un material compuesto, lo cual evita modelizar juntas y bloques rígidos [5][6].

Como medida de la convergencia se ha tomado el desplazamiento máximo del modelo. El resultado obtenido queda reflejado en la figura 4.

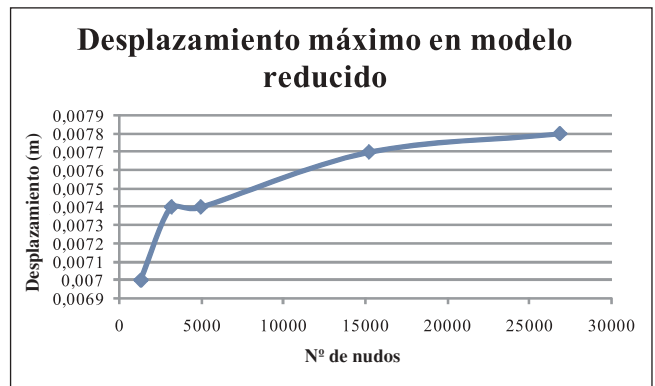


Figura 4. Medida de convergencia en modelo reducido.

Puede apreciarse un comportamiento del modelo con convergencia relativamente buena, existiendo muy poca diferencia entre el modelo con tamaño típico 0,25 m y el modelo con tamaño típico 0,20 m.

La ventaja de este modelo es que permite, con muy poco tiempo de generación del modelo y tiempos reducidos de cálculo, realizar multitud de simulaciones, a fin de determinar qué parámetros influyen más en los resultados obtenidos, así como en los tiempos de cálculo.

El modelo constitutivo tipo Mohr Coulomb empleado parte de un ángulo de rozamiento estático de 45° para el criterio de plastificación de 22,5° para la regla de flujo. Se han tomado tensiones de corte de 0,5 N/mm² en tracción y de 50 N/mm² en compresión. Estas tensiones de corte permiten tener en cuenta el efecto de rotura por compresión o por deformaciones de alargamiento indirectas.

El modelo de daño empleado es de tipo Mazars, y se han usado los siguientes parámetros (Tabla 1):

Deformación umbral ϵ^0	40 $\mu\epsilon$
Parámetro de saturación β	1,00
Parámetro de modulación en tracción α_t	1,00
Parámetro de modulación en tracción α_c	1,00
Parámetro de daño exponencial en compresión b_c	3.000
Parámetro de daño exponencial en tracción b_t	100

Tabla 1. Parámetros para el modelo tipo Mazars.

Estos parámetros se han elegido con la condición de que se obtengan deformaciones similares a las obtenidas con el criterio de Mohr Coulomb. La deformación de 40 $\mu\epsilon$ como tensión umbral de daño resulta muy reducida para las tensiones de compresión (es del orden de la deformación por efectos termohigrométricos), por lo que es necesario modularla con el resto de parámetros. Los parámetros b_c y b_t se han tomado del orden de la décima parte de los recomendados por Mazars para el hormigón [4] [5] [7]. La ley de daño empleada se lee:

$$\sigma_{ij}^{da\ o} = (1 - d) \cdot \sigma_{ij}^{sin\ da\ o}$$

Lo cual permite reducir la tensión en las zonas en las que las deformaciones dañan al material. El parámetro d de daño se calcula como combinación lineal de un daño de tracción y un daño de compresión:

$$d = d_t \cdot \alpha^\beta + d_c (1 - \alpha)^\beta$$

Donde:

$$\alpha = \epsilon_{eq} / \epsilon_0$$

Además:

$$d_t = 1 - (1 - a_t) \cdot \epsilon_0 / \epsilon_{eq} - a_t \cdot e^{-b_t (\epsilon_{eq} - \epsilon_0)}$$

$$d_c = 1 - (1 - a_c) \cdot \epsilon_0 / \epsilon_{eq} - a_c \cdot e^{-b_c (\epsilon_{eq} - \epsilon_0)}$$

6. MODELO COMPLETO

El modelo completo de toda la zona levantada se ha realizado siguiendo un proceso “bottom-up”, esto es, según una jerarquización de las entidades, comenzando por la definición de líneas (importadas directamente del levantamiento topográfico), a partir de las cuales se definen superficies NURBS, y con estas, por último, volúmenes sólidos (Figura 5). Este proceso se ha seguido así de forma sistemática, evitando la realización de procesos “up-bottom” con operaciones booleanas entre volúmenes.

En el modelo reducido se planteó inicialmente este último esquema, obteniendo un único sólido para todo el paño del acueducto y descontando a posteriori las arcadas. Sin embargo, se han encontrado los siguientes inconvenientes:

- Al plantear la superficie comprendida entre la arista superior y la inferior del paño, la curva formada por el arco no está necesariamente

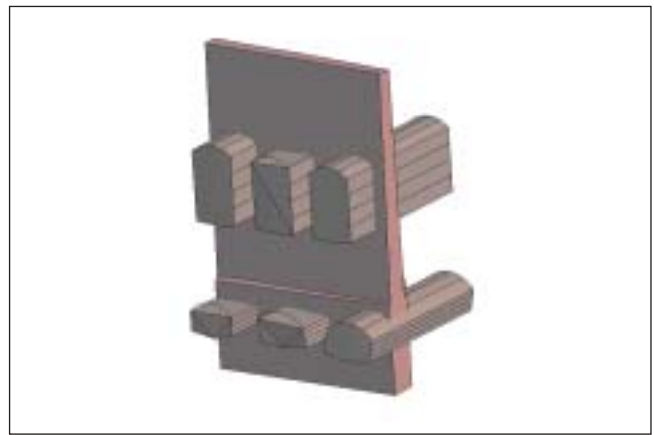


Figura 5. Modelo up-bottom antes de realizar las operaciones booleanas.

contenida en ella, por lo que la realización de la diferencia entre volúmenes requiere la proyección de la curva sobre la superficie. Independientemente del tiempo que lleva esta operación, hay que tener en cuenta que la geometría real del acueducto se pierde, especialmente en los puntos en los que puede existir mayor concentración de tensiones y deformaciones.

- El mallado de un volumen con agujeros, con los algoritmos empleados, tiene un coste computacional más elevado que si ese mismo volumen se divide en sólidos simples.
- Las zonas situadas en los extremos del modelo son muy sensibles a la forma en que se realiza la substracción de volúmenes, de modo que pueden dar lugar a regiones degeneradas, que producen elementos con mala forma, los cuales, al tener jacobianos muy reducidos, pueden introducir problemas numéricos en el sistema.

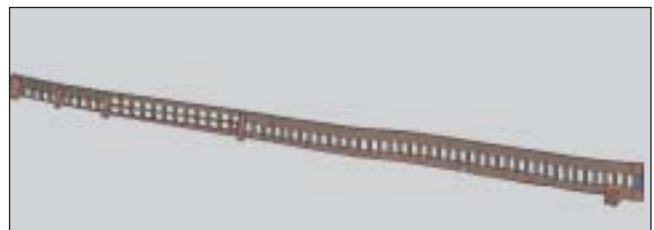


Figura 6. Vista general del modelo completo.



Figura 7. Detalle del modelo completo.

Sobre el modelo completo, a fin de corroborar los resultados obtenidos sobre el modelo reducido, se ha realizado un análisis elástico lineal con densidades de malla creciente (Figura 6) (Figura 7). Se ha obtenido una

velocidad de convergencia similar a la anterior. Asimismo, y para algunas de las densidades de mallado, se ha realizado también un análisis con no linealidad geométrica, obteniendo una excelente adherencia a la curva de convergencia de análisis lineal (Figura 8).

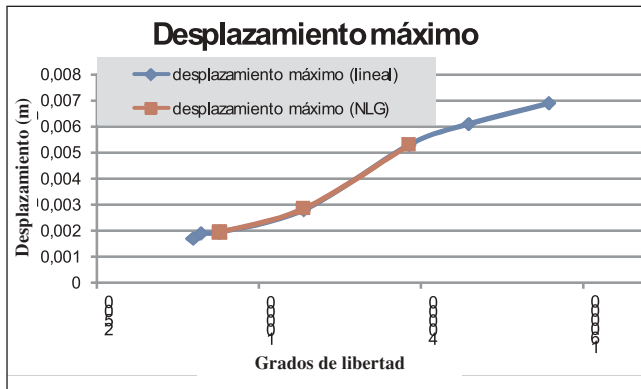


Figura 8. Medida de convergencia en modelo completo.

Como se aprecia en el gráfico siguiente, no parece tener mucho sentido introducir en el cálculo la complicación que supone la no linealidad geométrica teniendo en cuenta la precisión obtenida, máxime cuando se comparan los tiempos de ejecución de los diferentes modelos (Figura 9).

Se puede ver que el modelo lineal, para el mismo número de grados de libertad, tiene un tiempo de ejecución un orden de magnitud inferior al tiempo de cálculo del modelo no lineal como mínimo, con lo cual se tiene que para un coste computacional constante resulta más efectivo a efectos de precisión aumentar la densidad de mallado y realizar un cálculo lineal que tener una malla más grosera y hacer un cálculo no lineal.

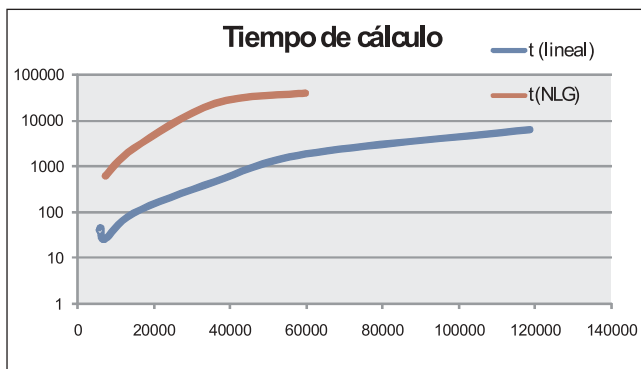


Figura 9. Tiempos de cálculo sobre modelo completo.

Sobre el modelo, una vez realizado el análisis, se han apreciado algunos efectos que merece la pena reseñar:

- Los desplazamientos debidos a peso propio tienen, en coronación del acueducto, importantes componentes horizontales, correspondientes a las zonas con mayores desplomes (Figura 10).

De hecho, la componente vertical del desplazamiento en esta zona es del orden de un 20% de la componente normal al acueducto. Como se aprecia en la figura 11, esta diferencia de amplitud en las compo-

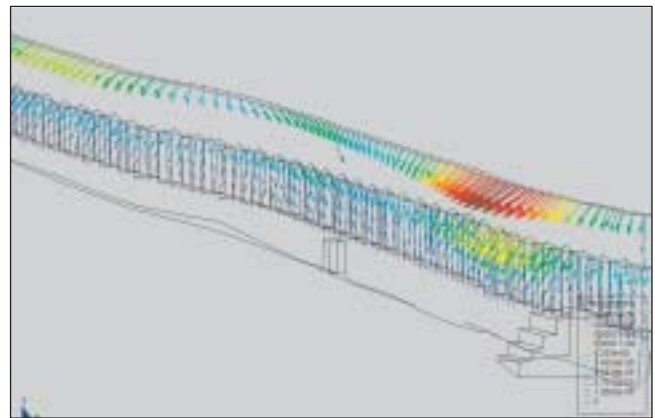


Figura 10. Vectores de desplazamiento.

nentes del movimiento parece indicar un vuelco parcial del acueducto en esta parte, lo cual explicaría la situación de los contrafuertes en zonas con desplomes del mismo orden.

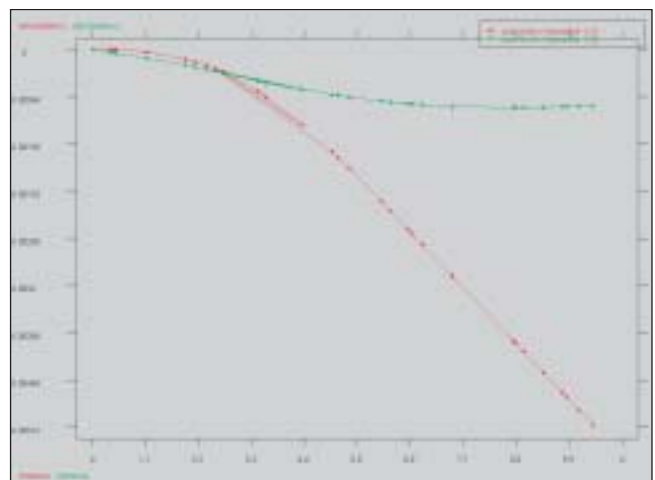


Figura 11. Desplazamiento normal (línea roja) y vertical (línea verde) en una vertical por pilastra.

- Hay una importante concentración de tensiones en las pilastras de las arcadas, siendo el diseño y el espaciamiento entre ellas muy adecuado, debido a que la distancia es adecuada para que se forme un arco de descarga sobre ellas que evite tracciones horizontales en cabeza de las pilastras y las dimensiones son suficientes para no producir roturas por compresión vertical (fisuración subvertical inexistente) (Figura 12) (Figura 13).
- En el modelo con no linealidad material, se observa un daño acumulado en las pilastras muy relevante, del orden, en algunas de ellas, de un 85-90%, mientras que el paño inferior se encuentra dentro de un parámetro de daño estimado del orden de un 50-60%. Esto estaría de acuerdo y explicaría las roturas encontradas en algunos de los sillares inferiores del acueducto (Figura 14) (Figura 15). Es de reseñar que las tensiones obtenidas en este modelo en las zonas dañadas están muy próximas a las dadas en para la resistencia a compresión de obras de fábrica [1][2][3].

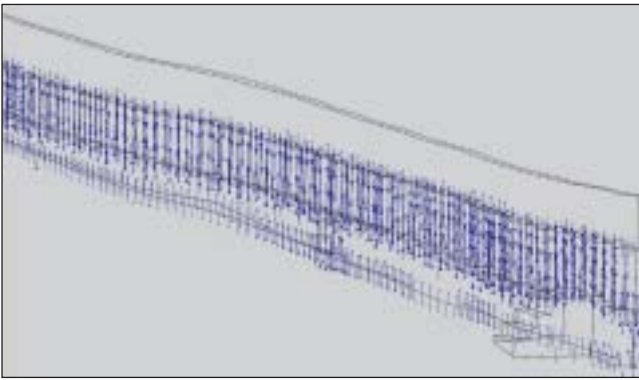


Figura 12. Vectores de tensión principal mayor.

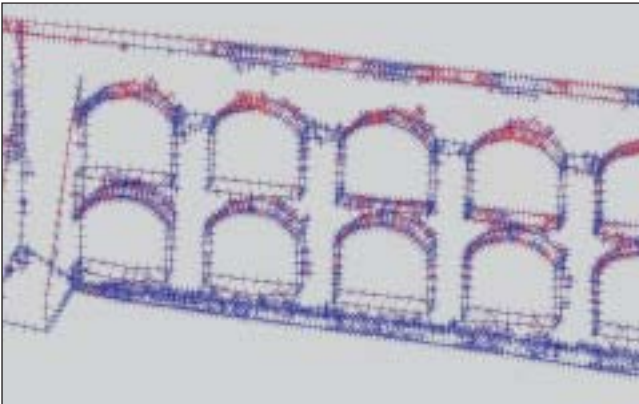


Figura 13. Tensiones principales en zona de doble arcada.

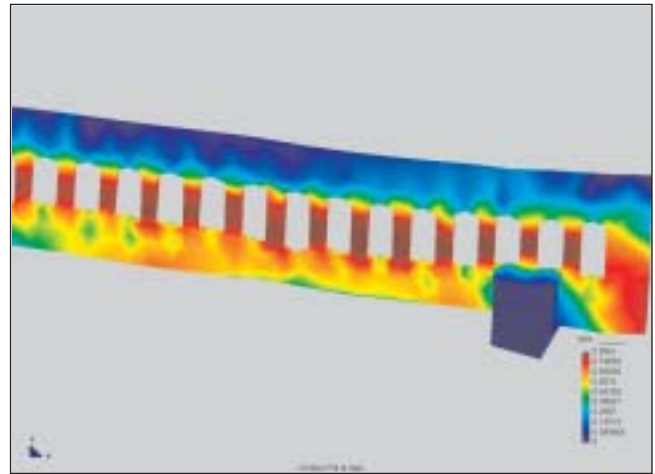


Figura 14. Daño isotrópico en el acueducto.

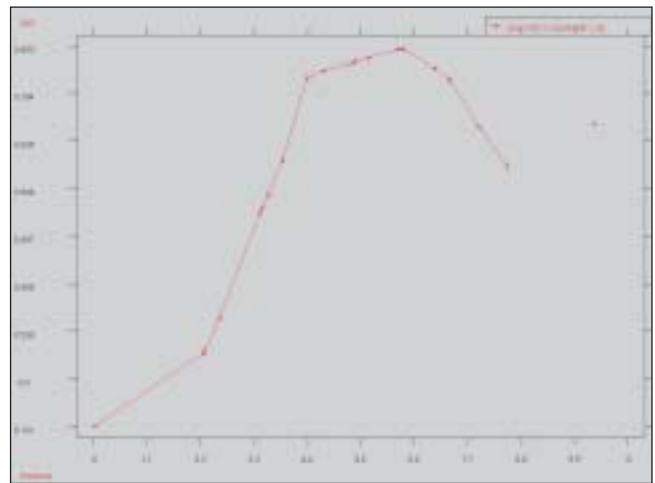


Figura 15. Daño en una sección vertical por pilastra. Máximo en zona intermedia, mínimo en zona superior (inicio del gráfico).

7. CONCLUSIONES

Se han expuesto los trabajos realizados en el acueducto de San Lázaro en Mérida. Dichos trabajos se han centrado en la obtención de un modelo sólido y en la simulación sobre este modelo del estado tenso-deformacional bajo la carga de peso propio.

Se ha obtenido que para este tipo de estructuras la consideración de no linealidades geométricas no tiene una influencia relevante en los resultados obtenidos, complicando innecesariamente el modelo.

Se ha encontrado una explicación mecánica a la posición de los contrafuertes, así como a los desplomes del acueducto, encontrando las zonas del mismo que presumiblemente se encuentran en peor estado de conservación y que por tanto son más sensibles frente a futuras intervenciones.

Se han comparado dos modelos no lineales de comportamiento del material, cada uno de los cuales combina leyes adecuadas al tratamiento de materiales pétreos, encontrando que el modelo de daño continuo presenta resultados análogos al modelo con plasticidad no asociada con un coste computacional muy inferior.

REFERENCIAS

[1] CTE-SE. *Código Técnico de la Edificación*. Ministerio de la Vivienda.

[2] Eurocódigo 6. *Common Unified Rules for Masonry Structures*. 1992.

[3] FL 90. *Muros resistentes de Fábrica de Ladrillo*. Norma básica de la edificación. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. España. 1990.

[4] Mazars, J. *A description of micro and macroscale damage of concrete structures*. *Engineering in Fractural Mechanics*, 25: 729-737. 1986.

[5] Oller, S. et al. *Cálculo del comportamiento de la Mampostería Mediante Elementos Finitos*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería. 1998.

[6] Oller, S. et al. *Modelización numérica de materiales friccionales*. Monografía nº 3, Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería.

[7] Roddeman, D. *Tochnog*, manual del usuario. 2000.

[8] Sanjosé, J. J., Atkinson, A., Salvador, F., Gómez, A. *Application of geomatic techniques in controlling of the dynamics and cartography of the Veleta rock glacier (Sierra Nevada, Spain)*. *Zeitschrift für Geomorphologie*. Inédito, artículo aceptado. 2007. ■

Automatización de trabajos fotogramétricos mediante técnicas de visión artificial

Javier de Matías Bejarano^a, José Moreno del Pozo^a, José J. Guerrero Campo^b

^a DPTO. DE ING. DE SIST. INFORMÁTICOS Y TELEMÁTICOS. UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA.

^b DPTO. DE INFORMÁTICA E ING. DE SISTEMAS. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA.

Resumen

La confluencia de dos técnicas a priori distantes como son la Fotogrametría y la Visión Artificial parece ser una de las más importantes innovaciones en el campo de la generación de cartografía surgidas en los últimos años. La aparición de nuevos métodos para el emparejamiento en un mayor abanico de condiciones (distintas escalas y orientaciones) y la geometría multivista para cámaras no calibradas son técnicas de amplia difusión en el mundo de la Visión Artificial y la Robótica. En el desarrollo de este artículo veremos que pueden aportar estas técnicas al campo de la Fotogrametría y sobre todo a la generación de cartografía.

Palabras clave: Fotogrametría, Geometría multivista, SIFT, Visión artificial.

Abstract

The confluence of two different disciplines like Photogrammetry and Computer Vision is one of the most important innovations in cartography generation methodologies. The new methods used in matching tasks under a great set of conditions (different scales and orientations) and the multiview geometry for uncalibrated cameras are techniques widely known in Robotics and Computer Vision publications. In this paper we present the use of these techniques in cartography generation projects.

Keyword: Photogrammetry, Multiview geometry, SIFT, Computer Vision.

I. INTRODUCCION

La Fotogrametría desde sus inicios ha sido una disciplina ligada a la evolución tecnológica y con una constante adaptación a su tiempo. Los diferentes hitos que han marcado su avance han venido de la mano de diferentes cambios en las tecnologías contemporáneas a su desarrollo.

Su aparición como Fotogrametría Analógica viene marcada por el nacimiento de la Fotografía en el siglo XIX, donde se comienzan a producir diferentes productos cartográficos a partir de restituidores de funcionamiento puramente mecánico, que a través de los años propicia la aparición de dispositivos más dinámicos y versátiles.

La forma de trabajar apenas cambia hasta la aparición de los primeros computadores que traen consigo el término Fotogrametría Analítica [1,6] en torno al año 1957. Los computadores consiguen automatizar algunas tareas que anteriormente se realizaban manualmente o con dispositivos mecánicos, además de diversificar el número de productos cartográficos disponibles en el mercado.

La aparición de escáneres de alta resolución y la revolución que provoca la aparición de la Fotografía digital, suponen el siguiente hito en la historia de la Fotogrametría, que conlleva la aparición del término Fotogrametría Digital [9] a principios de los años 90. En esta época se producen importantes avances en el desarrollo de métodos de correlación de imágenes que facilitan la automatización de algunos de los procesos de la restitución fotogramétrica. Actualmente la mayoría de los avances tecnológicos en esta disciplina se dirigen a este campo, es decir, a la automatización de los procesos de la restitución.

En los últimos años comienzan a aparecer líneas de investigación que acercan la Fotogrametría a la Visión Artificial. Gran parte de los conceptos que manejan ambas disciplinas son comunes, sin embargo la forma en que se aproximan al problema puede considerarse, en algunos aspectos, diametralmente opuesta, entre otras cosas, por las diferentes precisiones que se persiguen en ambos campos.

Mientras que en la mayoría de las aplicaciones de la Visión Artificial (por ejemplo robots móviles) lo que prima es el tiempo de cómputo de los programas sobre la precisión de los modelos 3D obtenidos, en la Fo-

togrametría el tiempo de cómputo en principio queda en un segundo plano, cobrando importancia la precisión de los cálculos. Es por esto que surge un gran reto en la confluencia de ambas aproximaciones al problema y supone un estudio previo importante que nos indique que técnicas utilizadas en Visión Artificial pueden tener interés en el campo de la Fotogrametría.

En este artículo, en concreto, se pretende estudiar que pueden aportar a la Fotogrametría dos técnicas de amplia difusión en Visión Artificial como son, la geometría multivista para cámaras no calibradas [2,5], con un desarrollo muy importante desde la década de los 90 y muy amplia difusión en el campo de la Robótica, y la aparición en los últimos años de métodos como SIFT (Scale Invariant Features Transform) [7,8] que han permitido realizar emparejamientos entre imágenes con mayores dificultades, como pueden ser los cambios de escala, de orientación e incluso ciertas variaciones de iluminación.

El artículo se ha dividido en 6 apartados, un primer apartado introductorio, los apartados 2 y 3 que describen la metodología de trabajo de la Fotogrametría y la aportación de la Fotogrametría Digital a esta metodología. En los apartados 4 y 5 se aborda lo que puede suponer la utilización de métodos como SIFT y la Geometría epipolar con cámaras no calibradas en la forma de aproximarse al problema de la restitución fotogramétrica. Y por último el apartado 6 se describen las conclusiones alcanzadas.

2. MÉTODO DE TRABAJO DE LA FOTOGRAMETRÍA CLÁSICA

El método de trabajo que sigue la fotogrametría clásica es el que conocemos como restitución. La restitución trata el problema de obtener y almacenar las coordenadas de un determinado objeto a partir de las correspondientes fotocoordenadas calculadas sobre las fotografías. El proceso de restitución tiene dos partes diferenciadas: la orientación de los haces de rayos, que recibe el nombre de orientación externa y el cálculo de coordenadas terreno, que es la restitución propiamente dicha.

El proceso que se sigue hasta conseguir esta intersección entre los rayos homólogos se denomina orientación y se puede dividir en dos grandes apartados: orientación interna y orientación externa.

- **Orientación interna:** La orientación interna consiste en la reconstrucción individual de los rayos que impresionaron la placa fotográfica, eliminando las deformaciones producidas en el proceso de medición de coordenadas cliché, y su posterior refinamiento. Para realizar la orientación interna de los fotogramas es necesario, pues, conocer los datos de calibración de la cámara con la que se hicieron las fotografías. Estos datos incluyen la distancia focal calibrada, la posición del punto principal respecto al centro fiducial y la función de distorsión óptica.

- **Orientación externa:** Se llama orientación externa al problema de lograr que los haces, formados mediante la orientación interna, tomen idéntica posición, con respecto al terreno, a la que tuvieron al ser impresionadas las fotografías. Para ello es necesario orientar las fotografías o el modelo en un sistema de coordenadas externo. Dicho de otro modo, se trata de relacionar el sistema de coordenadas imagen, propio de la fotografía con el sistema de coordenadas terreno.

Si la orientación se lleva a cabo utilizando el par estereoscópico como unidad de trabajo, según la metodología empleada en los restituidores analógicos, se dice que se sigue el método de los dos pasos, mientras que, si se hace para cada fotograma individualmente, se dice que se sigue en método de un solo paso. El correspondiente proceso de restitución, o cálculo de coordenadas terreno, también es diferente según el método de orientación utilizado.

Como vemos en los pasos del método seguido en el proceso de restitución, lo que se intenta es conseguir un modelo basado en la precisión desde los más mínimos detalles. Para cada paso que se da, se ha de asegurar el control de cada detalle, y se ha de buscar el modelo lo más exacto posible a la realidad, para no quedar para el siguiente paso ninguna deformación por corregir o modelar.

Esta metodología es la que pretendemos cambiar al introducir técnicas de Visión artificial, que como veremos más adelante, comienzan normalmente con una primera aproximación de la reconstrucción que después podremos ir refinando con adición de más información de la escena o de los dispositivos que hemos utilizado para su captación.

3. FOTOGRAMETRÍA DIGITAL

Los avances surgidos con la Fotogrametría digital no han intentado cambiar ninguna de las fases del método de trabajo de la fotogrametría clásica que hemos visto en el anterior punto, más bien se ha encaminado a la automatización de los diferentes procesos que forman el método. La correspondencia de imágenes ha jugado un papel determinante en esta automatización y es a este campo donde se dirigen gran parte de las líneas de investigación de la Fotogrametría digital actual.

La correspondencia de imágenes se refiere al proceso de encontrar automáticamente detalles o entidades homólogas puntuales, lineales y superficiales en una o múltiples imágenes. La mayoría de las tareas que se han automatizado en fotogrametría digital requieren correspondencia de imágenes. Por ejemplo para la orientación interna, relativa, la triangulación o la orientación externa.

Existen tres grandes familias de métodos de correspondencia de imágenes:

- **Correspondencia basada en intensidades:** Esta técnica se basa en el ajuste radiométrico de puntos o de superficies en una o múltiples

imágenes. Su mayor ventaja es la precisión que se obtiene en imágenes con textura y contraste elevado, sin embargo, como desventaja cuentan con una alta sensibilidad a los cambios radiométricos.

- Correspondencia basada en entidades: En esta técnica, ciertas entidades obtenidas a partir de las imágenes originales (esquinas, intersecciones, segmentos rectos, etc.) se utilizan en la comparación y determinación de entidades homólogas. Tiene como principal ventaja que las entidades que obtiene son bastante estables con respecto a las influencias radiométricas y geométricas.
- Correspondencia basada en relaciones: A diferencia de los métodos anteriores, esta familia de métodos se basa en la detección topológica de estructuras y objetos definidos en bases de datos con descripciones de objetos. Este tipo de técnicas tiene poca difusión en el campo de la Fotogrametría por su especificidad, ya que exige un conocimiento exhaustivo de lo que se va a observar en la escena a restituir.

El método SIFT que introduciremos más adelante podríamos enmarcarlo dentro de la familia de correspondencias basadas en entidades, ya que obtenemos entidades con muy buenos resultados con las variaciones radiométricas y geométricas, mejor incluso que los resultados que habían obtenido otros operadores de la misma familia. Nos permite obtener gran parte de entidades con una densidad bastante homogénea en la imagen en la mayoría de situaciones, y con un tiempo de cómputo más razonable que los métodos basados en intensidades.

El mayor reto de las aplicaciones de Fotogrametría digital es conseguir un grado de automatización mayor con un tiempo de cómputo razonable, y es aquí donde juega un papel importante la Visión artificial, cuyo grado de automatización alcanzado es ya alto.

4. GEOMETRÍA EPIPOLAR CON CÁMARAS NO CALIBRADAS

La mayor ventaja de las técnicas de Visión artificial respecto a las de Fotogrametría, reside en el desarrollo de la automatización que ha alcanzado. Uno de los aspectos con mayor evolución en Visión artificial en los últimos años ha sido el conocimiento de la Geometría multivista con cá-

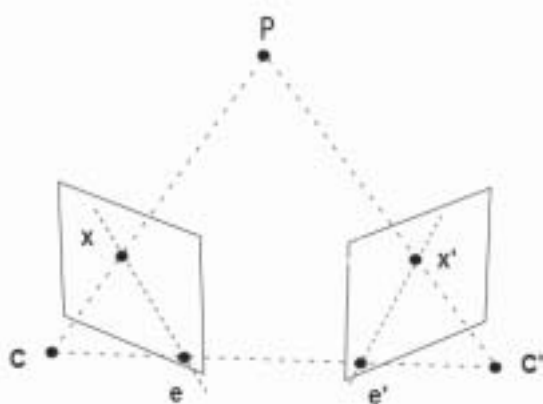


Figura 1. Esquema general de la geometría epipolar

maras no calibradas [5], donde destaca la geometría del par de imágenes también conocida como Geometría epipolar.

Se denomina Geometría epipolar a la relación existente entre puntos correspondientes en pares de imágenes o vistas 2D de una misma escena 3D. En la figura 1 podemos observar los conceptos principales de la geometría epipolar:

La relación entre las imágenes estereoscópicas queda reflejada matemáticamente en lo que denominamos matriz fundamental. Dados dos puntos homólogos (x, x') de dos imágenes estereoscópicas se define la matriz fundamental (F) como la matriz que relaciona estos dos puntos de la siguiente forma:

$$x' * F * x = 0$$

siendo F una matriz 3×3 y x, x' dos puntos de la imagen en coordenadas homogéneas (por tanto vectores de 3 elementos). Esta matriz fundamental encapsula toda la información que relaciona el par de imágenes, independientemente de la escena observada, es decir, incluye los parámetros internos de la cámaras y la posición de una cámara respecto a la otra, sea cual sea la profundidad de la escena.

En base a la matriz fundamental trabajaremos para realizar toda la reconstrucción tridimensional de la escena, es decir, conseguir modelar las cámaras, como hemos dicho, tanto en sus parámetros internos (datos de calibración) como en los externos (posición de una cámara respecto a la otra). Dada una matriz fundamental F y dados los dos epipolos e y e' (que podemos calcular a partir de F) podríamos elegir como matrices de las cámaras [5]:

$$P = [I \mid 0] \quad P' = [[e']x * F \mid e']$$

La reconstrucción 3D que conseguiremos con estas dos matrices de las cámaras se denomina reconstrucción proyectiva, puesto que haría falta encontrar una transformación proyectiva para que podamos considerar la reconstrucción como euclídea o métrica, es decir, una reconstrucción en la que se pueden medir distancias y ángulos tal y como lo haríamos en la escena real.

Las reconstrucciones proyectivas tienen su sentido en muchas de las aplicaciones de la Visión Artificial, entre otras por ejemplo la navegación de robots en diferentes entornos. Sin embargo en el caso de la Fotogrametría, como hemos dicho necesitamos de reconstrucciones euclídeas y de elevada precisión. El siguiente reto, por consiguiente, será encontrar esa transformación proyectiva que convertirá nuestra reconstrucción proyectiva en euclídea.

En la literatura de Visión Artificial se conoce este proceso como Reconstrucción Estratificada (Stratified Reconstruction [5]), ya que se divide en dos importantes pasos. En primer lugar se busca el paso a una reconstrucción afín, mediante la búsqueda del plano en el infinito, para a continuación dar el siguiente paso y conseguir la reconstrucción métrica

o euclídea. Existen diferentes aproximaciones que pretenden resolver el problema, basándose sobre todo en la información adicional que introduciremos en el modelo.

4.1. Puntos terreno

Es la aproximación al problema más directa la problema, puesto que permite conseguir la reconstrucción euclídea en un solo paso, ya que no es necesario obtener una reconstrucción afín intermedia. Consiste básicamente en el conocimiento de coordenadas de puntos en el terreno (lo que llamaremos puntos terreno).

Dadas dos cámaras, P y P' , obtenidas con una reconstrucción proyectiva, pretendemos obtener la transformación proyectiva H , tal que $P*H$ y $P'*H$ sean las matrices de las cámaras para la reconstrucción euclídea. Para obtener H lo que haremos es plantear un sistema de ecuaciones, explotando la relación que existe entre las coordenadas $3D$ de los puntos terreno y las coordenadas $2D$ en las imágenes de esos puntos terreno. Por cada punto terreno obtendremos 3 ecuaciones linealmente independientes, puesto que la transformación proyectiva H posee 15 grados de libertad, necesitaremos como mínimo 5 puntos para su obtención.

Para llegar a obtener esta H con cierta precisión, aunque puede parecer determinante la exactitud de los puntos terreno, no lo es tanto como la obtención de una matriz fundamental lo más exacta posible, ya que esta matriz fundamental conforma la base de la aproximación a la reconstrucción de la escena. Por supuesto, es importante no contar únicamente con 5 puntos, ya que cuanto mayor sea el número de puntos terreno mayor será también la precisión de la reconstrucción.

4.2. Calibración de las cámaras

Otra forma de conseguir una reconstrucción euclídea es la de intentar modelar en primer lugar las matrices de las cámaras, para posteriormente poder, por triangulación, obtener coordenadas $3D$, que ya serán del terreno. Después de todo, las cámaras no son más que dispositivos que transforman puntos $3D$ en $2D$, si conseguimos un modelo preciso de ellas será más sencillo el paso contrario, es decir, obtener coordenadas $3D$ a partir de las $2D$.

4.3. Búsqueda de paralelismo y ortogonalidad

Cuando la escena con la que trabajamos es de un entorno humano (edificios, carreteras, interiores, etc.) es muy útil para obtener información extra la búsqueda de líneas rectas, más concretamente la relación de paralelismo u ortogonalidad que pudiera existir entre ellas. El conocimiento de líneas paralelas nos facilitará el cálculo del plano en el infinito, con lo que pasaremos a tener una reconstrucción afín, y por último el hecho de conocer líneas ortogonales nos permite dar un paso más y obtener la reconstrucción euclídea o métrica. Para entenderlo de forma intuitiva,

cuando nos movemos en el espacio proyectivo no existen relaciones de paralelismo entre líneas rectas, ni tampoco podemos medir ángulos que sí conocemos en la realidad. En el momento de pasar a la reconstrucción afín recuperamos la capacidad de conocer que líneas son paralelas en la escena, y del mismo modo cuando pasemos a la reconstrucción euclídea podremos medir ángulos tal y como los conocíamos en la escena sobre la que trabajamos.

Este tipo de aproximación tiene bastantes apariciones en la literatura relativa a la Visión Artificial, en estos casos se tratan las líneas rectas de la escena como medio de obtención de información geométrica[3].

4.4. Método de trabajo general en Visión artificial

Como vemos, la metodología de trabajo en Visión artificial es diferente a la utilizada en el campo de la Fotogrametría. Cuando en Visión artificial calculamos la matriz fundamental basándonos en correspondencias entre las imágenes, nos olvidamos tanto de los parámetros internos de las cámaras utilizadas, como de la forma en que éstas están orientadas a la una respecto a la otra y por supuesto respecto a la escena. Es después cuando comenzamos a refinar este primer modelo con información adicional (puntos terreno, datos de las cámaras, etc.).

5. SIFT

Como parece claro, la precisión del cálculo de la matriz fundamental será uno de los factores más determinantes en la consecución de reconstrucciones cercanas a la realidad, que tal y como comentamos en la introducción, es una de los más importantes retos de aplicar este tipo de metodologías en el campo de la Fotogrametría. Es aquí donde juegan un papel importante las técnicas de emparejamiento de imágenes que utilizemos. En concreto vamos hablar de una familia de métodos [8] surgidos en los últimos años y que tiene al método SIFT como su más difundido exponente.

SIFT "Scale Invariant Feature Transform" es uno de los métodos que han surgido en los últimos años en el campo de la Visión Artificial, y que tienen como característica común la posibilidad de, partiendo de una imagen digital, obtener un gran número de "puntos clave" (en inglés keypoints) que cubran toda la imagen con un rango completo de escalas y localizaciones.

A priori, lo que aportan este tipo de métodos puede parecer muy similar a lo que se conseguía con métodos de detección de bordes o esquinas (por ejemplo Método de Harris [4]). La más importante novedad surge de las propiedades que aportan estos "puntos claves", principalmente que tienen un descriptor invariante a la escala y la rotación de la imagen y proveen por tanto emparejamientos robustos a través de un sustancial rango de distorsiones (de tipo afín), cambios en el punto de vista $3D$ (rotación de las imágenes), aparición de posible ruido e incluso algunos cambios en la iluminación. Los puntos clave por tanto poseen

una gran singularidad, lo cual hace que su emparejamiento con una base de datos de puntos clave (por ejemplo los puntos clave de la otra imagen estereoscópica), tenga una alta probabilidad de acierto.

En un principio este tipo de métodos fue ideado para el reconocimiento de objetos y patrones, sin embargo su gran versatilidad y los buenos resultados obtenidos han provocado que comience a utilizarse en el emparejamiento de imágenes estereoscópicas. De esta forma, los emparejamientos entre estos "puntos clave" serán los que utilicemos como correspondencias o puntos homólogos entre las dos imágenes y que serán la base en el cálculo de la geometría epipolar.

6. CONCLUSIONES

Como hemos visto el método empleado en Fotogrametría es un método claro y conciso, y desde el punto de vista de la precisión no hay nada que objetarle, puesto que son de sobra conocidos los resultados de su empleo en la generación de cartografía. Su mayor desventaja proviene del intento de automatizar el proceso fotogramétrico, con vistas a reducir la cantidad de trabajo manual necesario en el proceso de restitución, y provocar así la reducción del coste de su uso.

Por otro lado, las técnicas de Visión artificial intentan conseguir metas parecidas a las de la Fotogrametría y su grado de automatización es mucho mayor. Es por esto por lo que gana interés su uso para la aplicación en trabajos fotogramétricos. El uso conjunto de la geometría epipolar de cámaras sin calibrar y de emparejamiento de imágenes mediante métodos como SIFT nos permite obtener reconstrucciones **3D** con aceptable precisión, que nos valdrán como base para la generación de dife-

rentes productos cartográficos: modelos digitales del terreno, ortofotos, etc.

REFERENCIAS:

- [1] Buill F., Núñez M. A., Rodríguez J. J. *Fotogrametría analítica*. Edicions UPC, 2003
- [2] Faugeras O., Luong Q. T., *The geometry of multiple images*. The MIT Press, 2001.
- [3] Guerrero J. J., Sagüés C., Robust line matching and estimate of homographies simultaneously. *IbPRIA, Pattern Recognition and Image Analysis, LNCS 2652*, pp 297-307, 2003.
- [4] Harris C. G., Stephens M. J., *A combined corner and edge detector*. Proceedings of the fourth Alvey vision conference, Manchester, pp 147-151, 1988.
- [5] Hartley R., Zisserman A., *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Second Edition. Cambridge University Press, 2004.
- [6] Lerma J. L. *Fotogrametría moderna: analítica y digital*. Editorial Univ. Politécnica de Valencia, 2002.
- [7] Lowe D. G. *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*. International Journals of Computer Vision vol 2. No. 60, pp 91-110, 2004.
- [8] Mikolajczyk K., Schmid C., *A performance evaluation of local descriptors*. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* Vol 27. No. 10 October, 2005.
- [9] Schenk T. *Digital Photogrammetry*, Terra Science, 1999. ■

Georreferenciación y cartografía en los yacimientos arqueológicos

Teresa Fernández Pareja

DPTO. DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y CARTOGRAFÍA. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

Resumen

La integración de las Ciencias Cartográficas es fundamental para la obtención de una documentación completa en un yacimiento arqueológico. Obtener una óptima representación del yacimiento permite hacer una correcta lectura de la representación, lo que facilitará la planificación de posteriores trabajos arqueológicos.

Las investigaciones que se realizan se dirigen en distintas líneas de actuación que van desde la captura de datos hasta la obtención de la cartografía de los yacimientos a muy diferentes escalas.

En los trabajos que se ejecutan se han aplicado las técnicas más modernas, desde la toma de datos hasta la edición cartográfica. En este sentido, cabe destacar la aplicación de técnicas de posicionamiento global mediante la observación a satélites artificiales, así como la utilización de barredores láser que permiten la captura de un gran volumen de información geométrica en tiempo real.

Palabras clave: Cartografía, Documentación geométrica, Georreferenciación Proceso de datos.

Abstract

Integrating Cartographic Techniques is very essential to obtain a comprehensive set of data in an Archaeological site. The more detailed data representation is better to be interpreted, thus optimising the planning of subsequent archaeological tasks.

The project researches on different fields, capturing data to obtain the cartography of the sites at a wide range of scales.

Cutting-edge techniques have been applied when performing the different tasks, from data taking to cartographic edition, using global positioning techniques (GPS) based on artificial satellites observation and laser scanner techniques that will allow to capture a vast amount of information and to be collected in real time.

Keyword: Cartography, Data processing, Geometric data, Georeferentation.

I. INTRODUCCION

Con esta comunicación se pretende transmitir una idea muy concreta: la importancia que tiene la integración de las Ciencias Cartográficas en Arqueología con el fin de obtener una documentación geométrica completa y de calidad en el yacimiento, ya que definir la morfología del terreno y poder identificar restos arqueológicos enterrados son aspectos fundamentales para llegar a una correcta interpretación de la zona de interés arqueológico. En este sentido se consideran las Ciencias Cartográficas en su sentido más amplio, es decir, implicando a la Geodesia, la Topografía, la Cartografía, la Fotogrametría y la Teledetección, así como otras ciencias que complementan a las Ciencias Cartográficas, como las Matemáticas.

Las posibilidades que ofrece esta integración son numerosas y quedan de manifiesto en los siguientes epígrafes.

2. OBJETIVOS DE LA REPRESENTACION GEOMETRICA DE UN YACIMIENTO

Cuando la representación de una zona de la superficie terrestre se realiza sobre un yacimiento arqueológico, en principio, los objetivos que se persiguen son análogos a los que se pretende conseguir cuando la representación refiere a cualquier otra zona, es decir, georreferenciar y representar su orografía así como los detalles planimétricos, bien sean naturales o artificiales, que definen los elementos que interesa representar.

Ahora bien, en la mayoría de los yacimientos existen detalles orográficos y planimétricos de pequeñas dimensiones que son fundamentales para efectuar una correcta interpretación sobre la representación obtenida. Sin embargo, teniendo en cuenta la escala a la que se realiza el levantamiento, muchos de los detalles, desde un punto de vista estrictamente



Figura 1. al-Madam, Sector I. Sharjah (E.A.U.)

topográfico y cartográfico, podrían omitirse. Este es un punto clave en la representación de un yacimiento arqueológico, y por lo tanto habrá que tenerlo presente desde la fase inicial de los trabajos. En ningún caso deberán omitirse, por condiciones de dimensión, detalles que son esenciales para discernir un asentamiento humano.

En la Figura 1 se pueden apreciar huellas de pies muy pequeños, de niños de entre siete y diez años, que deben quedar reflejadas en la representación. En la Figura 2 aparecen pequeñas dunas cuya representación es interesante obtenerla a una escala grande puesto que pueden dar indicios de cual sería la dirección del falaj excavado con el fin de encontrar sus bocas.

Se considera por tanto, que obtener una óptima representación del yacimiento constituye una ayuda fundamental para los arqueólogos, ya que la documentación geométrica que los profesionales de las Ciencias Cartográficas logran producir permite a los arqueólogos hacer una correcta lectura de la representación, lo que les facilitará la planificación de los posteriores trabajos arqueológicos de excavación, restauración y conservación del yacimiento y sus monumentos.

3. GEORREFERENCIACIÓN

La captura de datos se planifica teniendo en cuenta que las escalas finales serán grandes y muy grandes. La mayoría de los trabajos topográficos

y cartográficos en los yacimientos es necesario georreferenciarlos, es decir, localizarlos espacialmente en un sistema de coordenadas. El más idóneo sería el sistema oficial del país en el que se ubique el yacimiento con el fin de incorporar su representación a la cartografía oficial del país correspondiente. Para ello se debe partir de las coordenadas conocidas de los vértices o puntos geodésicos y transportar dichas coordenadas, mediante la aplicación de métodos geodésicos y topográficos, a la zona de actuación.

En los últimos años ha adquirido gran importancia la toma de datos mediante técnicas GPS. Esta es la técnica que se viene utilizando en los proyectos relacionados con la arqueología que lo requieren, siempre y cuando las autoridades del país en el que se desarrollan los trabajos, permitan la entrada de los equipos y su utilización en el país. Más recientemente se está introduciendo la captura de datos con barreadores láser.

4. CAPTURA DE DATOS

La ventaja fundamental del GPS respecto a otras técnicas clásicas de captura de datos es, además de la precisión, la no exigencia de visibilidad entre los puntos de interés con lo que se consigue, entre otras cosas, que sea un método mucho más rápido con respecto a otros métodos utilizados.

La metodología GPS que se aplica consta de las siguientes fases:

- Establecimiento y observación de una Red Básica que constará de puntos materializados de forma permanente sobre el terreno cubriendo el área de interés y enlazada con vértices geodésicos, cuyo fin es dotar de coordenadas en el sistema elegido a los puntos que conforman la red y en los que se apoyarán los posteriores trabajos de toma de datos con el fin de realizar la cartografía en la zona de actuación. El método utilizado para la observación es el denominado estático diferencial con medida de fase.
- La siguiente fase consiste en la toma de puntos de interés con el fin de realizar la cartografía de la zona. El método utilizado en esta etapa es el denominado RTK (Tiempo Real Cinemático).



Figura 2. al-Madam, Sector II. Sharjah (E.A.U.)

- Las precisiones de las coordenadas obtenidas mediante las técnicas anteriormente mencionadas están en el rango de los 2 cm y, por lo tanto, están dentro del rango requerido.

De esta forma se dispone de un registro digital de toda la información necesaria para obtener la documentación gráfica en un sistema de referencia global. En la Figura 3 se muestra una base de referencia fija necesaria en el proceso de adquisición de datos.

Actualmente se está empezando a aplicar el sistema de medición en tiempo real con un barredor láser; también denominado este sistema como HDS (High Definition Survey). Se trata de una nueva y potente herramienta que ofrece enormes ventajas en diferentes tipos de proyectos, tanto de ingeniería y arquitectura como en documentación del patrimonio cultural.

La información que proporciona el barredor láser y su posterior tratamiento permite representar la nube de puntos de forma tradicional 2D o 3D, georreferenciar la nube de puntos capturada, presentar modelos digitales de elevaciones, obtener ficheros de coordenadas ASCII, realizar vídeos, obtener ortomágenes, perfiles longitudinales y transversales, etc.

Esta nueva técnica de medición, que se desarrolló inicialmente para aplicaciones industriales, comienza a utilizarse, cada vez con mayor frecuencia, en trabajos de restauración, reconstrucción y preservación de monumentos históricos.



Figura 3. Estación fija de referencia. al-Madam, Sharjah (E.A.U.)

En el proceso de captura de datos en tiempo real se comienza fijando los límites de cobertura del objeto y el intervalo de barrido. El instrumento automáticamente y con ayuda de motores orienta el rayo láser y registra los parámetros para cada punto del objeto en los límites que se han fijado. Dependiendo del modelo de barredor que se utilice, se puede realizar la captura de datos con distancias al objeto que varían entre 2 y 500 m aproximadamente y campos de visión de hasta 310° en vertical y 360° en horizontal. La velocidad de barrido puede variar entre 1.000 y 500.000 puntos por segundo.

5. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Como ya se ha indicado, en una primera fase se realiza una georreferenciación con el fin de obtener todos los datos en el sistema de referencia que interese en cada proyecto.

Los cálculos y la edición de la documentación geométrica se realizan con aplicación de software específico que permitirá obtener como resultado una documentación gráfica del yacimiento con un alto nivel de calidad. Estos resultados se integran en un SIG que permite divulgar toda la documentación arqueológica.

En el caso de realizar la captura de puntos mediante el sistema HDS, una vez fundidos los distintos barridos que se han efectuado, es imprescindible proceder a una depuración de los datos capturados sin olvidar realizar un minucioso análisis de los mismos con el fin de detectar posibles zonas de sombra o espacios, que debido a su irregularidad, no fueron registrados.

En la Figura 4 se puede ver el equipo HDS en la fase de preparación previa a la captura de datos. En la Figura 5 se muestra la nube de puntos capturada antes de proceder a la depuración de datos.



Figura 4. Equipo HDS. Tiermes, Soria



Figura 5. Nube de puntos capturada con el equipo HDS. Vinuesa, Soria

6. DOCUMENTACION GEOMETRICA DE DIVERSOS YACIMIENTOS Y MONUMENTOS

A continuación se relacionan los documentos obtenidos en diversos proyectos.

Documentación geométrica obtenida en la II (1997) y III (2000) Campaña en el Proyecto Tell Mahuz, Iraq en colaboración con la Misión arqueológica española en Iraq:

- Red básica que cubre la zona del Tell así como la zona circundante de interés arqueológico.
- Cartografía a escala 1/500 de Tell Mahuz.
- Cartografía a escala 1/2.000 y equidistancia de curvas de nivel de 1 m de una superficie aproximada de 35 Ha.

Documentación geométrica obtenida en las Campañas de los años 1996, 2004 y 2005 en el Proyecto al Madam, Sharjah, E.A.U. en colaboración con la Misión arqueológica española en E.A.U.:

- Red básica que cubre las diferentes zonas de excavación.
- Cartografía a escala 1/100 de aproximadamente 2 Ha en el sector de Tuqueibah y representación a escala 1/20 de una de las casas del mismo sector.
- Cartografía a escala 1/250 de aproximadamente 60 Ha del sector 2 de al Madam.
- Modelo digital de elevaciones del sector 2 en el área de al Madam.
- Gravimetría de precisión en la zona próxima al tramo de falaj excavado.

Documentación geométrica en el Proyecto de U.E Life Tiermes-Carcena, Soria, España:

- Implantación de una Red Básica que cubre la superficie de interés arqueológico.
- Obtención de ortofotos a escala 1/5.000 del Yacimiento Arqueológico.
- Cartografía a escala 1/1.000 del Yacimiento.
- Modelo digital de elevaciones del graderío romano de Tiermes.
- Ortoimágenes, documentos cartográficos a escala 1/50 y perfiles del graderío romano.
- Animación 3D del graderío romano.

Documentación geométrica en la Campaña 2006 en el Proyecto Documentación y análisis de técnicas constructivas y tipología arquitectónica en el periodo de transición Bizantino-Omeya en Jordania en colaboración con la Misión arqueológica española en Jordania:

- Obtención de alzados de monumentos a diferentes escalas, 1/5, 1/10, 1/20, a partir de la ortorrectificación de tomas fotográficas en Qsar Bshir y Um al-Jimal.
- Obtención de plantas de los edificios.

Documentación geométrica en el Proyecto “Salvemos el puente de Vinuesa” Soria, España:

- Obtención de ortoimágenes, secciones, vídeo, planos de escala grande y clasificación e inventario de sillares y paramentos.

7. CONCLUSIÓN

En las diferentes etapas de los trabajos que se llevan a cabo hasta conseguir la documentación requerida, la información que se procesa es de tal volumen, que se requiere la utilización de ordenadores con una gran capacidad de memoria RAM, además de la utilización de software muy potente.

Actualmente se dispone de herramientas para la adquisición de datos y su procesamiento tan potentes, que el volumen de información que es posible manejar es enormemente grande. Este hecho, que en principio proporciona grandes ventajas en cuanto a la rapidez de adquisición de datos y por tanto disminución del tiempo de trabajo de campo manteniendo e incluso mejorando la exactitud del producto final, frente a los resultados obtenidos con técnicas clásicas, implica que para conseguir óptimos resultados las diferentes fases de los trabajos deben ser realizadas por profesionales de las Ciencias Cartográficas.

Por otro lado, los barredores láser son instrumentos que se presentan como "cajas negras". Lo que significa que, para conseguir resultados satisfactorios, deberían detectarse las fuentes de error que aparecen en el proceso de medida, cuantificar la contribución de cada una de ellas y desarrollar los procesos de calibración y ajuste apropiados para reducir o eliminar esos errores. Por todo ello, sería necesario que los trabajos sean supervisados por profesionales que dominan el campo de la metrología geodésica.

En definitiva, se podría concluir que se dispone en la actualidad de una tecnología que permite, de forma rápida y en tiempo real, la adquisición de datos, su tratamiento adecuado y la obtención de información geométrica fundamental en todo yacimiento arqueológico, además de tener la posibilidad de disponer de forma casi inmediata del estado de las distintas fases excavación.

REFERENCIAS

- [1] Abdullah, S. A, Alsaman. *Effects of Electric Power lines on the Accuracy of GPS Positioning*. Survey Review. N° 279, Vol. 36, pp 54-61. January 2001.
- [2] Clark, J. Robson, S. *Accuracy of measurements made with a Cyrax 2500 Laser Scanner against Surfaces of known colour*. Survey Review. N° 294, Vol. 37, pp 626-638. October 2004.
- [3] Farjas, M. Fernández Pareja, T. García Lázaro, F. Llanos Viñas, A. *Topografía y Cartografía arqueológica aplicada a reconstrucciones históricas en el Emirato de Sharjah (U.A.E)*. Revista sobre Oriente Próximo y Egipto en la antigüedad. Volumen I. Págs.288-295. Madrid, 2001.
- [4] Reshetyuk, Y. *Calibration of terrestrial laser scanners Callidus 1.1, Leica HDS 3000 and Leica HDS 2500*. Survey Review. N° 302, Vol. 38, pp 703-713. October 2006.
- [5] Fernández Pareja, T. *La Cartografía es básica en la documentación de un yacimiento arqueológico*. Lección de Ciencia. Campus. El Mundo Universidad. El Mundo. 1 de Febrero de 2006.
- [6] Fernández Pareja, T. *La Topografía, la Geodesia y la Cartografía, complementos indispensables para la Arqueología*. Notas de prensa de la Universidad Politécnica de Madrid. 13 de Enero de 2006.
- [7] Fernández Pareja, T. *Levantamientos Topográficos en la III campaña de excavaciones en Tell Mahuz, Iraq. (I)*. Revista de Oriente Próximo y Egipto en la antigüedad. Vol. II. Págs. 599-603. Madrid, 1999.
- [8] Reshetyuk, Y. Homeruz, M. Yalcin, A. *Determination of the optimal diameter for spherical targets used in 3D laser scanning*. Survey Review. N° 297, Vol. 38, pp 243-253. July 2005. ■

Teoría de la Evidencia aplicada a los SIG

M. Concepción Alonso^a, Agripina Sanz^b y José Antonio Malpica^a

^a DPTO. DE MATEMÁTICAS ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN GEODESIA Y CARTOGRAFÍA.
UNIVERSIDAD DE ALCALÁ DE HENARES.

^b DPTO. DE MATEMÁTICAS ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

Resumen

En esta ponencia se ofrece una introducción a una de las teorías que se derivan de los conjuntos borrosos, la Teoría de la Evidencia, y la aplicación que está teniendo a los Sistemas de Información Geográfica.

Palabras clave: Dempster-Shafer, Fusión de Datos, Teoría de la Evidencia, SIG.

Abstract

In this paper is presented a introduction to the theories coming from fuzzy sets, the theory of Evidence, and its applications to the Geographic Information Systems.

Keyword: Data Fusion, Dempster-Shafer, Evidence Theory, GIS.

I. SIGNIFICADO DE INCERTIDUMBRE

Es difícil eludir la incertidumbre inherente a los fenómenos naturales cuando se construyen modelos computacionales para estudiar y simular su comportamiento. En la actualidad se trata de formalizar en lenguaje matemático el concepto de incertidumbre. Los investigadores están empezando a estudiar problemas de enorme complejidad que se encuentran más allá de los límites de la matemática clásica. Este tipo de problemas comprenden problemas no lineales con gran número de variables. Generalmente se trabaja con funciones que no son derivables ni continuas; son los problemas típicos que surgen en las ciencias sociales, ciencias medioambientales, epidemiología, etc. En ciertos casos estos problemas contienen una componente geográfica, y por tanto son propicios a que se analicen con un Sistema de Información Geográfica (SIG). El SIG provee el armazón computacional que necesita de un formalismo matemático. La introducción de la incertidumbre, inherente a los problemas propios de las ciencias medioambientales, sociales, etc. como se dijo más arriba, exige un esqueleto formal diferente al de las matemáticas clásicas. Hasta ahora se ha empleado la teoría de probabilidad y la estadística, porque parecen las herramientas casi exclusivas, de hecho son estas herramientas las que contribuyen a dotarlas de un carácter científico. ¿Por qué no aplicar teorías más generales? teorías donde las probabilidades sean un caso particular.

Las críticas que inicialmente los puristas dirigieron a las nuevas teorías de conjuntos borrosos, redes neuronales, algoritmos genéticos y teoría de

la evidencia, según ellos por su falta de solidez y asentamiento, han ido siendo acalladas poco a poco por los ingenieros que mostraban los éxitos de las aplicaciones. Se están resolviendo multitud de problemas, aunque sea parcialmente, que de otra manera serían intratables con la matemática convencional, desde que una lavadora saque la ropa más limpia hasta que un coche aparque de manera automática sin intervención humana. Consecuencia de esos éxitos en muchos campos ha sido la aplicación que se está realizando en los SIG. Aunque se esté realizando a nivel académico ya aparecen los primeros programas como módulos para la ayuda a la toma de decisiones.

Sería prolijo intentar ver las aplicaciones en SIG de todas estas nuevas teorías, en esta ponencia nos vamos a limitar en exclusiva a una de ellas, la Teoría de la Evidencia. Se debe ser consciente también de las limitaciones de este método, y otros heurísticos, y no presentarlos como la panacea que resolverá todo problema, las limitaciones vendrán del aspecto subjetivo en la entrada de datos como se verá más adelante. En este artículo vamos a ver las posibilidades del método, con un análisis de las aplicaciones que ya se han realizado en la práctica.

La formalización matemática se está produciendo en la actualidad, hay congresos y revistas científicas que se están dedicando en exclusiva a la modelización de la incertidumbre. [10] dice que se está produciendo un cambio de actitud en lo referente al tratamiento de la incertidumbre que tiene todas las características de un cambio de paradigma en ciencias en el sentido definido por [14].

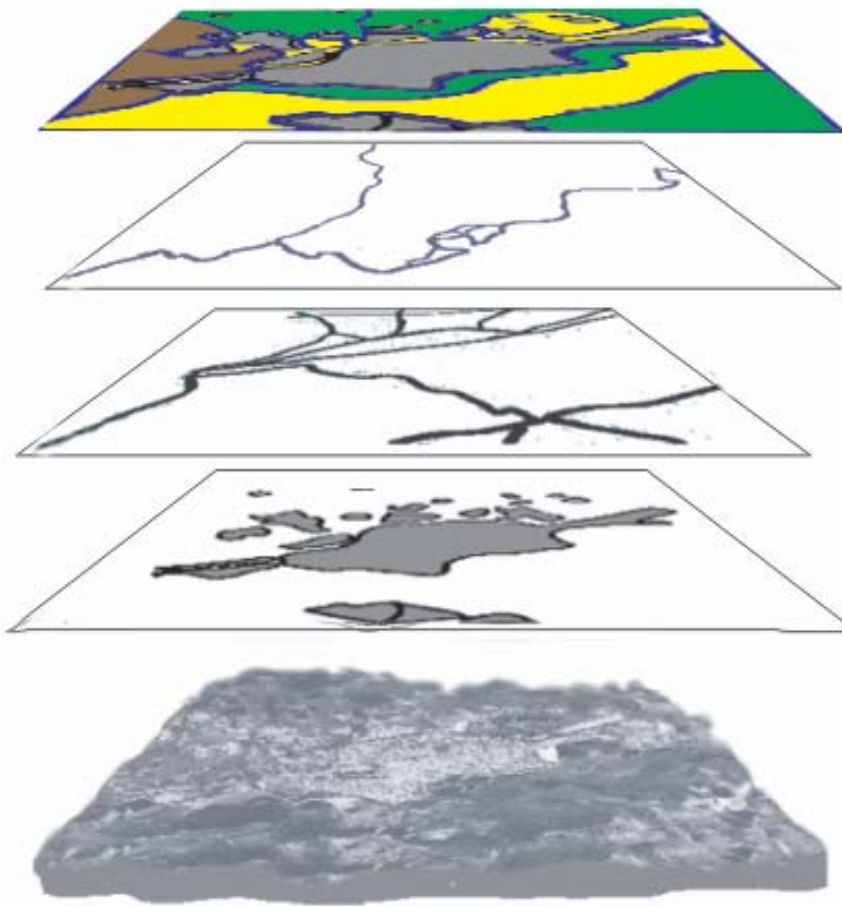


Figura 1. Capas en un Sistema de Información Geográfica

Los conceptos de incertidumbre e información están muy relacionados. Se puede decir que la incertidumbre es consecuencia de algún tipo de deficiencia informativa. La información (dependiendo del problema concreto que se trate) puede ser incompleta, imprecisa, fragmentaria, no totalmente fiable, vaga, contradictoria, o deficiente de alguna otra forma. En general estos tipos diferentes de deficiencias informativas generan tipos distintos de incertidumbres. La formalización de la incertidumbre se inicia en los años ochenta con los trabajos [8], [9] y [18]. En los años noventa se le da el nombre de teoría generalizada de la información, que se puede ver en detalle en [12].

2. CONJUNTOS BORROSOS Y MEDIDAS BORROSAS

Zadeh [19] es el primero que intenta formalizar la incertidumbre. Desarrolla la teoría de los conjuntos borrosos, debido a que la matemática convencional presentaba modelos muy rígidos para este nuevo concepto de incertidumbre que quería modelizar.

La teoría de conjuntos borrosos es una generalización de la teoría de los conjuntos clásicos, en vez de decir que un elemento pertenece o no a un conjunto se dice que un elemento tiene un grado de pertenencia a ese conjunto. Ese grado de pertenencia de un elemento x a un conjunto

borroso A viene dado de la manera siguiente:

$$A : \Omega \rightarrow [0,1]$$

donde $A(x)$ denota el grado de pertenencia de x a A para cada $x \in \Omega$, siendo Ω , el conjunto universal de la teoría clásica. El desarrollo de la teoría borrosa y su notación son parecidas al de la teoría clásica de conjuntos.

Es conveniente distinguir entre teoría de conjuntos borrosos y medidas borrosas. Dado el conjunto universal Ω , y una familia no vacía de subconjuntos C de Ω , (generalmente con una estructura algebraica adecuada) una medida borrosa g en (Ω, C) es una función

$$g : C \rightarrow [0,1]$$

que verifica los siguientes requisitos:

1. - Condición de frontera: $g(\emptyset) = 0$ y $g(\Omega) = 1$
2. - $A \subseteq B$ entonces $g(A) \leq g(B)$

No vamos aquí a tratar más sobre medidas borrosas, para más detalles véase [11]. De estas medidas surgen tres tipos de teorías: teoría de la evidencia, teoría de la probabilidad y teoría de la posibilidad. Nos centraremos solo en la primera.

3. TEORÍA DE LA EVIDENCIA (TE)

Es un caso particular de medida borrosa, y a su vez la teoría de la probabilidad resulta como un caso particular de ella.

También se conoce por el nombre de teoría de Dempster-Shafer. Ya que es desarrollada por estos autores, véase [7] y [16]. La TE intenta solucionar las dificultades que surgen cuando se trata de fijar las probabilidades a priori que exige la aplicación del teorema de Bayes.

Dado un conjunto universal Ω (que también se llama marco de discernimiento en TE) finito, una medida borrosa como la definida más arriba es una medida de credibilidad (Bel), que es una función de la forma:

$$Bel : \wp(\Omega) \rightarrow [0,1]$$

siendo $\wp(\Omega)$ el conjunto de subconjuntos de Ω . La función Bel debe cumplir:

$$Bel(\emptyset) = 0, \quad Bel(\Omega) = 1$$

$$Bel(A_1 \cup \dots \cup A_n)$$

\geq

$$\sum_j Bel(A_j) - \sum_{j < k} Bel(A_j \cap A_k) + \dots + (-1)^{n+1} Bel(A_1 \cap \dots \cap A_n)$$

La segunda expresión también se conoce como condición de *superaditividad* pues

$$\text{si } A \cap B = \emptyset, \text{Bel}(A \cup B) \geq \text{Bel}(A) + \text{Bel}(B)$$

Es inmediato deducir que:

$$\text{Bel}(A) + \text{Bel}(\bar{A}) \leq 1$$

Para cualquier conjunto $A \in \wp(U)$, $\text{Bel}(A)$ se interpreta como el grado de credibilidad (basado en la evidencia disponible) de que un elemento dado de Ω pertenezca al conjunto A o a cualquier subconjunto cuya intersección con A sea no vacía. Por tanto,

$$P(A) \geq \text{Bel}(A), \forall A \in \wp(\Omega)$$

Por otro lado, asociada a toda medida de credibilidad hay una medida de *plausibilidad*, PI (que también es una medida borrosa), definida por la ecuación:

$$PI(A) = 1 - \text{Bel}(\bar{A})$$

La **TE** viene desarrollada en un libro relativamente reciente [13].

Las medidas de credibilidad y plausibilidad se pueden caracterizar por la función siguiente:

$$\mu : \wp(\Omega) \rightarrow [0, 1]$$

tal que

$$\mu(\emptyset) = 0$$

y

$$\sum_{A \in \wp(U)} \mu(A) = 1$$

Esta función se denomina asignación de probabilidad básica. Dada una asignación básica μ , los valores de credibilidad y plausibilidad se determinan de forma única:

$$\text{Bel}(A) = \sum_{B | (B \subseteq A)} \mu(B)$$

$$PI(A) = \sum_{B | (A \cap B \neq \emptyset)} \mu(B)$$

Podemos decir que los valores de evidencia vienen dados por una cota superior denominada plausibilidad (sería una medida de certeza optimista) y una cota inferior denominada creencia (medida de certeza pesimista).

Dada una asignación de probabilidad básica, cada conjunto $A \in \wp(\Omega)$ para el que $\mu(A) \neq 0$ se llama elemento focal. El conjunto (F, μ) donde F denota el conjunto de todos los elementos focales inducido por μ se llama cuerpo de evidencia.

La ignorancia total se expresa en **TE** por $\mu(\Omega) = 1$ $\mu(A) = 0$, $\forall A \neq \Omega$; mientras que la certeza total vendría dada por $\mu(\{x\}) = 1$, para un elemento particular x y $\mu(A) = 0 \forall A \neq \{x\}$.

Cuando se tienen varias fuentes la medida de probabilidad básica para cada fuente se nota por μ_i donde $i = 1, \dots, n$ son las fuentes. La **TE** permite fundir la información proveniente de la fuente i con la que proviene de la fuente j mediante la suma ortogonal que se define por la siguiente ecuación

$$(\mu_i \oplus \mu_j)(A) = \frac{\sum_{B \cap C = A} \mu_i(B) \mu_j(C)}{\sum_{B \cap C = \emptyset} \mu_i(B) \mu_j(C)}$$

$A, B, C \in \Omega$

Para entender la fórmula téngase en cuenta que $B \cap C$, si $C = \theta$, donde θ es la incertidumbre, la intersección es B . La combinación $\mu_i \oplus \mu_j$, para un conjunto o elemento A del marco de discernimiento viene dado por la suma de los productos de las medidas de los conjuntos B y C cuyas intersecciones coincidan con el conjunto A .

Ya que la regla de combinación de evidencias de Dempster es asociativa se pueden mezclar las evidencias de dos en dos, sin importar el orden.

Ejemplo:

Sean dos fuentes con tres clases más la incertidumbre y supongamos que vienen dadas por los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \mu_1(\omega_1) &= 0.3, \mu_1(\omega_2) = 0.2, \mu_1(\omega_3) = 0.1, \mu_1(\theta) = 0.4 \\ \mu_2(\omega_1) &= 0.2, \mu_2(\omega_2) = 0.3, \mu_2(\omega_3) = 0.3, \mu_2(\theta) = 0.2 \\ \mu_1 \oplus \mu_2(\omega_1) &= (0.3 \cdot 0.2 + 0.3 \cdot 0.2 + 0.2 \cdot 0.4) / k = 0.2/k \end{aligned}$$

Se ha obtenido aplicando la fórmula de la suma ortogonal, k es un factor de normalización que se calcula al final.

$$\begin{aligned} \mu_1 \oplus \mu_2(\omega_2) &= (0.2 \cdot 0.3 + 0.2 \cdot 0.2 + 0.3 \cdot 0.4) / k = 0.22/k \\ \mu_1 \oplus \mu_2(\omega_3) &= (0.1 \cdot 0.3 + 0.1 \cdot 0.2 + 0.3 \cdot 0.4) / k = 0.17/k \\ \mu_1 \oplus \mu_2(\theta) &= 0.4 \cdot 0.2 / k = 0.08/k \\ k &= 0.2 + 0.22 + 0.17 + 0.08 = 0.67 \end{aligned}$$

si se redondea a las centésimas se tiene:

$$\begin{aligned} \mu_1 \oplus \mu_2(\theta_1) &= 0.30, \mu_1 \oplus \mu_2(\theta_2) = 0.33, \\ \mu_1 \oplus \mu_2(\theta_3) &= 0.25 \text{ y } \mu_1 \oplus \mu_2(\theta) = 0.12 \end{aligned}$$

Se observa cómo es la segunda clase la que tiene mayor valor debido a que la segunda fuente tenía menos incertidumbre. También es interesante observar cómo ha disminuido la incertidumbre, esto sucederá

siempre ya que se multiplican números menores que uno. Está de acuerdo con el sentido común ya que a mayor información que aporta al problema menor incertidumbre.

4. APLICACIÓN EN SIG

La teoría matemática de la evidencia no dice cómo se aplica en la práctica; sobre todo no indica cómo se puede obtener la evidencia a partir de los datos. Ésta es la principal dificultad en la aplicación de la TE en la práctica, pues se reduce al ajuste de una gran cantidad de parámetros, por lo tanto la asignación de evidencia a los datos se suele hacer de forma subjetiva, por lo que el resultado va a depender de esa asignación inicial.

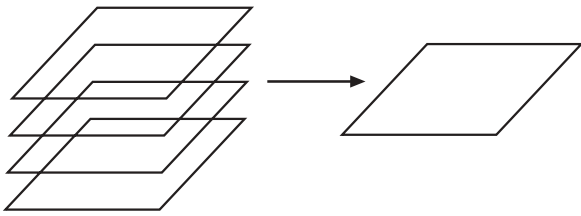


Figura 2. Fusión de de los datos en un SIG

El ajuste de parámetros se realiza por prueba y error; aunque [15] han desarrollado un método para optimizar la entrada de los datos. Estos autores aplican la teoría de la evidencia a una clasificación de suelos helados en Yukon Canada. La profundidad de la capa de hielo tiene repercusión en la temperatura del suelo, riesgos de avalanchas o en el cambio climático, por lo que su estudio es de gran importancia. Los datos de entrada que utilizan en el estudio son datos procedentes de varias fuentes, almacenadas en la base de datos de un SIG: un MDT (de donde obtiene la capa aspecto), una capa de usos del suelo, las profundidades de la capa de hielo las dan con cuatro categorías, asignando la etiqueta cero para la ausencia de hielo y la 3 para las zonas de mayor profundidad; también utilizan una capa de texturas a partir de una imagen SPOT. Utilizan parte del entrenamiento para comprobar la bondad de los parámetros que se dan a TE.

Según los resultados que se presentan el método logra superar, en cuanto a exactitud en la clasificación, a los métodos clásicos como máxima verosimilitud, y no tan clásicos como las redes neuronales artificiales.

Los SIG utilizando TE han servido sobre todo en la exploración de minerales, y han sido tratados en algunos trabajos como los siguientes: [4], [3], [6] y [5]. Utilizando el módulo de Idrisi [17] obtiene mapas de evidencia y plausibilidad en la exploración para la obtención de cobre.

En [2] se aplica un SIG con la TE a la búsqueda de petróleo.

En [1] se hacen estudios de riesgo y vulnerabilidad para la localización óptima del lugar donde instalar puestos de la Cruz Roja en Honduras, intentando paliar las consecuencias de futuros desastres como el sucedido con el huracán Mitch. En el caso de los datos de Honduras, se consideraron sólo dos clases 1.- riesgo ω , y la clase 2.- sin_riesgo $\bar{\omega}$. También se consideró la incertidumbre θ de los datos que se tenían, ω , $\bar{\omega}$ y θ , todos constituyen el marco de discernimiento Ω , o conjunto universal:

$$\Omega = \{ \omega, \bar{\omega}, \theta \}$$

Para cada píxel los valores de evidencia para cada clase (riesgo, no_riesgo e incertidumbre) y para cada una de las capas (vulnerabilidad, deslizamiento, inundaciones y población) se notan por μ_i ($i=1..4$)

$$(\mu_i(\omega), \mu_i(\bar{\omega}), \mu_i(\theta))$$

Con la condición

$$\mu_i(\omega) + \mu_i(\bar{\omega}) + \mu_i(\theta) = 1 \quad \forall i=1..4$$

Con los valores $\mu_i(\omega)$, $\mu_i(\bar{\omega})$ y $\mu_i(\theta)$ para las cuatro capas, $i=1..4$, se aplica la regla de combinación de evidencias de la suma ortogonal y obtienen una serie de mapas para la ayuda a la toma de decisiones.

REFERENCIAS

- [1] Ahamdaneh Zarco I., Alonso Rodríguez C., Bosque Sendra J., Malpica Velasco J. A., Martín-Loeches M., Pérez Asensio E. y Temiño Vela J. 2003. Un procedimiento para elaborar mapas de riesgos naturales aplicado a Honduras. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 23, 55-73.
- [2] Aminzadeh F. 1994 Application of fuzzy expert systems in integrated oil exploration. *Comput. Electr. Eng.* 20, 89-97.
- [3] An P. 1992. *Spatial reasoning techniques and integration of geophysical and geological information for resource exploration*, Ph D. Dissertation. The University of Manitoba, Manitoba.
- [4] An P., W. M. Moon y A. Rencz. 1991. Application of fuzzy set theory for the integration of geological, geophysical and remote sensing data. *Can J. Explor. Geophys.* 27, 1-11.
- [5] Chung C. F. y A. G. Fabbri. 1993. The representation of geoscience information for data integration. *Nonrenew. Resour.* 2, 122-139.
- [6] Chung, C. F. y W. M. Moon. 1991. Combination rules of spatial geoscience data for mineral exploration. *Geoinformatics* 2, 159-169.
- [7] Dempster, A. P. 1968. A Generalization of Bayesian Inference. *J. Royal Statistical Soc.* 30, 205-247.
- [8] Higashi M. and G. J. Klir 1982 "On measures of fuzziness and fuzzy complements." *Intern. J. Of General Systems*, 8(3), pp. 169-180.

- [9] Höhle U. 1982 "Entropy with respect to plausibility measures." In: Proc. 12th IEEE Intern. Symp. *On Multiple-Valued Logic*, pp. 167-169.
- [10] Klir G. J. 1995 "From classical sets to fuzzy sets: A grand paradigm shift." In: Wang P. P. ed., *Advances in Fuzzy Theory and Technology*. Duke University, Durham pp. 5-30.
- [11] Klir G. J. y M. J. Wierman. 1999. *Uncertainty-Based Information*. Physica-Verlag. Springer-Verlag. Berlin.
- [12] Klir, G. J. 1991 Generalized information theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 40(1) pp. 127-142.
- [13] Kohlas J. and P. A. Monney 1995. *A Mathematical Theory of Hints: An Approach to the Dempster-Shafer Theory of Evidence*. Springer-Verlag. Berlin.
- [14] Kuhn T. S. 1962 "The Structure of Scientific Revolutions." *Univ. Of Chicago Press*, Chicago.
- [15] Peddle D. R. and D. T. Ferguson. 2002 "Optimisation of multisource data analysis: an example using evidential reasoning for GIS data classification".
- [16] Shafer G. A. 1976. *Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- [17] Tangestani M. H. y F. Moore. 2002. *The use of Dempster-Shafer model and GIS in integration of geoscientific data for porphyry copper potential mapping, north of Shahr-e-Babak, Iran*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 4 (2002) 65-74.
- [18] Yager R. R. 1983 "Entropy and specificity in a mathematical theory of evidence." *Intern. J. Of General Systems* 9(4), pp. 249-260.
- [19] Zadeh, L. A. 1965. *Fuzzy sets*. *Information and Control* 8(3). 338-353. ■

Normas internacionales de valoración y administración del territorio

Kauko Viitanen

HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, FINLAND

Resumen

Las normas internacionales de valoración ("I.V.S.") han alcanzado una posición destacada a la hora de guiar y armonizar las actividades internacionales de valoración. Las partes más importantes de las normas internacionales de valoración son la asesoría sobre los valores de mercado en las transacciones voluntarias y en los informes financieros. Las normas internacionales de valoración no se aplican directamente a las valoraciones efectuadas a través de las legislaciones nacionales, como por ejemplo, las valoraciones efectuadas por las autoridades, o en las compras obligadas. Sin embargo, sería importante que todas las valoraciones condujeran a compensaciones justas y suficientes. Este artículo expone cómo las normas internacionales de valoración pueden reforzar las valoraciones realizadas por las autoridades, o ser empleadas en valoraciones coercitivas, así como acerca de qué tipo de expectativas y necesidades la "F.I.G.", por ejemplo, podría esperar de unas directrices de guía de las normas internacionales de valoración.

Abstract

International Valuation Standards (IVS) have achieved a leading position in guiding and harmonizing international valuation activities. The core areas of the standards are the assessment of market value in voluntary transactions and in financial reporting. The standards do not directly apply to valuations carried out through national legislations, e.g. valuations done by the authorities, or in compulsory purchase. However, it would be important that the valuations would lead to full and just compensations. The article will discuss how international valuation standards can enhance valuations done by the authorities or in coercive acquisitions, and what kind of expectations and needs e.g. FIG could have to international valuation guidance.

I. INTRODUCCION

Hace treinta años, un tercio de la población mundial vivía en las ciudades, hoy día lo hace la mitad de la población mundial, y se estima que esta cifra va acrecer hasta alcanzar los dos tercios de dicha población mundial. Teniendo en cuenta que el número total de habitantes se está incrementando rápidamente, las áreas urbanas se están sometiendo a una fuerte presión por el crecimiento demográfico. Esto se nota por ejemplo, en el aumento de las zonas periféricas marginales. Una de las metas del "Hábitat" de las "Naciones Unidas" es la de detener en veinte años el crecimiento de las zonas periféricas marginales, y aquí también la "F.I.G." está desempeñando su papel (ver, por ejemplo: Reuterswärd, 2005).

Con el crecimiento de las ciudades se enfatiza la importancia de la gestión del territorio, al tiempo que aumentan sus problemas. Los terrenos deben de ser adquiridos eficientemente, a la vez que deben de protegerse, o al menos no ser violados, los derechos de los propietarios particulares. Esto conlleva la necesidad de la valoración, dado que la pro-

piedad y el uso del terreno son asuntos con una implicación económica. Las necesidades de valoración se resaltan especialmente en las valoraciones realizadas por las autoridades, o en las adquisiciones coercitivas o impuestas. Las normas internacionales de valoración son sin duda ventajosas para la valoración, pero no son necesariamente adecuadas para atender las necesidades especiales de la gestión del territorio. En estos casos, puede que la "F.I.G." tenga algo que ofrecer.

2. LAS NORMAS INTERNACIONALES DE VALORACIÓN

Las normas internacionales de valoración ("I.V.S.") son publicadas y actualizadas por el "I.V.S.C." (Comité de Normas Internacionales de Valoración) establecido en 1981. El actual nombre del comité fue adoptado en 1994. Los miembros del comité son las asociaciones de valoración de cerca de 50 países.

Las primeras normas internacionales de valoración se publicaron en 1985. Desde el año 2000 las normas se han renovado y se han desa-

rollado notablemente, impulsadas por la financiación de destacados patrocinadores internacionales. Las actuales normas son mantenidas en íntima cooperación con las "I.A.S." ("International Accounting Standards"). La importancia de las normas internacionales de valoración se ha visto magnificada notablemente por la promulgación del Decreto de la Unión Europea por el cual las "I.A.S." se convertirán en la base de las declaraciones financieras de las compañías europeas.

La meta del "I.V.S.C." es el ofrecer una normativa vigorosa y exhaustiva que impulse las inversiones internacionales de propiedades inmobiliarias y realcen la vitalidad del mercado internacional, contribuyendo a la transparencia de los informes económicos. La finalidad es el facilitar las transacciones internacionales de propiedades inmobiliarias y mejorar el mercado impulsando la transparencia de los informes económicos y la fiabilidad de las valoraciones destinadas a respaldar los empréstitos, en todo lo relacionado no solo con la transferencia de la propiedad, sino también con las ventas forzadas u obligatorias y con la imposición fiscal. Incluso más aun, para actuar en todo el mundo como referencia profesional y asistir de esta manera a los peritos en valoración a cumplir las demandas de los mercados internacionales de propiedades inmobiliarias y los requisitos de los informes económicos, y producir unas normas internacionales de valoración e informes económicos que también satisfagan las necesidades de los países recién industrializados. Las normas representan la mejor política o, al menos, la más aceptada en los temas de la valoración, es decir los principios de valoración generalmente aceptados ("G.A.V.P."). Las normas internacionales de valoración y las normas nacionales se complementan y refuerzan entre sí. Se explican a continuación las diferencias y las distinciones entre los principios, y sus impactos. Las normas asumen una competencia profesional en los peritos en valoración y señalan la necesidad de una formación suplementaria para los mismos ("I.V.S." 2003)

La normativa del año 2005 ("I.V.S.C." 2005) contiene tres normas propiamente dichas:

- IVS 1: Bases de valoración del valor de mercado
- IVS 2: Bases de valoración con independencia del valor de mercado
- IVS 3: Los informes de valoración

Junto con dos aplicaciones de valoración:

- IVA 1: valoración para los informes financieros
- IVA 2: valoración a efectos de concesión de préstamos

Más aun, el libro de la normativa incluye además una introducción que presenta los códigos de conducta generales, unas directrices de los principios y métodos generales de valoración, y explica los conceptos tópicos y da otras directrices para necesidades especiales a través de 14 "Notas de Guía":

- GN 1: valoración de las propiedades inmobiliarias
- GN 2: valoración de los intereses de los préstamos

- GN 3: valoración de plantas y equipos
- GN 4: valoración de bienes intangibles
- GN 5: valoración de propiedades personales
- GN 6: valoración de empresas
- GN 7: consideración en la valoración de las sustancias tóxicas y peligrosas
- GN 8: depreciación en los costes de reemplazo
- GN 9: análisis de los flujos de los descuentos monetarios en las valoraciones basadas y no basadas en el mercado
- GN 10: valoración de propiedades agrícolas
- GN 11: revisión de las valoraciones
- GN 12: valoración de intercambios de propiedad especiales
- GN 13: tasación global e imposición fiscal de la propiedad
- GN 14: valoración de propiedad en las industrias de extracción

Las normas han sido también publicadas en la página Web del "I.V.S.C." (www.ivsc.org) de donde se las puede bajar o descargar libremente.

Las normas internacionales de valoración se centran mayoritariamente en la valoración basada en los mercados, aunque también son importantes los requisitos de los informes económicos.

"El valor de mercado es la cantidad estimada de dinero por la cual, y en la fecha de la valoración, una propiedad se intercambiaría entre un vendedor libremente dispuesto a vender, y un comprador libremente dispuesto a comprar, en una transacción personal y tras un adecuado marketing, y en el que ambas partes actúan con conocimiento, prudencia y sin obligación de ningún tipo" ("I.V.S." 2003)

Las "I.V.S." no constituyen en realidad un libro de texto que explique la aplicación de las distintas técnicas específicas de valoración. Más bien describen lo que el perito en valoración debe de hacer y cómo debe de actuar en los trabajos de valoración y en los informes. La calidad del proceso de valoración debe de asegurarse a toda costa. La normativa propone que los informes sean profesionales, de alta calidad, comparables, fácilmente accesibles y fiables. En lo que respecta a la lógica interna, se sitúa a las normas por debajo de la legislación nacional y otras regulaciones, aunque bien pueden dar instrucciones por ejemplo en el caso de expropiaciones, al menos en aquellos casos en los que la legislación nacional no ofrezca actas legislativas al respecto.

3. LA EXPROPIACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA GESTIÓN DEL TERRITORIO

En las sociedades que se basan en la propiedad privada la legislación permite normalmente la expropiación de la propiedad privada en aras del beneficio público. Se ha visto necesario el limitar los derechos privados siempre que sea necesario para el bien público. De no ser así, un propietario podría abusar de su posición monopolística y bloquear un desarrollo, negándose a realizar una transferencia voluntaria de sus terrenos o reclamando una irrealísticamente alta compensación. También es posi-

ble que el propietario esté ausente, no se le pueda encontrar fácilmente o esté legalmente incapacitado. Otro motivo para la expropiación es la necesidad de asegurar la eficacia en la obtención de terrenos, como en el caso de adquirir superficies de terreno para la construcción de carreteras. Antes de los modernos equipos y de los registros de datos, la realización de proyectos que abarcaran grandes zonas era muy laboriosa.

En consecuencia, en la política territorial implementada por las autoridades se puede obtener un considerable beneficio mediante la expropiación de terrenos. Además del aumento en la eficacia de las medidas, también puede aplicarse la expropiación de terrenos para la adquisición anticipada para la propiedad pública de los terrenos necesarios para un desarrollo urbano, de modo que los terrenos estén disponibles cuando se necesiten. Así sería más fácil efectuar la planificación de los terrenos públicos. El incremento de terrenos podría también obtenerse como bien público, ya que los terrenos serían adquiridos antes de que su valor se viese incrementado debido a las expectativas de construcción en la zona. Por otro lado, podría restringirse el incremento si se asignasen de modo favorable los terrenos a los usuarios. Virtanen (1988 y 2004) indica además que la neutralidad, experiencia y razonable rapidez serían otros de los beneficios de la expropiación de terrenos.

Sin embargo, la expropiación de terrenos no es normalmente el método primario de adquisición de terrenos, aunque es necesaria cuando no hay ninguna otra forma voluntaria de hacerlo. Lo cual significa que por ejemplo, es mejor emplear la concentración parcelaria antes que la expropiación de terrenos si con ello se alcanzan los objetivos deseados. Incluso se menciona que en algunos países no se emplea la expropiación de terrenos si la inconveniencias para el propietario particular superan a las posibles ventajas públicas (Ver por ejemplo a Kalbro 2001 página 14; Viitanen 2002)

En la práctica, la expropiación de terrenos no es un método muy extendido para la adquisición de terrenos. Una de las razones que frecuentemente se esgrime para ello es la complejidad del proceso, así como su larga duración y sus altos costes, es decir que es muy inconveniente (ver por ejemplo: Larsson, 1997). Teniendo en consideración las provisiones legales establecidas para la expropiación de terrenos, es fácil ver que el proceso puede funcionar bastante rígidamente. Por otro lado existen países donde se le ha hecho funcionar adecuadamente. Esto significa que existe la posibilidad de resolver las dificultades del proceso (ver Viitanen 2004). Otra de las razones que se citan en contra del método es que no se considera adecuada la interferencia forzosa con la propiedad privada. Debe ser considerada como la última alternativa. Los que toman las decisiones políticas parece que temen que su popularidad decaiga si están a favor de acudir a la expropiación de terrenos. Una de las razones puede residir en los problemas de compensar las pérdidas de las personas a las que se expropia. Además, como se ha dicho, existen otros medios de avanzar en la implementación de los terrenos urbanos, tales como los distintos sistemas de imposición fiscal y las deducciones fiscales, créditos y subsidios, acuerdos y asesoramientos.

4. LA EXPROPIACIÓN DE TERRENOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL PROPIETARIO DE LOS DERECHOS

En lo concerniente a la expropiación de terrenos puede que el punto crítico resida en la cuestión de la compensación. ¿Serán capaces los estatutos de la compensación y los métodos de valoración alcanzar una compensación plena y justa? Las reglas de la compensación dependen de la legislación de cada país. La principal idea que subyace en este tema es que la situación financiera del poseedor de los derechos de propiedad permanezca igual, a pesar de la expropiación de sus terrenos. Nadie debe hacerse más pobre ni más rico a causa de la expropiación de terrenos. Sin embargo, solo se pueden compensar los aspectos económicos y no los "no económicos". Por otro lado, no existe una regla estricta que indique que el propietario debe poder adquirir una propiedad semejante por el mismo precio obtenido en la compensación, ya que la idea básica que subyace en la compensación pretende esto, y normalmente es lo que sucede (Wiiala 1966 páginas 22, 56; Hyvönen 1998 páginas 407-410)

La compensación total debe de cubrir al valor objetivo de la propiedad expropiada (valor de mercado), la depreciación de dicho valor si la propiedad permanece retenida, y otros daños y perjuicios que debilitarían la situación financiera del propietario expropiado (Wiiala 1966; algo similar a lo anterior en Denyer-Green 1988). La compensación para la propiedad puede ser también calculada como la diferencia del valor de la propiedad antes y después de la expropiación. (i)

La principal regla para la estimación de la compensación para la adquisición de una propiedad es emplear su valor del mercado (Denyer-Green 1988 página. 175; Kalbro 2001 página. 15). El método de valoración básico es el método de la comparación de las ventas de propiedades semejantes, aunque en algunas situaciones sin actividad en los mercados se pueden emplear los métodos de los costes y de los beneficios obtenidos. Norell (2001 páginas 131 y siguientes) defiende, además, el método de simulación del mercado. Esto parece apuntar que para determinar las compensaciones sería muy práctica una guía de las normas internacionales de valoración. Sin embargo, en la aplicación de los métodos de valor de mercado para la determinación de compensaciones, se ha puesto de manifiesto una seria desacreditación. Se ha observado que el uso de forma sistemática de los precios de compra conduce a valores demasiado bajos (Werin 1978 y 1982; Kalbro y Sjödin 1993). De acuerdo con Lind (1997), cuando la compensación se basa en los precios de mercado y se aplica durante un ciclo bajo del mercado, la compensación puede resultar tan baja que el propietario expropiado no pueda ser capaz de comprar con la compensación, una propiedad semejante por lo que experimentará una pérdida. También Novell (2001) sugiere que cuando se vaya a determinar una compensación justa, existe la justificación de emplear un cierto margen de seguridad en relación con la cantidad estimada mediante los métodos convencionales de valoración (ver también Viitanen 2002; Larsson 1997).



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
- Teodolitos
- Niveles Electrónicos
- Niveles ópticos
- GPS
- 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

Aparte de las razones de método, a la hora de determinar una compensación existen suficientes motivos para emplear algunos de los principios básicos. Las condiciones generales de la determinación de la compensación describen las circunstancias por las que surge la responsabilidad de compensar y quién tiene esa responsabilidad. De acuerdo con Virtanen (1988) para pagar una compensación deben cumplirse los siguientes requisitos:

- principio económico
 - la pérdida debe de ser económica, no se compensan los valores sentimentales
 - debe de compensarse el valor del lujo
- principio de causalidad
 - las pérdidas y la implementación del proyecto de expropiación deben de tener una relación causal aceptada
- principio de legalidad
 - sólo se compensan los intereses protegidos por ley
 - por ejemplo: no se compensa la recogida de frutos silvestres basada en el “derecho ordinario”
 - sólo se abonan compensaciones por los usos del terreno avalados por la ley
 - alguien debe de ser responsable de la compensación
- principio de la parte interesada
 - solo tiene derecho a compensación la parte interesada
- principio de lógica
 - las hipótesis y las argumentaciones relacionadas con la compensación deben de ser consistentes
- principio de probabilidad
 - si la compensación se determina en base a un futuro desarrollo, este debe de ser muy probable
 - la compensación no debe de basarse en esperanzas o en argumentos sin base
- principio de la certeza
 - la pérdida debe de estar claramente asegurada
 - no se compensan pérdidas mínimas

Más aun, podemos indicar que las compensaciones deben de basarse en lo que el vendedor pierde y no en lo que el expropiador obtiene.

Muchos de estos principios pueden conducir a situaciones problemáticas. En muchos países, el registro de los usufructos y de los derechos de la propiedad, es algo incierto, y las diversas licencias están documentadas muy pobremente; la necesidad de este tipo de licencias es poco entendida por los ciudadanos. Por ejemplo: con los llamados acuerdos informales, las compensaciones suelen permanecer totalmente impagadas. Hay otros ejemplos prácticos que muestran también que no siempre se pagan las compensaciones, o que su pago se retrasa debido, por ejemplo, a la falta de solvencia del expropiador: La gente pierde su vivienda, e incluso su forma de vida, –por ejemplo: sus parcelas de cultivos– sin tener la posibilidad de adquirir unas nuevas. También hay regiones en donde no existen terrenos disponibles, incluso aunque se hayan pagado

las compensaciones. No hay nada viable, y ni siquiera funcionan los mercados (ver por ejemplo: Ndjovu 2003). En situaciones de este tipo, no parecen ser aplicables las expropiaciones de terrenos basadas en la indemnización dineraria, por lo que se requieren nuevos métodos adaptados a las circunstancias.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque la expropiación puede incluir a muchos aspectos favorables y es una herramienta necesaria, en algunos casos suscita muchos problemas. Uno de ellos es la determinación de una compensación justa y plena. Las normas internacionales del “Comité de Normas Internacionales de Valoración” dan a nivel técnico, unas iniciativas muy buenas para efectuar una valoración de forma adecuada, también en situaciones de expropiación de terrenos, y en especial, cuando la compensación se basa en el valor de mercado. Sin embargo, el emplear el valor del mercado como base de compensación, parece tener algunas debilidades serias, que en el peor caso pueden conducir a la pérdida de los derechos de pertenencia y de posesión, recibiendo por ello una insuficiente o ninguna compensación. Esto puede ser una tragedia a nivel individual. Las normas internacionales de valoración no tienen respuesta para este tipo de problemas.

A lo largo de los últimos años, la “F.I.G.” ha confeccionado muchas directrices y recomendaciones, que están a favor del desarrollo sostenible y de una mejor gestión territorial (por ejemplo: la Declaración de Marrakech del año 2004). La expropiación de terrenos y la respectiva determinación de la compensación parecen ser un área ligada muy de cerca con la gestión y el desarrollo territorial, la creación de infraestructuras eficaces, que garantice el acceso al suelo, pero donde las guías prácticas y metódicas parecen ser muy escasas. La “F.I.G.” tiene al menos tres comisiones directamente relacionadas con directivas de la expropiación de terrenos. Estas son las Comisiones 7, 8 y 9 (Catastro y Gestión Territorial, Planificación y Desarrollo Espacial, Valoración y Gestión de Propiedad) y la Comisión 1 (Normas de la Práctica Profesional) que coordina los asuntos de índole general. En mi opinión la “F.I.G.” debería adoptar en este tema una actitud activa, y la Comisión 9 debería tomar la iniciativa de adentrarse en esta problemática.

REFERENCIAS

- Denyer-Green, B. (1998) Compulsory Purchase and Compensation. Fifth Edition. Estates Gazette. London. 413 p.
- IVS2003 (2003) International Valuation Standards. Sixth Edition. International Valuation Standards Committee (IVSC). London. 496 p. [<http://www.ivsc.org>]
- IVSC (2005) IVSC publishes 2005 Edition of International Valuation Standards. Press Release 10th February 2005. International Valuation Standards Committee (IVSC). London. [<http://www.ivsc.org>]

- Hyvönen, V.O. (1998) Kiinteistönmuodostamisoikeus I. Yleiset opit. Espoo. 569 s.
- Kalbro, T. (2001) Compulsory Purchase and Restrictions on Land Use. Principles of Compensation in Swedish Law. Meddelande 4:88. Royal Institute of Technology, Real Estate and Construction Management, Real Estate Planning and Land Law. Stockholm. 31 p.
- Kalbro, T., Sjödin, E. (1993) Ersättning vid fastighetsreglering. Stockholm. 117 s.
- Larsson, G. (1997) Land Management. Public Policy, Control and Participation. The Swedish Council for Building Research T8:1997. Stockholm. 232 p.
- Lind, H. (1997) The definition of market value: Criteria for judging proposals and an analysis of three components. Working paper no. 28. Royal Institute of Technology, Building and Real Estate Economics. Stockholm. 31 p.
- Marrakech Declaration (2005) Urban-Rural Interrelationship for Sustainable Development. FIG Publication no 33. International Federation of Surveyors (FIG). Frederiksberg. 32 p.
- Ndjovu, C.E. (2003) Compulsory Purchase in Tanzania. Bulldozing property rights. Doctoral Thesis. Royal Institute of Technology, Department of Infrastructure, Division of Real Estate Planning and Land Law. Stockholm. 316 p.
- Norell, L. (2001) Ersättning för intrång på jordbruksfastigheter. Principer för en rättsenlig värderingsmetodik – speciellt med sikte på markåtkomst för vägar och järnvägar. Meddelande 4:89 (LMV-Rapport 2001:11, Lantmäteriverket). Royal Institute of Technology, Real Estate and Construction Management, Real Estate Planning and Land Law. Stockholm. 411 p.
- Reuterswärd, L. (2005) Presentation by UN-HABITAT. The meeting of the UN-HABITAT and the Helsinki University of Technology, Espoo 14th February 2005.
- Viitanen, K. (2002) Just Compensation in Expropriation. FIG Commission 9, Property Valuation and Management. The Congress of the International Federation of Surveyors, Washington, D.C., 22.-26.4.2002. Washington, D.C. 2002, International Federation of Surveyors FIG, 8 p. [<http://www.fig.net>, CD-ROM]
- Viitanen, K. (2004) Compulsory Purchase as an Administrative Procedure - Based on Finnish Legislation and Experiences. FIG Commission 9, Property Valuation and Management. The Regional Working Week of the International Federation of Surveyors, Jakarta, Indonesia, 3.-7.10.2004. International Federation of Surveyors FIG, 9 p. [<http://www.fig.net>]
- Virtanen, P.V. (1988) Kaupunkimaan arvioinnin perusteet. 2. uud. p. Hämeenlinna. 173 s.
- Virtanen, P.V. (2004) Yleinen maapolitiikka. Minun, Sinun ja meidän maa. Kiinteistöopin ja talousoikeuden julkaisuja B108. Helsinki University of Technology, Institute of Real Estate Studies. Espoo. 123 s.
- Wiiala, A. (1966) Pakkolunastus- ja tilikorvaukset. Maanjaon arvioimisoppi II. Vammala. 249 s.
- Also mentioned:
- Werin (1978) Expropriation; en studie i lagstiftningsmotiv och ersättningsrättsliga grundprinciper. Svensk Juristtidning, nr 6, s. 81-120.
- Werin (1982) Ekonomi och rättssystem. Stockholm. ■

Detección cuantitativa de los daños causados por un terremoto a partir de imágenes de satélite de baja resolución

Tao Xiixin y Li Ping
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
CHINA

Resumen

En la situación de emergencia que se presenta tras un gran terremoto, es realmente necesario realizar una rápida evaluación de los daños, para poder ayudar a los equipos de rescate y establecer los planes de recuperación, aunque sea de forma aproximada. Las imágenes de sensores remotos ofrecen una nueva fuente de información para poder hacer una rápida estimación de los daños del terremoto. En los años recientes se han conseguido notables mejoras en la identificación de las áreas dañadas seriamente mediante sensores remotos, empleando en algunos casos imágenes de alta resolución. En este artículo se presenta un estudio de un caso real, para ver si es posible el dibujar una estimación cuantitativa de curvas isosísmicas a partir de imágenes de satélite de baja resolución.

El terremoto de Bachu ($M=6.8$) ocurrido en la provincia china de Xinjiang, el 24 de febrero del año 2004, destruyó un gran número de casas. Se ha realizado un estudio con imágenes de satélite de baja resolución (10 m) tomadas antes y después del terremoto de Bachu. Se han ajustado con un nuevo método que revela el cambio en la escala de los grises originado por el terremoto. Se ha efectuado con ellas la detección de los cambios. Preliminarmente se desarrolló un modelo probabilístico para la evaluación de los daños del terremoto, comparando los resultados del proceso de las imágenes con la información detallada obtenida mediante la inspección sobre el terreno efectuada posteriormente al terremoto.

Abstract

In the emergence situation after a large earthquake, fast evaluation of the damage is really necessary for rescue team and recovery plan, even if it is quite rough. Remote sensing image provides a new information source for rapid estimation of earthquake damage. In the recent years, achievements on identifying seriously damaged area by remote sensing are reported, some of them are from high resolution images. A case study is presented in this paper, to see if a quantitative estimation of isoseismals can be drawn out from low resolution satellite images.

The Bachu earthquake ($M=6.8$) occurred on February 24, 2003 in Xinjiang, China, and destroyed large number of houses. Satellite images with low resolution (10 m), pre- and post-Bachu earthquake, were adopted in this study. They are matched by a new method to reveal the gray scale change from the earthquake. Change detection is carried out. A probabilistic model for earthquake damage evaluation is preliminarily developed, by comparing the results of image process with the detail information from the post earthquake ground survey.

I. INTRODUCCION

Los terremotos son unos desastres terribles. Pueden matar a miles de personas en escasos minutos. Una vez que se sufren, debemos estimar los daños, organizar los socorros y rescatar a los heridos. Muchos ejemplos de terremoto nos han enseñado lo siguiente: cuanto más rápido se estiman los daños, son más personas las que se salvan.

Las imágenes de sensores remotos pueden adquirirse muy rápidamente, reflejándonos el mundo objetivo de una forma completa y distintiva, y nos ofrecen una nueva fuente de información para una rápida evaluación de daños en un terremoto. Se trata de una manera conveniente, rápida

y eficaz de evaluar los daños en un terremoto mediante los datos de los sensores remotos; se trata también de un problema que es abordado por los investigadores desde el punto de vista de la reducción y de la prevención de los desastres, así como de la aplicación de la tecnología de los sensores remotos. Una vez efectuada una etapa inicial de estimación visual, el método de rápida evaluación de los daños del terremoto basándose en el proceso digital de las imágenes de satélite, permite alcanzar nuevos progresos, debido al rápido desarrollo de la tecnología de los procesos de las imágenes digitales y a la mejora de la precisión de posicionamiento de los datos espaciales de los sensores remotos. El método de la evaluación de los daños en un terremoto, mediante la detección de los cambios en las imágenes de sensores remotos, recientemente publicado, se encuentra aun en la etapa de investigación. Los

investigadores han conseguido la distribución de diversas áreas damnificadas (Ellen Rathge 3, J. F. Zhang 5,6, A. X. Dou 1., etc.); y si se puede detectar la intensidad en el área afectada mediante la detección de cambios en las imágenes antes y después del suceso, los sismólogos dividen la zona afectada en zonas de distinta intensidad, y están en situación de ofrecer la información necesaria para el reconocimiento de los terremoto.

Entre los distintos modelos que existen, este artículo investiga y discute la efectividad de la detección de los cambios realizada empleando imágenes de satélite de baja resolución. También se han recogido para este artículo las imágenes de sensores remotos anteriores y posteriores al terremoto de Bachu ocurrido en la provincia de Xinjiang en el suroeste de China, el 24 de febrero del 2004, adquiridas mediante el satélite "SPOT" con una resolución de 10 m. A. X. Dou comparó un par de imágenes de la misma zona, anteriores y posteriores al terremoto de Bachu, calculando los coeficientes de correlación, substracción, ratio, y comparabilidad, y obteniendo el área damnificada mediante el establecimiento de diversos umbrales. En este artículo se ajustan las imágenes anteriores y posteriores al terremoto mediante un nuevo método que refuerza los cambios en la escala de los grises originados por el terremoto. Se efectúa la detección de los resultados de los cambios mediante un análisis de la substracción y del ratio de las imágenes. A partir de la comparación de los resultados de los análisis con la información detallada obtenida sobre el terreno en la inspección posterior al terremoto se construye preliminarmente un modelo probabilístico de evaluación de los daños del terremoto. En este artículo se intenta establecer un método para identificar la intensidad de los daños a partir de las imágenes de satélite.

2. EL TERREMOTO DE BACHU

2.1. Los efectos del terremoto

El terremoto de Bachu (M=6.8) ocurrió en el sur de la provincia de Xinjiang en China, el 24 de febrero del año 2004, a 39,29 grados de latitud norte y 77,15 grados de longitud este, de acuerdo con la Oficina de Sismología de China. La profundidad del foco fue de 25,2 Km. Bachu es un país cercano a Jashi, en el sur de la provincia de Xinjiang, por lo que también se conoce al terremoto como terremoto Jashi-Bachu. Esta región se localiza en la intersección de tres unidades (placas?) tectónicas: la cordillera de Tianshan, el arco tectónico del Parir y la cuenca del Talimu. La frecuencia de ocurrencias de terremoto en esta región es la mayor en China (figura 1).

Siete poblaciones de la zona de Qiongkuquike, en el país de Bachu, son las que sufrieron más devastación, además de las poblaciones de Alager y Selibuya que fueron seriamente dañadas. Otros diversos lugares tales como Jashi, la ciudad de Casi, Bachu, Artux y Markit experimentaron fuertes sacudidas y temblores. Se produjeron 268 víctimas mortales, 2.058 personas sufrieron heridas serias, y otras 4.000 sufrieron heridas leves. Adicionalmente, se murieron 259 animales de granja, 36.562 casas se derrumbaron, se dañaron 900 clases en las escuelas y se destruyeron 16 hospitales.

Todas las zonas dañadas en este terremoto son zonas pobres. Las casas de estas áreas estaban construidas con vigas y columnas de madera, y con paredes de adobe. Este tipo de estructuras es muy vulnerable a los terremotos. De acuerdo con los informes de la inspección sobre el terreno tras el terremoto y con las imágenes de satélite, el autor hizo un mapa (figura 2) que representaba las zonas de intensidad de daños en las áreas afectadas incluidas en las imágenes de satélite.

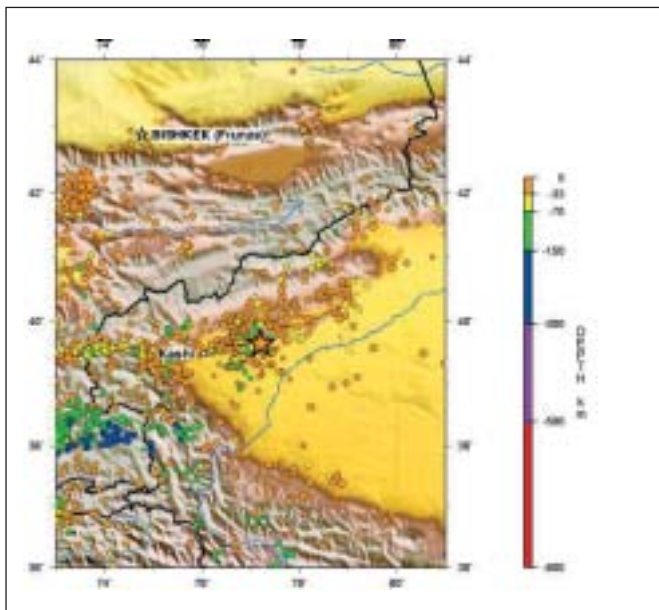


Figura 1. Epicentro e historial de terremoto de esta región (desde 1990 hasta la actualidad, los límites de las placas en amarillo)

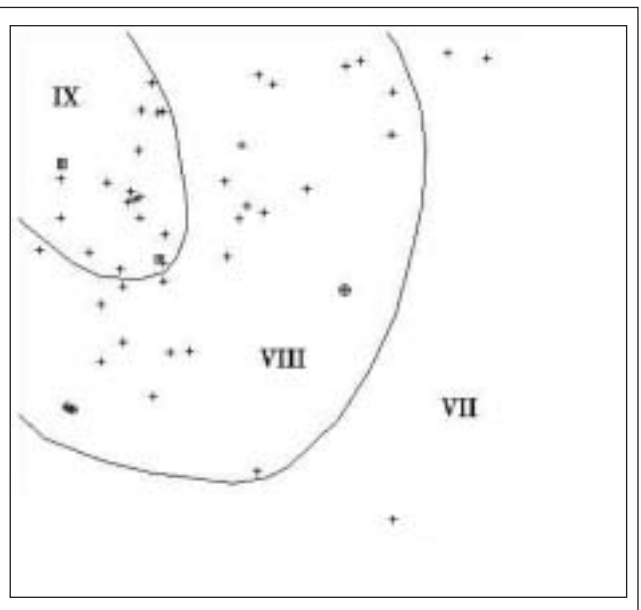


Figura 2. Zonas de intensidad de daños en las áreas afectadas incluidas en las imágenes de satélite, de acuerdo con los informes de la inspección sobre el terreno

2.2. Datos de satélite

Se obtuvieron dos conjuntos de imágenes del satélite "SPOT". Las imágenes de antes y después del terremoto fueron adquiridas el 29 de octubre del año 2000, y el 5 de marzo del año del 2003, y tienen una resolución de 10 m. Después de que las imágenes se registraran adecuadamente, se segmentó una fracción alrededor del epicentro.

3. DETECCIÓN DE LOS CAMBIOS

3.1. Ajuste de los histogramas

La detección de los cambios es un método muy común entre las diversas metodologías. Los algoritmos de detección de los cambios pueden identificar las áreas que hayan experimentado cambios entre las imágenes anteriores y posteriores al terremoto, pero pueden también ser influidas por diversos cambios no asociados con el terremoto (por ejemplo: los ciclos de la vegetación, nubes, ángulos de la luz solar, etc.). Las diferencias en el ángulo de la luz solar y en las condiciones atmosféricas en los momentos en que ambas imágenes fueron tomadas pueden ser mitigadas mediante el co-registro, pero incluso así, las imágenes todavía pueden presentar cambios no relacionados con el terremoto, y que pueden llevar a identificar incorrectamente algunas de las áreas dañificadas. Ellen Rathje (2004) mitigó estos errores detectando los cambios entre una imagen anterior al terremoto y dos imágenes posteriores al terremoto, tomadas en dos momentos diferentes.

En este artículo se estudia un nuevo método de ajuste de histogramas diseñado para reforzar los cambios originados por el terremoto. El terremoto destruyó casas y la escala de grises correspondiente a estas casas varió entre las imágenes anteriores y posteriores al terremoto; por el contrario, la escala de grises correspondiente a otras áreas, tales como campos o desierto, presenta mucha menor variación que la de las áreas residenciales. De esta forma, la variación de la escala de grises correspondiente a las áreas residenciales fue muy útil para detectar los daños del terremoto, y por tanto debería ser reforzada, en tanto que el cambio en las otras áreas debería ser disminuido.

Inicialmente, el autor delimitó las áreas residenciales de las imágenes de satélite anteriores y posteriores al evento, refiriéndose al mapa local para

establecer las zonas exteriores a dichas áreas, y ajustó el histograma de éstas para poder establecer una fórmula de variación que permitiese ajustar el histograma de la totalidad de las imágenes posteriores al evento. Era un intento de mejorar el ajuste de las escalas de grises de las imágenes de sensores remotos anteriores y posteriores al terremoto para mejor destacar y reforzar el cambio originado por el terremoto.

3.2. Proceso de las imágenes basado en métodos matemáticos

Los algoritmos de ratio y de substracción se emplearon ampliamente en la detección de los cambios. Los dos métodos se usaron para calcular la escala de grises de dos píxeles correspondientes situados en la misma posición en el par de imágenes, y de acuerdo con las siguientes fórmulas:

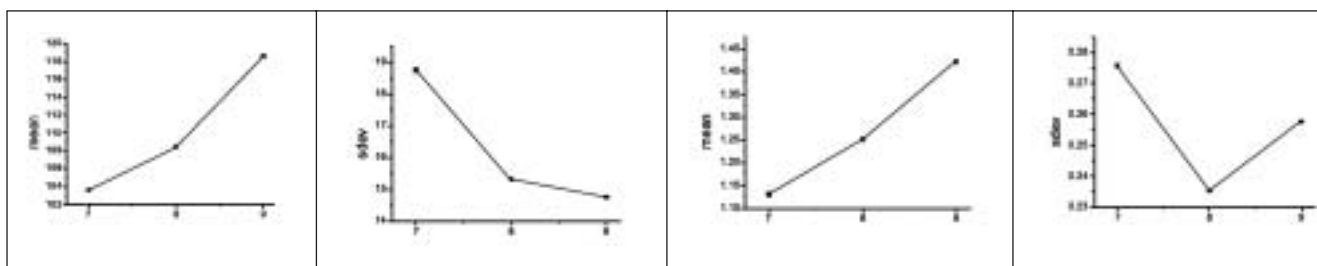
$$Z = |X - Y| \quad (1) \quad Z = \frac{|Y - X|}{X} \quad (2)$$

"X" es el gris de la escala de grises de un píxel en la imagen anterior al sismo. "Y" es el gris de la escala de grises de un píxel en las imágenes posteriores al sismo. "Z" es el gris de la escala de grises de un píxel en la imagen transformada.

Una vez que se preparan el par de imágenes para poder detectar los cambios, se calculan las diferencias en la escala de grises y el ratio mediante el programa "ENVI". El análisis estadístico de las zonas residenciales se efectúa con datos procedentes de la inspección sobre el terreno efectuada tras el terremoto; de esta forma se obtienen los valores de la media y de la desviación típica de las regiones con intensidades IX, VIII y VII. A continuación se construye un modelo probabilístico para la evaluación de los daños del sismo.

3.3. Modelo probabilístico

Para describir la distribución de la probabilidad en la escala de grises en diferentes intensidades de acuerdo con la media calculada y la desviación típica se ha escogido en este estudio, una función de distribución normal. Los gráficos 5 y 6 muestran la distribución de la probabilidad en la escala de grises en diferentes intensidades de las áreas residenciales en imágenes de diferencias y de ratios.



Gráficos 1 y 2. La media y de la desviación típica de las áreas residenciales con intensidades IX, VIII y VII en la diferencia de imágenes.

Gráficos 3 y 4. La media y de la desviación típica de las áreas residenciales con intensidades IX, VIII y VII en el ratio de las imágenes.

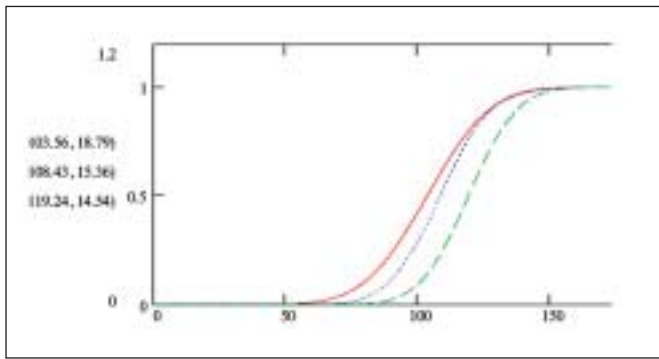


Gráfico 5. La distribución de la probabilidad en la escala de grises en diferentes intensidades de las áreas residenciales en imágenes de diferencias.

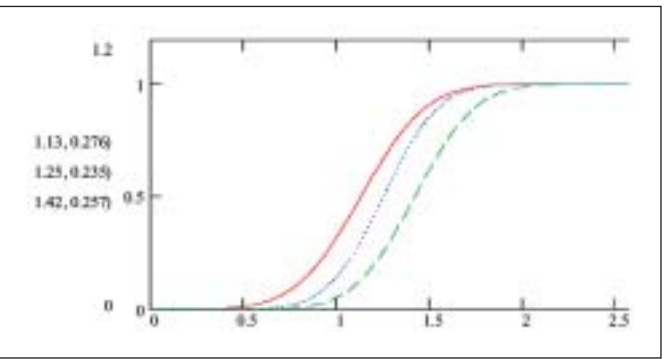


Gráfico 6. La distribución de la probabilidad en la escala de grises en diferentes intensidades de las áreas residenciales en imágenes de ratios.

La curva real roja, la curva azul de puntos y la curva verde de trazos se corresponden con las intensidades VII, VIII y IX.

3.4. Identificación de las intensidades de las áreas damnificadas

Las probabilidades de las tres intensidades en cada área residencial se calculan, como comprobación interna, a partir de los valores de las desviaciones típicas y de las medias de la escala de grises en la zona, empleando imágenes de diferencias y de ratios; para mostrar la fiabilidad del método descrito en este artículo se compara la intensidad de máxima probabilidad, con la intensidad en el área obtenida tras la inspección sobre el terreno realizada después del terremoto (gráficos 7 y 8).

Las intensidades de las áreas residenciales en las zonas de intensidades IX con las máximas posibilidades, fueron consistentes con los resultados obtenidos tras la inspección sobre el terreno en las imágenes de dife-

rencias y de ratios. En el gráfico 7, la identificación de las intensidades de las áreas residenciales en zonas de intensidades VIII tiene muy buen aspecto, pero en las zonas de intensidades VII obtenemos peores resultados. En el gráfico 8, se puede identificar las intensidades de las áreas residenciales en zonas de intensidades VII, pero la identificación del resto de las zonas de intensidades VII no es tan buena.

4. CONCLUSIONES

Este estudio ha examinado el potencial del empleo de imágenes de satélite de baja resolución para identificar la intensidad del terremoto en las áreas damnificadas. La zona de Bachu, dañada durante el terremoto de Bachu-jashi, ocurrido en la provincia de Xinjiang en China el 24 de febrero del 2004, fue empleada como zona de prueba para esta investigación. Se emplearon imágenes de satélite de baja resolución (10 m) de Bachu, antes y después del terremoto, para investigar la detección de

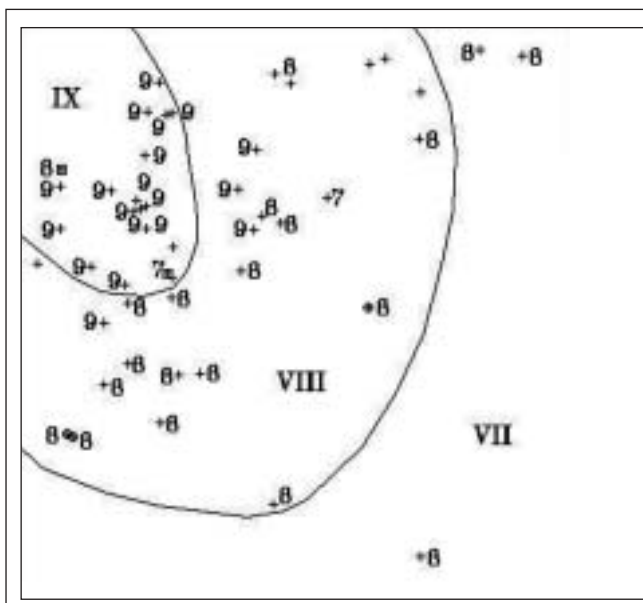


Gráfico 7 Identificación de las intensidades de las áreas damnificadas en la imagen de las diferencias.

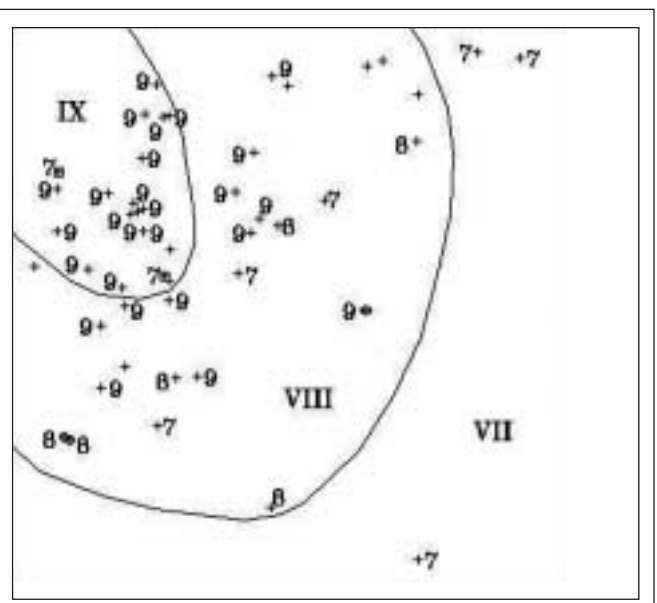


Gráfico 8 Identificación de las intensidades de las áreas damnificadas en la imagen de los ratios.

los daños del terremoto, empleando para ello metodologías de detección de cambios basadas en procesos matemáticos.

Este artículo intenta sacar adelante un nuevo método para reforzar los cambios en la escala de grises originados por el terremoto y hacer menos patentes los cambios originados por otros motivos. El método se aplicó al ajuste de histogramas de imágenes de satélite de Bachu, antes y después del terremoto. Esta metodología obtuvo buenos resultados en la consiguiente detección de los cambios entre las imágenes de satélite anteriores y posteriores al terremoto.

Para calcular las diferencias de la escala de grises en los píxeles antes y después del terremoto, se emplearon algoritmos de substracción y de ratios. De acuerdo con el análisis estadístico, el autor intenta describir la distribución de las probabilidades de las distintas intensidades en las zonas residenciales, empleando la función de distribución normal tanto en diferencias de imágenes como en ratios de las mismas. Por comparación, se puede identificar con la máxima probabilidad la intensidad de las zonas residenciales en zonas de intensidad IX; la identificación de las intensidades VII y VIII en las zonas residenciales fue difícil, pero esta dificultad puede resolverse combinando los dos métodos de identificación: empleando imágenes de diferencias y de ratios.

Una vez validado este caso sísmico, el artículo establece un método preliminar para la evaluación de los daños ocasionados por un terremoto basándose en los actuales resultados obtenidos mediante el método de la detección de los cambios en las imágenes de satélite de sensores remotos, pero necesita aplicarse en más casos de terremotos, para verificarse y desarrollarse más.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda del Profesor Zhang Jingfa.

REFERENCIAS

1. A. X. Dou, J. F. Zhang, and Y. F. Tian, "Retrieve Seismic Damages from Remote Sensing Images by Change Detection Algorithm" International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, 2003
2. Earthquake Bureau of Xinjiang Weiwuer Municipality and Chinese Earthquake Bureau ground survey teams, "The Assessment Report of The Earthquake Damage about Xinjiang Bachu-Jiashi Earthquake happened on Feb.24th, 2003." pp.1-6, Mar.13th, 2003.
3. Ellen RATHJE and Melba CRAWFORD. (2004), "Using High Resolution Satellite Imagery to Detect Damage from the 2003 Northern Algeria Earthquake." 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2911
4. <http://www.csi.ac.cn>
5. J. F. Zhang, L. L. Xie, X. X. Tao, "Change Detection and Seismic-Damage Assessment of Building Remote Sensing Image," *Journal of Natural Disasters*. J. China, vol.11, pp. 59-64, May 2002.
6. J. F. Zhang, and L. L. Xie, "Application of Recent Remote Sensing Technology in Earthquake Disaster Reduction." International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, 2001: 3319-3321. ■

El ajuste común del “G.P.S.” y las mediciones fotogramétricas

Cameron Ellum y Naser El-Sheimy

THE UNIVERSITY OF CALGARY

CANADA

Resumen

La fotogrametría aérea controlada por “G.P.S.” es, en su actual estado, una tecnología ya madura y que ha sido aceptada de forma casi universal por la comunidad cartográfica. La actual estrategia de integración es la de primero procesar los datos del “G.P.S.” empleando un procesador independiente, y a continuación, usar las posiciones resultantes como observaciones paramétricas en un ajuste fotogramétrico de haces. Este método presenta los beneficios obvios de su simplicidad; sin embargo, es posible realizar una fusión más intrínseca de los datos fotogramétricos y del “G.P.S.”. En este artículo se describen unas investigaciones sobre un único ajuste combinado, que usa mediciones en imágenes fotogramétricas y puras observaciones de códigos y de fase de la portadora de “G.P.S.”. Las ventajas que se anticipan en esta nueva técnica de integración incluyen a una mejora de la fiabilidad y a la posibilidad de emplear datos de “G.P.S.” incluso cuando haya disponibles menos de cuatro satélites. La técnica también acelera el proceso, ya que solo precisa del empleo de un único grupo o paquete de programas. Se exponen los antecedentes y detalles de las distintas técnicas de integración existentes, las ecuaciones de colinealidad revisadas que facilitan la inclusión de las observaciones de “G.P.S.”, y las observaciones del rango de la fase de la portadora empleadas en el ajuste combinado, tanto diferenciadas doblemente como sin diferenciar. Se ofrecen además, los detalles del diseño del “software” de un ajuste jerarquizado, creado con el fin de efectuar el ajuste combinado, prestando una atención específica a la componente del ajuste del “G.P.S.”. El ajuste combinado es comparado mediante pruebas prácticas con las estrategias convencionales de integración, y con una variedad de configuraciones de los datos de entrada. Las pruebas prácticas no son concluyentes, pero parecen indicar que la nueva técnica no es más precisa que las antiguas.

Abstract

GPS controlled aerial photogrammetry is, in its current guise, a mature technology that has found near universal acceptance in the mapping community. The current integration strategy is to first process the GPS data using a stand-alone processor, and then to use the resulting positions as parameter observations in a photogrammetric bundle adjustment. This implementation has obvious benefits in its simplicity; however, a more fundamental fusion of the GPS and photogrammetric data streams is possible. In this paper, investigations are made into a single combined adjustment that natively uses both photogrammetric image measurements and raw GPS code and carrier-phase observations. The anticipated advantages of this new integration technique include improved reliability and the ability to make use of GPS data when less than four satellites are available. The technique also streamlines processing as only a single software package need be used. Background and details are provided on existing integration techniques, on the revised collinearity equations that facilitate the inclusion of GPS observations and on the undifferenced and double-differenced code and carrier phase range observations used in the combined adjustment. Design details of the hierarchical adjustment software created to perform the combined adjustment are provided, with specific attention given to the GPS adjustment component. Through tests, the combined adjustment is compared against the conventional integration strategy in a variety of configurations of input data. The tests are not conclusive, but appear to indicate that the new technique is no more accurate than the old technique.

I. INTRODUCCION

La fotogrametría aérea controlada mediante G.P.S. cinemático, se ha convertido en una tecnología omnipresente en las comunidades fotogramétricas tanto científicas como comerciales. Virtualmente, todos los sistemas de cartografía aerotransportada integran en la actualidad un receptor de G.P.S. junto con su cámara fotogramétrica. La integración se efectúa a nivel de “hardware”, dado que el receptor de G.P.S. y la cámara deben estar comunicados, bien para que el G.P.S. accione la cámara, o para que la cámara registre el

tiempo de la exposición. Desdichadamente la integración del G.P.S. y la fotogrametría a nivel de “software”, no es tan íntima. Típicamente, los datos de G.P.S. se incluyen en el ajuste fotogramétrico por haces solo como posiciones procesadas (véase por ejemplo Ackerman, 1992; Mikhail y alumnos, 2001). Aparte de compartir esto tan sencillo, los motores del proceso fotogramétrico y del G.P.S. operan con total independencia entre sí. Este método tiene los beneficios obvios de su simplicidad y facilidad de implementación; sin embargo, una fusión más completa de los datos del G.P.S. en el ajuste de haces puede aportar mejoras, tanto en precisión como en fiabilidad.

Este artículo describe un enlace más íntimo de los motores del proceso fotogramétrico y del **G.P.S.**, mediante el cual las mediciones del rango del códigos y de la fase de la portadora se incluyen directamente en el mismo ajuste que las observaciones fotogramétricas. La finalidad de esta integración es la de mejorar la precisión y la fiabilidad, en comparación con la simple inclusión de las posiciones de **G.P.S.**

2. ANTECEDENTES

Las bases teóricas de la fotogrametría aérea asistida por **G.P.S.** se remontan a cerca de casi 30 años, y la propia práctica se ha convertido en una operación ampliamente extendida a lo largo de la última década. La utilidad de la asistencia del **G.P.S.** a la fotogrametría aérea, junto con el concepto básico que está siendo seguido hoy día de forma casi universal, se descubrieron por vez primera, a mediados de los años setenta (Brown, 1976). Esto sucedía cuando incluso el **G.P.S.** estaba en sus más tempranas fases. Naturalmente, las primeras pruebas de la técnica tuvieron que esperar hasta que hubiese un número suficiente de satélites en órbita, pero ya a mediados de los ochenta, se realizaron pruebas empleando una constelación parcial de satélites. A mediados de los noventa, la técnica se trasladó del entorno académico a la industria, y las conferencias y reuniones de este periodo están repletas de artículos de las compañías cartográficas comerciales describiendo sus experiencias prácticas con la fotogrametría aérea asistida por **G.P.S.** Efectivamente, y a finales de los noventa, la técnica se había extendido de manera ubicua tanto por las comunidades académicas, como por las comerciales.

2.1. La inclusión de observaciones de **G.P.S.** vía observaciones de posición

La técnica casi universalmente aplicada para combinar los datos fotogramétricos y de **G.P.S.**, es el uso de las observaciones de posición de **G.P.S.** en los ajustes de haces (bloque) fotogramétricos. En este método, las mediciones de **G.P.S.** recién obtenidas se procesan inicialmente, empleando un programa externo de procesamiento cinemático de **G.P.S.**, que da la posición y la estimación de la covarianza. A continuación, estas posiciones se incluyen en los ajustes de haces empleando simples ecuaciones de los parámetros de las observaciones. Nominalmente estas ecuaciones son del tipo de

$$r_{GPS}^M(t) = r_c^M(t) + R_c^M(t)r_{GPS}^c, \quad (1)$$

donde $r_{GPS}^M(t)$ es la observación de posición que se relaciona con el centro de perspectiva de la cámara $r_c^M(t)$, mediante el brazo de

unión de la cámara y la antena del **G.P.S.** $r_{GPS}^c \cdot R_c^M(t)$ es la matriz de rotación que alinea el marco de referencia de la cámara con el del espacio cartográfico. En la práctica, las observaciones de **G.P.S.** no se corresponden con los actuales tiempos de exposición, por lo que las

posiciones de exposición deben de ser interpoladas a partir de las posiciones **G.P.S.** adyacentes. Además, las estimaciones de la precisión de la posición obtenidas con el procesador, son frecuentemente optimistas, por lo que deben escalarse para hacer en el ajuste unas ponderaciones consistentes con los pesos del resto de las observaciones.

La ecuación (1) frecuentemente se amplía para incluir a los términos del sesgo y de la deriva lineal, dependiente del tiempo,

$$r_{GPS}^M(t) = r_c^M(t) + R_c^M(t)r_{GPS}^c + (b_{GPS}^M + d_{GPS}^M(t - t_0)) \quad (2)$$

estos dos términos, denotados como b_{GPS}^M y d_{GPS}^M respectivamente, pretenden primariamente compensar una incorrecta resolución de la ambigüedad en el procesador externo del **G.P.S.** ya que se asume que éste y otros errores del **G.P.S.** se manifiestan linealmente en las posiciones del **G.P.S.** A cada pasada de imágenes se le asigna su propio conjunto de parámetros. Si en el ajuste también se emplea control terrestre, los términos del sesgo y de la deriva son también los responsables de las inconsistencias entre las posiciones del datum y del **G.P.S.** Bien es cierto que, con los modernos receptores y "software" de proceso, es razonable alcanzar la conclusión de que los términos del sesgo y de la deriva estén probablemente compensando los desplazamientos del datum y otros errores, en lugar de modelar incorrectamente a la hora de resolver las ambigüedades.

Como se evidencia por su amplia aceptación, la inclusión de datos de **G.P.S.** en el ajuste vía observaciones de posición, tiene diversas ventajas; sin embargo, también tiene sus problemas. En el aspecto positivo resulta que es conceptualmente simple y fácil de implementar. El programa de ajuste fotogramétrico sólo precisa de mínimos cambios y no hay que hacer ningún cambio en el procesador de **G.P.S.** En cuanto a lo negativo, dado que el proceso de los datos de **G.P.S.** se hace completamente independiente del procesador fotogramétrico, no se beneficia de la información fotogramétrica. Más aun, el combatir los errores del **G.P.S.** empleando el método del sesgo y de la deriva presupone que los errores del **G.P.S.** se manifiestan como errores lineales en las posiciones. En realidad este no es siempre el caso (Jacobsen y Schmith, 1996). Además, para introducir en el ajuste los parámetros del sesgo y de la deriva, se necesita que se hayan volado, medido y ajustado pasadas transversales, ya que de otro modo, los parámetros no son determinables. Finalmente, el usar observaciones de posición tiene varias pegas en la práctica, incluyendo al hecho de que los operadores han de ser expertos en dos paquetes de programas diferentes, y que pueden surgir dificultades en la transferencia de resultados del procesador de **G.P.S.** al ajuste por haces.

2.2. Incluyendo las observaciones de **G.P.S.**

Según afirma el autor, la única otra investigación sobre una técnica diferente para integrar la fotogrametría y el **G.P.S.**, se inició a mediados

de los 90, en la Universidad de Hannover junto con "Geo++ GmbH". En su ingenioso método, expuesto por Jacobsen y Schmitz (1996) y Kruck y alumnos (1996), las correcciones constantes del rango de la estación al "satélite-en-la-exposición", se calculan dentro del ajuste de haces para cada satélite de **G.P.S.** cuya ambigüedad no hubiese sido fijada con fiabilidad en el procesador cinemático de **G.P.S.** El desarrollo de este método comienza con las ecuaciones lineales de rangos de observaciones, en las que las correcciones adicionales de los rangos "delta I" son separadas explícitamente de las mediciones de rangos "I":

$$I + \Delta I + Ax \quad (3)$$

en la ecuación (3), x es el vector de las coordenadas de **G.P.S.** y A es la matriz de diseño del **G.P.S.** (es decir las derivadas parciales del rango geométrico con respecto a las componentes de las coordenadas). Resolviendo esta ecuación por mínimos cuadrados se obtiene:

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P I + (A^T P A)^{-1} A^T P \Delta I \quad (4)$$

esta ecuación tiene dos términos: el primero es el vector de las coordenadas de **G.P.S.**, que se debía resolver en ausencia de las correcciones de los rangos "delta I", y el segundo es un vector de las correcciones de las coordenadas que resultan a partir de estas correcciones de rangos. Este segundo término se introduce en la ecuación de observación de la posición del **G.P.S.** dentro del ajuste por haces, y reemplaza efectivamente a los términos del sesgo y de la deriva del método convencional.

$$r_{GPS}^M(t) = r_c^M(t) + R_c^M(t) r_{GPS}^c + (A^T P A)^{-1} A^T P \Delta I \quad (5)$$

a continuación se añaden al ajuste por haces las correcciones de los rangos "delta I" como parámetros incógnitos.

Esta técnica de integración presenta diversas ventajas sobre la estrategia tradicional de integración de observaciones de posición de **G.P.S.**/Fotogrametría, aunque realmente no es una integración "rigurosa" como se pretende. Las mejoras sobre el método tradicional son las siguientes:

- se tienen mejor en cuenta los errores actuales del **G.P.S.**
- se reduce (en general) el número de incógnitas
- no se precisan pasadas trasversales
- los errores de **G.P.S.** pueden separarse mejor de los parámetros de orientación interior y del datum

A pesar de estas ventajas es, no obstante, importante el señalar que la única información de **G.P.S.** introducida en el ajuste de haces es de naturaleza geométrica. Los propios rangos de **G.P.S.** no se emplean, y así la integración se hace efectivamente todavía en el espacio objeto. En otras palabras, dado que las actuales mediciones de **G.P.S.** no se emplean directamente en el ajuste, la integración es aun incompleta. Además, el flujo entre los procesadores fotogramétricos y de **G.P.S.** es, al igual que el método convencional, unidireccional. Para ser justos, los

autores del método señalan que "la re-sustitución de los términos (corrección de rangos) es factible (dentro del procesador de **G.P.S.**)"; sin embargo, llegan a la conclusión de que "no es de mucho interés, ya que las técnicas de proceso están mejorando" (Jacobsen y Schmitz, 1996).

2.3. El ajuste combinado de las mediciones fotogramétricas y del G.P.S.

La integración de la fotogrametría y del **G.P.S.** es verdadera y únicamente total, cuando se efectúa a nivel de las mediciones, y la forma más fácil de hacer esto es mediante un ajuste combinado. En el ajuste combinado todas las mediciones se introducen en un solo ajuste por mínimos cuadrados. Se admite que esto es conceptualmente muy sencillo, pero a juicio y conocimiento del autor, no ha sido mencionado con anterioridad en la literatura fotogramétrica o de **G.P.S.**.

La estrategia de la integración en un ajuste combinado debe ofrecer diversos beneficios. Tal vez el más esperado de los mismos sea la mejora en la fiabilidad; en particular, una mejor habilidad para detectar los errores del **G.P.S.** Otro beneficio práctico importante es que el proceso es más rápido y sencillo, ya que solo precisa que el operador esté familiarizado con un único paquete de programas. El ajuste combinado también permitirá emplear datos de **G.P.S.** cuando se disponga de datos procedentes de menos de cuatro satélites, lo que no sucede en las actuales estrategias de integración. En tanto que esto no es particularmente importante para la cartografía aerotransportada, puede tener su aplicación en los sistemas cartográficos terrestres. Y otro beneficio que obviamente se esperaba era un aumento en la precisión cartográfica. Sin embargo, los resultados iniciales indican que puede que no sea este el caso. En la sección 5 se dan más detalles acerca de esto.

3. TEORÍA

El ajuste combinado de las mediciones fotogramétricas y del **G.P.S.** tiene relativamente una menor novedad teórica. Esto se debe a que la teoría que respalda el ajuste individual de las mediciones fotogramétricas y de **G.P.S.** ha sido ya bien establecida.

3.1. La modificación de las ecuaciones de colinearidad

Las ecuaciones de colinearidad son la base de la fotogrametría analítica. Describen convencionalmente la relación entre un punto del espacio objeto, la medición de la imagen de dicho punto, y el centro perspectivo de la cámara. Sin embargo, en el ajuste combinado, es conveniente el replantearlas de nuevo, de manera que sean funciones explícitas de las coordenadas de **G.P.S.** asociadas con las estaciones de exposición. Esto es ventajoso, dado que las ecuaciones de las observaciones de **G.P.S.** son también función de las coordenadas de **G.P.S.**, y el hacer

las ecuaciones de colinearidad iguales, facilita la inclusión de las ecuaciones de **G.P.S.**

La derivación de las ecuaciones de colinearidad modificadas empleadas en el ajuste combinado, comienza con una transformación conforme que relaciona las posiciones del **G.P.S.** con las coordenadas imagen

$$\mathbf{r}_p^M = \mathbf{r}(\mathbf{t})_{GPS}^M - \mathbf{R}_c^M(\mathbf{t})(\mathbf{r}_{GPS}^c - \mu_p^P \mathbf{r}_p^c) \quad (6)$$

reordenando la ecuación (2), se encuentra que la transformación inversa es

$$\mathbf{r}_p^c = \frac{1}{\mu_p^P} \left[\mathbf{R}_M^c(\mathbf{r}_p^M - \mathbf{r}(\mathbf{t})_{GPS}^M) + \mathbf{r}_{GPS}^c \right] \quad (7)$$

la eliminación de la tercera ecuación conduce a las ecuaciones de colinearidad modificadas, que son funciones explícitas de las coordenadas de **G.P.S.**

$$\begin{aligned} x_p &= \frac{r_{11}(X_p - X_{GPS}) + r_{12}(Y_p - Y_{GPS}) + r_{13}(Z_p - Z_{GPS}) + x_{GPS}}{r_{31}(X_p - X_{GPS}) + r_{32}(Y_p - Y_{GPS}) + r_{33}(Z_p - Z_{GPS}) + z_{GPS}} \\ x_p &= \frac{r_{21}(X_p - X_{GPS}) + r_{22}(Y_p - Y_{GPS}) + r_{23}(Z_p - Z_{GPS}) + y_{GPS}}{r_{31}(X_p - X_{GPS}) + r_{32}(Y_p - Y_{GPS}) + r_{33}(Z_p - Z_{GPS}) + z_{GPS}} \end{aligned} \quad (8)$$

estas ecuaciones de colinearidad modificadas fueron identificadas por vez primera por Ellum (2001).

Como ya se mencionó arriba, la gran ventaja de las ecuaciones de colinearidad modificadas es que facilitan la posterior inclusión de las ecuaciones de las observaciones de **G.P.S.**; sin embargo, existe además un número de ventajas añadidas. Por ejemplo, dado que las posiciones de **G.P.S.** son una de las cantidades a ajustar, dichas posiciones de **G.P.S.** pueden emplearse directamente como observaciones de parámetros, sin tener que incluir el brazo de sustentación del **G.P.S.**, como sucedía en la ecuación 1. El ajustar directamente las posiciones de **G.P.S.** también significa que son una de las magnitudes obtenidas como resultado del ajuste. Esto permite una fácil comparación con las posiciones de entrada, lo que a su vez simplifica el análisis de los resultados. Finalmente, si las ecuaciones de colinearidad modificadas se emplean en sistemas con cámaras múltiples (por ejemplo en sistemas terrestres en furgonetas), todas las cámaras se pueden referenciar a una posición común.

3.2. Ecuaciones de observación del G.P.S.

La inclusión en el ajuste de mediciones del código y de la fase de la portadora se realiza empleando ecuaciones convencionales de observaciones de **G.P.S.** Es posible el incluir cualquier tipo de observación de **G.P.S.**, pero hasta el momento, sólo se han examinado mediciones de rangos de códigos sin diferenciar; y de mediciones de las dobles diferencias de códigos y de fase de la portadora. En las mediciones sin diferenciar de los rangos de códigos, la ecuación de observación es:

$$\mathbf{p} = |\mathbf{r}_{GPS/SV}| + c\Delta t_{rx} \quad (9)$$

donde **p** es la medición del rango de códigos, $\mathbf{r}_{GPS/SV}$ es el vector de las diferencias de las coordenadas "antena-a-satélite", **c** es la velocidad de la luz y "delta t_{rx} " es el sesgo del reloj del receptor. Este último término se añade al ajuste como incógnita, de modo que para cada época de observaciones de **G.P.S.** se necesita un "offset" del reloj. La ecuación de observación para la medición de las dobles diferencias de los rangos de códigos se halla diferenciando dos veces la ecuación (9) en dos estaciones terrestres y en dos satélites. Explícitamente esto es

$$\Delta \nabla \mathbf{p} = (|\mathbf{r}_{m/b}| - |\mathbf{r}_{m/i}|) - (|\mathbf{r}_{r/b}| - |\mathbf{r}_{r/i}|) \quad (10)$$

la doble diferenciación de la medición de los rangos de códigos se representa por "delta nabla **p**" y las estaciones "master" (maestra) y remota por **m** y **r** respectivamente. La base y el otro satélite se representan mediante **b** e **i**. Al contrario que en las observaciones de códigos no diferenciadas, las observaciones de códigos doblemente diferenciadas no requieren la adición al ajuste de ningún otro parámetro. Finalmente, para la medición de las dobles diferencias de fase de la portadora, la ecuación de observación es:

$$\Delta \nabla \Phi = (|\mathbf{r}_{m/b}| - |\mathbf{r}_{m/i}|) - (|\mathbf{r}_{r/b}| - |\mathbf{r}_{r/i}|) + \Delta \nabla \mathbf{N} \quad (11)$$

en donde "delta nabla Φ " indica la medición de las dobles diferencias de fase, y "delta nabla **N**" las dobles diferencias de ambigüedad de fase, que se incluye como parámetro en el ajuste. Se requiere de una ambigüedad para cada satélite que sea seguido de forma continuada; en caso de que se perdiera el contacto con el satélite, se necesitaría de una nueva ambigüedad.

4. IMPLEMENTACIÓN

A la hora de implementar un ajuste combinado **G.P.S./Fotogramétrico** existen diversos obstáculos que se deben de superar, pero ninguno tan importante como la cantidad de programas que hay que desarrollar. Una medida de este esfuerzo se ve en las más de 85.000 líneas de código que el programa actual tiene.

4.1. Estructura del ajuste combinado

El programa de ajuste combinado se ha implementado empleando subajustes de **G.P.S./Fotogrametría** que se conectan de una forma jerárquica al objeto raíz del ajuste. Los ajustes "hijos" operan de forma totalmente independiente entre sí, y ofrecen muy pocas rutinas accesibles al público. Estas rutinas efectúan tareas del tipo: cálculo de las aproximaciones de los parámetros, validación de las magnitudes del ajuste, y la más importante, la de procesar las observaciones por mínimos cuadrados. Luego, el ajuste "raíz" recaba a estas rutinas de ajuste "hijas" en el

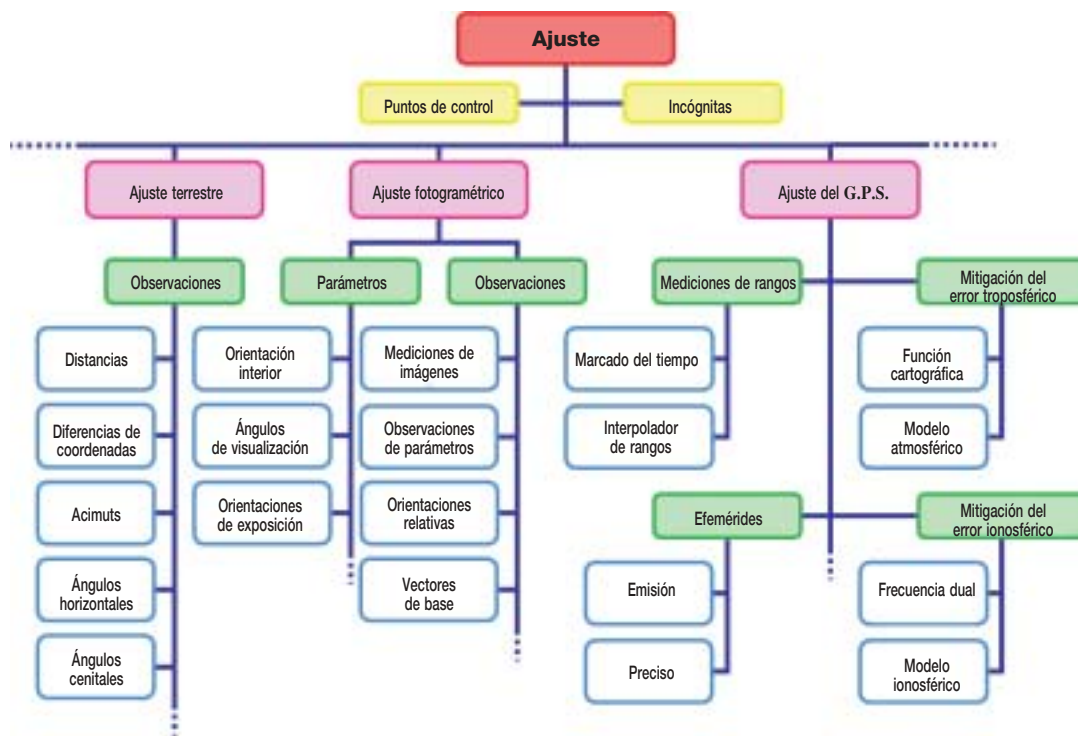


Figura 1. Estructura del programa de ajuste combinado

orden adecuado. Cada ajuste "hijo" es responsable de manipular únicamente los parámetros que le incumben. Por ejemplo: el ajuste fotogramétrico debe de determinar cuántos parámetros de orientación interior desconocidos existen, actualizar dichos parámetros en las iteraciones, e informar al ajuste "padre o raíz" sobre cuándo han convergido. Igualmente, el ajuste del G.P.S. debe hacer lo mismo con los sesgos del reloj del receptor. Los únicos parámetros de los que es responsable el ajuste "padre o raíz" son las incógnitas de posición. En la figura 1 se muestra el marco de trabajo jerárquico del ajuste. En adición a los ajustes G.P.S./Fotogramétricos esta figura nos muestra el ajuste "hijo" adicional de la red terrestre, que ha sido también parcialmente implementado.

Además de las tareas arriba mencionadas, el ajuste "raíz o padre" es también responsable de resolver el sistema de ecuaciones por mínimos cuadrados. Esto ha sido también hecho tan flexible como ha sido posible, delegando el actual código numérico de los mínimos cuadrados a una solución objeto por mínimos cuadrados. Esta solución objeto contiene unas rutinas genéricas que realizan lo siguiente:

1. añaden observaciones al sistema de ecuaciones de los mínimos cuadrados
2. resuelven el sistema de ecuaciones de los mínimos cuadrados
3. determinan la matriz final de la varianza-covarianza de los parámetros.

Se han implementado diversas soluciones objeto, incluyendo una que emplea las ecuaciones normales, y otra que emplea la transformación de la matriz en otra triangular y ortogonal. En el primer caso, las observaciones se añaden empleando los sumatorios de las normales; en el otro

caso, se procesan las observaciones usando las rotaciones dadas. En Ellum (2004) podemos consultar notas adicionales con respecto a la consideración de los rendimientos del actual diseño del ajuste combinado.

4.2. Notas sobre el ajuste de G.P.S.

El procesador de G.P.S. empleado en el ajuste combinado, posee diversas peculiaridades cuando se compara con otros procesadores de G.P.S. Para empezar como los tiempos de las exposiciones no coinciden con las mediciones de G.P.S., el procesador puede interpolar entre las "épocas" de las mediciones de G.P.S. Se usa la interpolación polinómica, y las pruebas han mostrado que la interpolación lineal origina en los resultados del posicionamiento una degradación despreciable o inexistente. El ajuste del G.P.S. se diseñó desde su inicio de manera que se pudiesen emplear en él, múltiples (es decir, más de dos) estaciones de G.P.S. En tanto que esto, de por sí, no es demasiado inusual; lo que es bastante único es que ninguna de las estaciones necesite tener coordenadas fijas. En lugar de un control fijo de G.P.S., el datum de la red completa puede controlarse a partir de la información procedente de otro ajuste "hijo" – por ejemplo, con puntos de control terrestre que sean parte del ajuste fotogramétrico, o con ángulos cenitales del ajuste de la red terrestre.

Debe de enfatizarse que todos los parámetros incógnitos del ajuste combinado, incluidos los parámetros específicos del G.P.S., se resuelven mediante un ajuste "por lotes" (batch). Esto representa un contraste con la mayoría del "software" de proceso de G.P.S., que, incluso en

los periodos estáticos, usa un filtro de Kalman operando secuencialmente en el tiempo. El ajuste "por lotes" incluye tanto a las épocas de mediciones estáticas como a las dinámicas. Aunque el ajuste sólo opera con épocas discretas de datos de G.P.S., con un modelo de conexión independiente del tiempo, es aun necesario discurrir secuencialmente a través de cada archivo de datos G.P.S. Esto es preciso para poder efectuar un suavizado de la fase de la portadora de los rangos de los códigos, interpolar las observaciones, detectar los fallos de ciclos que originan las ambigüedades, y seguir los cambios de base de los satélites.

5. PRUEBAS

El ajuste combinado ha sido comprobado comparándolo con la ya existente técnica de observaciones de posicionamiento. En todas las pruebas, las observaciones se generaron empleando el programa de ajuste y la misma configuración que en el ajuste combinado, a excepción de que no se incluyeron las mediciones en imágenes. Se ha encontrado que las observaciones de posición generadas como tales, poseen igual o mejor precisión que las correspondientes posiciones generadas mediante un procesador cinemático comercial que usaba el mismo tipo de observaciones.

La comparación de resultados se hará primariamente empleando las desviaciones típicas de los errores de los puntos de comprobación. Se ha de tener en cuenta del hecho que en las redes determinadas empleando rangos de códigos de G.P.S. no diferenciados, siempre se presentará un error medio –ocasionado primariamente a causa de los retardos troposféricos no modelados. Más aun, en ambas redes sólo se disponía de altitudes ortométricas en los puntos de comprobación.

Los resultados abajo presentados, reemplazan a los resultados de pruebas prácticas semejantes expuestos en Ellum (2004). Debido a problemas de implementación, los resultados allí dados no deben ya considerarse que reflejen el rendimiento del ajuste combinado.

5.1. Descripción de los datos

El conjunto de datos usado para las pruebas consistió en un bloque de 42 imágenes aéreas capturadas a una escala de fotografía de aproximadamente 1:15.000. La adquisición de imágenes se efectuó empleando una cámara digital con una resolución de 4.077 x 4.092 píxeles. Existían coordenadas de 53 puntos sobre el terreno. En el aeroplano se recogieron los datos del G.P.S. a 2 Hz. y a 1 Hz. en una estación "master" terrestre localizada en el centro del bloque. En la figura 2 se puede observar la disposición del bloque.

5.2. Resultados

Los primeros ajustes efectuados con estos datos se efectuaron con el fin de establecer el nivel de ruido inherente a la red. Este nivel de ruido,

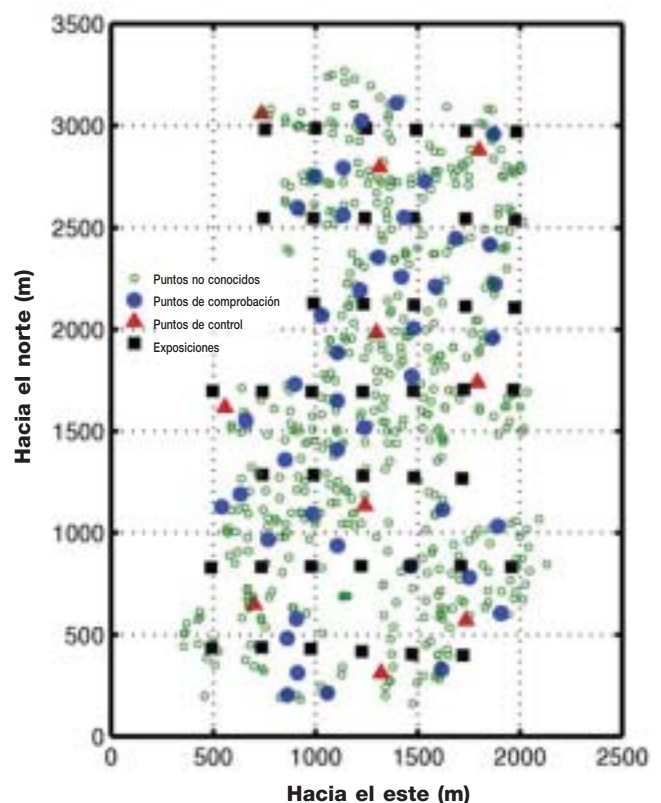


Figura 2. Zona de pruebas de las imágenes digitales

que se debe primordialmente al ruido de medición en las imágenes, fue observado empleando dos configuraciones: una red controlada usando puntos sobre el terreno, y una red controlada usando las mejores posiciones de G.P.S. disponibles. En la red controlada usando puntos sobre el terreno, para hacer el control se seleccionaron 10 puntos bien distribuidos, y los puntos restantes –43 en total– se emplearon como puntos de comprobación. La figura 2 muestra la distribución de estos puntos. En la red controlada usando posiciones de G.P.S., las observaciones de la posición de las estaciones de observación se generaron empleando un procesador comercial de G.P.S. que empleaba datos de frecuencia dual. Las ambigüedades se supusieron fijas en todas las estaciones. Para la consistencia del estudio, y para generar las estadísticas, se utilizaron los mismos 43 puntos de comprobación que en el ajuste controlado sobre el terreno.

Los resultados de estas dos configuraciones de red se muestran en las tablas 1 y 2. Los resultados obtenidos con ambas configuraciones indican que hay 15 cm. de ruido horizontal y 35 cm. de ruido vertical en la red. Se piensa que estas son las precisiones mejores alcanzables con los datos, y constituyen la base de comparación para ulteriores pruebas. Como se señala arriba, la gran diferencia en los errores verticales medios de las observaciones de posición controladas mediante G.P.S. se debe a que los puntos de comprobación emplearon altitudes ortométricas.

Tabla 1. Estadísticas de los puntos de comprobación de la red controlada sobre el terreno

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	0,20	-0,04
Desviación típica (m)	0,13	0,35

Tabla 2. Estadísticas de los puntos de comprobación de la red controlada usando las mejores posiciones de G.P.S. disponibles

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	0,28	-40,16
Desviación típica (m)	0,21	0,37

RANGOS SIN DIFERENCIAR

Las primeras pruebas de ajuste combinado se realizaron usando rangos de códigos sin diferenciar. El nuevo ajuste combinado se compara en las tablas 3 y 4 con el tradicional método de observaciones de posición. Desafortunadamente, los resultados de estas tablas indican que el ajuste combinado no parece ofrecer ninguna mejora en la precisión.

Tabla 3. Estadísticas de los puntos de comprobación en ajuste combinado realizado usando rangos de códigos sin diferenciar

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	3,97	-53,46
Desviación típica (m)	0,71	1,51

Tabla 4. Estadísticas de los puntos de comprobación para observaciones de posición con rangos de códigos sin diferenciar

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	4,04	-53,36
Desviación típica (m)	0,75	1,47

Las tablas 5 y 6 muestran el resultado cuando se emplean observaciones suavizadas sin diferenciar, de fase de la portadora, tanto en el ajuste combinado como para generar observaciones de posición. Aquí, el ajuste combinado ofrece alguna mejora en la precisión horizontal.

Tabla 5. Estadísticas de los puntos de comprobación en ajuste combinado realizado empleando rangos de códigos suavizados y sin diferenciar

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	4,11	-53,65
Desviación típica (m)	0,40	1,34

Tabla 6. Estadísticas de los puntos de comprobación con observaciones de posición con rangos de códigos suavizados y sin diferenciar

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	4,11	-53,18
Desviación típica (m)	0,78	1,42

DOBLE DIFERENCIACIÓN DE RANGOS DE CÓDIGO

En el siguiente grupo de pruebas intervienen las dobles diferencias de los rangos de códigos. Con rangos sin suavizar, el ajuste combinado muestra un ligero aumento de precisión, como se puede ver en las tablas 7 y 8. Sin embargo, con los rangos suavizados de fase de la portadora, el ajuste combinado da virtualmente los mismos resultados que cuando se usan observaciones de posición. Sorprendentemente, con los rangos suavizados, tanto el ajuste combinado como las observaciones de posición ofrecen precisiones que son efectivamente equivalentes a los mejores resultados posibles de la red.

Tabla 7. Estadísticas de los puntos de comprobación en ajuste combinado realizado usando dobles diferencias de los rangos de códigos

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	1,31	-40,22
Desviación típica (m)	0,15	0,66

Tabla 8. Estadísticas de los puntos de comprobación para observaciones de posición con dobles diferencias de los rangos de códigos

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	1,51	-39,67
Desviación típica (m)	0,32	0,75

Tabla 9. Estadísticas de los puntos de comprobación en ajuste combinado realizado usando dobles diferencias suavizadas de los rangos de códigos

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	0,36	-40,78
Desviación típica (m)	0,17	0,38

Tabla 10. Estadísticas de los puntos de comprobación para observaciones de posición usando dobles diferencias suavizadas de los rangos de códigos

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	0,31	-40,73
Desviación típica (m)	0,15	0,36

DOBLE DIFERENCIACIÓN DE RANGOS DE CÓDIGO Y FASES DE LA PORTADORA

El grupo final de pruebas empleó una doble diferenciación de los rangos de códigos y de las fases de la portadora. En el ajuste se estimaron las ambigüedades reales. Las tablas 11 y 12 muestran los resultados de estas pruebas. Una vez más, los métodos del ajuste combinado y de las observaciones de posición conducen a resultados casi idénticos. Notablemente, los resultados en ambos casos son peores que cuando solo se empleaban los rangos de códigos suavizados. La causa de esto puede ser que algunas de las ambigüedades fueron únicamente observadas en algunas pocas estaciones, y en consecuencia, no pudieron ser estimadas fiablemente en el ajuste.

Tabla 11. Estadísticas de los puntos de comprobación en ajuste combinado realizado usando dobles diferencias suavizadas de los rangos de códigos y de las fases de la portadora

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	0,54	-40,80
Desviación típica (m)	0,23	0,37

Tabla 12. Estadísticas de los puntos de comprobación para observaciones de posición con dobles diferencias suavizadas de los rangos de códigos y de las fases de la portadora

Estadísticas	Horizontal	Vertical
Media (m)	0,58	-40,55
Desviación típica (m)	0,24	0,37

5.3. Análisis

La observación más obvia que se puede hacer a la vista de los anteriores resultados, es que el ajuste combinado no ofrece una mejora real en precisión con respecto al método de las observaciones de posición. Sólo se experimentó una notable mejora en la precisión en dos casos. Se admite que esto fue un tanto inesperado y descorazonador; sin embargo, el ajuste combinado tiene aun ventajas de fiabilidad sobre el método tradicional, pero se necesita experimentar más para confirmar o descartar esta hipótesis.

Otra sorprendente observación es que, se use la técnica que se use, el simple uso de las dobles diferencias suavizadas de los rangos de códigos dio unas precisiones en los puntos de comprobación que eran virtualmente las mismas que las obtenidas con las mejor controladas configuraciones de red. Esto indica que puede que no sea necesaria la fijación difícil y poco fiable de las ambigüedades, y que el uso de receptores de

frecuencia única, más baratos, sea más que suficiente para las configuraciones de redes más comúnmente encontradas. Estos resultados contradicen a las creencias más comunes.

6. VISIÓN FINAL

Las pruebas del ajuste combinado realizadas para este artículo no han sido lo suficientemente detalladas para permitir alcanzar unas conclusiones concretas con respecto a las prestaciones de este método. Hasta el momento, parece que el ajuste combinado no ofrece una mejor precisión que el método tradicional de integrar el G.P.S. y la fotogrametría. Sin embargo, el ajuste combinado sí presenta los beneficios de ser un proceso extremadamente fluido y de flexible uso, de las mediciones de G.P.S. tal como se describe en la sección 2.3, de modo que el uso del ajuste combinado, aun sin la mejora de la precisión, puede ser ventajoso. Adicionalmente, la importante cuestión acerca de si la técnica ofrece una mejora de la fiabilidad, no ha sido aun abordada.

Es posible hacer diversas mejoras en el ajuste combinado. Estas mejoras deberían incrementar su precisión. Actualmente, por ejemplo, el cambio del satélite base, introduce un nuevo conjunto de ambigüedades en el ajuste. Sin embargo, en el supuesto de que no se presente un salto de ciclo durante el cambio del satélite base, es posible añadir ecuaciones de restricciones al ajuste, que transfieran efectivamente las antiguas ambigüedades al nuevo satélite base (Radovanovic, 2002). Esto permitiría que cualquier sesión estática al comienzo y al final de los vuelos, pudiera ser empleada para ayudar a la resolución de las ambigüedades. Otra mejora es la de permitir la resolución de la ambigüedad entera (integer) en el ajuste. Ya se ha implementado la parte de programa que hace esto, pero no ha sido aun probada.

También se necesita hacer pruebas con otras configuraciones de red. Las configuraciones candidatas para ello incluirían a redes en las que:

- se emplean menos de cuatro satélites
- las estaciones "master" de G.P.S. no son fijas
- se emplean distintas configuraciones de bloques no estándar

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Joe Hutton y al Dr. Mohammed Mustapha de "Applanix Inc." el habernos suministrado el conjunto de datos. La financiación de este proyecto de investigación fue aportada por "Killam Trusts" y el "Natural Sciences and Engineering Research Council" (NSERC) de Canadá.

REFERENCIAS

- Ackermann, F. (1992). *Kinematic GPS control for photogrammetry*. Photogrammetric Record, Vol. 14, No. 80, pp. 261–276.
- Brown, D.C. (1976). *The bundle adjustment - progress and prospects*. Proceedings of the 13th ISPRS Congress. Helsinki, Finland. International Archives of Photogrammetry, Vol. 21.
- Ellum, C.M. (2004). *Integration of Raw GPS Measurements into a Bundle Adjustment*. Proceedings of the 20th ISPRS Congress. July 12-23. Istanbul, Turkey. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 35.
- Jacobsen, K. & M. Schmitz. (1996). *A new approach of combined block adjustment using GPS-satellite constellation*. Proceedings of the 18th ISPRS Congress. July 9-19. Vienna, Austria. International Archives of Photogrammetry, Vol. 31.
- Kruck, E., G. Wübbena & A. Bagge. (1996). *Advanced combined bundle block adjustment with kinematic GPS data*. Proceedings of the 18th ISPRS Congress. July 9-19. Vienna, Austria. International Archives of Photogrammetry, Vol. 31.
- Leick, A. (1995), *GPS Satellite Surveying*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S. & McGlone, J. C., 2001. *Introduction to Modern Photogrammetry*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Radovanovic, R.S. (2002). *The Adjustment of Satellite-Based Ranging Observations for Precise Positioning and Deformation Monitoring*. Ph. D. Dissertation, The University of Calgary, Calgary, Canada. UCGE Report Number 20166. ■

Legislación

18770 REAL DECRETO 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales.

La progresiva armonización de los sistemas universitarios exigida por el proceso de construcción del Espacio Europeo de Educación Superior, iniciado en 1999 con la Declaración de Bolonia y la consiguiente interacción operada entre tales sistemas por las diversas normativas nacionales sucesivamente promulgadas, ha dotado de una dimensión y de una agilidad sin precedentes al proceso de cambio emprendido por las universidades europeas.

Cercano ya el horizonte de 2010 previsto por la citada Declaración para la plena consecución de sus objetivos, el sistema español, aun habiendo dado notables pasos hacia la convergencia mediante la sucesiva adopción de normativas puntuales, adolecía, sin embargo, del adecuado marco legal que, de un modo global, sustentara con garantías la nueva construcción.

La Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades, sienta las bases precisas para realizar una profunda modernización de la Universidad española. Así, entre otras importantes novedades, el nuevo Título VI de la Ley establece una nueva estructuración de las enseñanzas y títulos universitarios oficiales que permite reorientar, con el debido sustento normativo, el proceso anteriormente citado de convergencia de nuestras enseñanzas universitarias con los principios dimanantes de la construcción del Espacio Europeo de Educación Superior.

El presente real decreto, siguiendo los principios sentados por la citada Ley, profundiza en la concepción y expresión de la autonomía universitaria de modo que en lo sucesivo serán las propias universidades las que crearán y propondrán, de acuerdo con las reglas establecidas, las enseñanzas y títulos que hayan de impartir y expedir, sin sujeción a la existencia de un catálogo previo establecido por el Gobierno, como hasta ahora era obligado.

Asimismo, este real decreto adopta una serie de medidas que, además de ser compatibles con el Espacio Europeo de Educación Superior, flexibilizan la organización de las enseñanzas universitarias, promoviendo la diversificación curricular y permitiendo que las universidades aprovechen su capacidad de innovación, sus fortalezas y oportunidades. La flexibilidad y la diversidad son elementos sobre los que descansa la propuesta de ordenación de las enseñanzas oficiales como mecanismo de respuesta a las demandas de la sociedad en un contexto abierto y en constante transformación.

Por otra parte, la nueva organización de las enseñanzas universitarias responde no sólo a un cambio estructural sino que además impulsa un cambio en las metodologías docentes, que centra el objetivo en el proceso de aprendizaje del estudiante, en un contexto que se extiende ahora a lo largo de la vida.

Para conseguir estos objetivos, en el diseño de un título deben reflejarse más elementos que la mera descripción de los contenidos formativos. Este nuevo modelo concibe el plan de estudios como un proyecto de implantación de una enseñanza universitaria. Como tal proyecto, para su aprobación se requiere la aportación de nuevos elementos como: justificación, objetivos, admisión de estudiantes, contenidos, planificación, recursos, resultados previstos y sistema de garantía de calidad.

Los planes de estudios conducentes a la obtención de un título deberán, por tanto, tener en el centro de sus objetivos la adquisición de competencias por parte de los estudiantes, ampliando, sin excluir, el tradicional enfoque basado en contenidos y horas lectivas. Se debe hacer énfasis en los métodos de aprendizaje de dichas competencias así como en los procedimientos para evaluar su adquisición. Se proponen los créditos europeos, ECTS, tal y como se definen en el Real Decreto 1125/2003, de 5 de septiembre, como unidad de medida que refleja los resultados del aprendizaje y volumen de trabajo realizado por el estudiante para alcanzar los objetivos establecidos en el plan de estudios, poniendo en valor la motivación y el esfuerzo del estudiante para aprender.

La nueva organización de las enseñanzas incrementará la empleabilidad de los titulados al tiempo que cumple con el objetivo de garantizar su compatibilidad con las normas reguladoras de la carrera profesional de los empleados públicos.

Por otro lado, en el supuesto de títulos que habiliten para el acceso o ejercicio de actividades profesionales, se prevé que el Gobierno establezca las condiciones a las que deberán adecuarse los planes de estudios para garantizar que los títulos acreditan la posesión de las competencias y conocimientos adecuados para dicho ejercicio profesional.

La posibilidad de introducir prácticas externas viene a reforzar el compromiso con la empleabilidad de los futuros graduados y graduadas, enriqueciendo la formación de los estudiantes de las enseñanzas de grado, en un entorno que les proporcionará, tanto a ellos como a los responsables de la formación, un conocimiento más profundo acerca de las competencias que necesitarán en el futuro.

Los sistemas de Garantía de la Calidad, que son parte de los nuevos planes de estudios, son, asimismo, el fundamento para que la nueva organización de las enseñanzas funcione eficientemente y para crear la confianza sobre la que descansa el proceso de acreditación de títulos.

En este real decreto, la autonomía en el diseño del título se combina con un adecuado sistema de evaluación y acreditación, que permitirá supervisar la ejecución efectiva de las enseñanzas e informar a la sociedad sobre la calidad de las mis-

mas. La concreción del sistema de verificación y acreditación permitirá el equilibrio entre una mayor capacidad de las universidades para diseñar los títulos y la rendición de cuentas orientada a garantizar la calidad y mejorar la información a la sociedad sobre las características de la oferta universitaria. La acreditación de un título se basará en la verificación del cumplimiento del proyecto presentado por la Universidad y facilitará la participación en programas de financiación específicos como, por ejemplo, de movilidad de profesores o estudiantes.

Se establece, también, en el presente real decreto un sistema de acceso y admisión a las diferentes enseñanzas que aporta mayor claridad y transparencia, contemplando las distintas situaciones de transición desde ordenaciones anteriores a la actual. Se garantizan los derechos académicos adquiridos por los estudiantes y los titulados conforme a sistemas educativos anteriores quienes, no obstante, podrán cursar las nuevas enseñanzas y obtener los correspondientes títulos, a cuyo efecto las universidades, en el ámbito de su autonomía, determinarán, en su caso, la formación adicional necesaria que hubieran de cursar para su obtención.

Además, los sistemas de acceso potencian la apertura hacia los estudiantes procedentes de otros países del Espacio Europeo de Educación Superior y de otras áreas geográficas, marcando una nueva estrategia en el contexto global de la Educación Superior.

Por otra parte, uno de los objetivos fundamentales de esta organización de las enseñanzas es fomentar la movilidad de los estudiantes, tanto dentro de Europa, como con otras partes del mundo, y sobre todo la movilidad entre las distintas universidades españolas y dentro de una misma universidad. En este contexto resulta imprescindible apostar por un sistema de reconocimiento y acumulación de créditos, en el que los créditos cursados en otra universidad serán reconocidos e incorporados al expediente del estudiante.

Otro objetivo importante es establecer vínculos adecuados entre el Espacio Europeo de Educación y el Espacio Europeo de Investigación. Para ello, es necesaria una mayor apertura en la organización de las enseñanzas de doctorado y facilitar la actualización o modificación de los planes de estudio.

En el ámbito temporal, las universidades establecerán su propio calendario de adaptación ateniéndose a lo establecido en el presente real decreto que recoge a su vez los compromisos adquiridos por el Gobierno Español en la declaración de Bolonia, en virtud de los cuales en el año 2010 todas las enseñanzas deberán estar adaptadas a la nueva estructura.

Finalmente, se debe tener en cuenta que la formación en cualquier actividad profesional debe contribuir al conocimiento y desarrollo de los Derechos Humanos, los principios democráticos, los principios de igualdad entre mujeres y hombres, de solidaridad, de protección medioambiental, de accesibilidad universal y diseño para todos, y de fomento de la cultura de la paz.

Así, en el Capítulo I de este real decreto se incluyen las disposiciones generales del mismo, el Capítulo II establece con carácter general la estructura de las enseñanzas universitarias oficiales, que se concretan en los Capítulos III, IV y V para las enseñanzas de Grado, Máster y Doctorado, respectivamente. Por su parte, el Capítulo VI regula los procedimientos de verificación y acreditación de los títulos.

Además el presente real decreto contiene once disposiciones adicionales, cinco transitorias, una disposición derogatoria única y cuatro disposiciones finales.

Finalmente el anexo I presenta la memoria que configura el proyecto de título oficial que deben presentar las universidades para solicitar la verificación del mismo de acuerdo con lo establecido en esta norma y el anexo II contiene la relación de materias básicas que se han incluido en cada una de las ramas de conocimiento.

Este real decreto ha sido informado favorablemente por el Consejo de Universidades, formado por las universidades españolas, y por la Conferencia General de Política Universitaria, formada por las Comunidades Autónomas. Durante el proceso de elaboración han sido, además, consultadas las organizaciones profesionales.

En su virtud, a propuesta de la Ministra de Educación y Ciencia, con la aprobación previa de la Ministra de Administraciones Públicas, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 26 de octubre de 2007,

DISPONGO:

CAPÍTULO I

Disposiciones generales

Artículo 1. Objeto

Este real decreto tiene por objeto desarrollar la estructura de las enseñanzas universitarias oficiales, de acuerdo con las líneas generales emanadas del Espacio Europeo de Educación Superior y de conformidad con lo previsto en el artículo 37 de la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades, en su nueva redacción dada por la Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la anterior.

Asimismo, este real decreto establece las directrices, condiciones y el procedimiento de verificación y acreditación, que deberán superar los planes de estudios conducentes a la obtención de títulos, previamente a su inclusión en el Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT).

Artículo 2. Ámbito subjetivo de aplicación

Las disposiciones contenidas en este real decreto serán de aplicación a las enseñanzas universitarias oficiales de Grado, Máster y Doctorado impartidas por las Universidades españolas, en todo el territorio nacional.

Artículo 3. Enseñanzas universitarias y expedición de títulos.

1. Las universidades impartirán enseñanzas de Grado, Máster y Doctorado conducentes a la obtención de los correspondientes títulos oficiales.

2. Los títulos oficiales serán expedidos, en nombre del Rey, por el Rector de la Universidad en que se hubiesen concluido las enseñanzas que den derecho a su obtención, de acuerdo con los requisitos básicos que respecto a su formato, texto y procedimiento de expedición se establezcan por el Gobierno, previo informe del Consejo de Universidades.

3. Las enseñanzas universitarias oficiales se concretarán en planes de estudios que serán elaborados por las universidades, con sujeción a las normas y condiciones que les sean de aplicación en cada caso. Dichos planes de estudios habrán de ser verificados por el Consejo de Universidades y autorizados en su implantación por la correspondiente Comunidad Autónoma, de acuerdo con lo establecido en el artículo 35.2 de la Ley Orgánica 6/2001, modificada por la Ley 4/2007, de Universidades. Los títulos a cuya obtención conduzcan, deberán ser inscritos en el RUCT y acreditados, todo ello de acuerdo con las previsiones contenidas en este real decreto.

4. Las universidades podrán, mediante convenio con otras universidades nacionales o extranjeras, organizar enseñanzas conjuntas conducentes a la obtención de un único título oficial de Graduado o Graduada, Máster Universitario o Doctor o Doctora. A tal fin, el plan de estudios deberá incluir el correspondiente convenio en el que se especificará, al menos, qué Universidad será responsable de la custodia de los expedientes de los estudiantes y de la expedición y registro del título así como el procedimiento de modificación o extinción de planes

de estudios. En el supuesto de convenios con universidades extranjeras, en todo caso, la Universidad española custodiará los expedientes de los títulos que expida.

5. Entre los principios generales que deberán inspirar el diseño de los nuevos títulos, los planes de estudios deberán tener en cuenta que cualquier actividad profesional debe realizarse:

a) desde el respeto a los derechos fundamentales y de igualdad entre hombres y mujeres, debiendo incluirse, en los planes de estudios en que proceda, enseñanzas relacionadas con dichos derechos.

b) desde el respeto y promoción de los Derechos Humanos y los principios de accesibilidad universal y diseño para todos de conformidad con lo dispuesto en la disposición final décima de la Ley 51/2003, de 2 de diciembre, de Igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad, debiendo incluirse, en los planes de estudios en que proceda, enseñanzas relacionadas con dichos derechos y principios.

c) de acuerdo con los valores propios de una cultura de paz y de valores democráticos, y debiendo incluirse, en los planes de estudios en que proceda, enseñanzas relacionadas con dichos valores.

Artículo 4. Efectos de los títulos universitarios.

Los títulos universitarios regulados en el presente real decreto tendrán carácter oficial y validez en todo el territorio nacional, surtirán efectos académicos plenos y habilitarán, en su caso, para la realización de actividades de carácter profesional reguladas, de acuerdo con la normativa que en cada caso resulte de aplicación.

Artículo 5. Sistema europeo de créditos y calificaciones de las enseñanzas universitarias.

1. El haber académico que representa el cumplimiento de los objetivos previstos en los planes de estudios conducentes a la obtención de títulos universitarios oficiales se medirá en créditos europeos (ECTS) tal y como se definen en el real decreto 1125/2003, de 5 de septiembre, por el que se establece el sistema europeo de créditos y el sistema de calificaciones en las titulaciones universitarias de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional.

2. El nivel de aprendizaje conseguido por los estudiantes en las enseñanzas oficiales de Grado y Máster, se expresará mediante calificaciones numéricas, de acuerdo con lo establecido en el artículo 5 del real decreto 1125/2003, de 5 de septiembre, citado. La calificación en el Doctorado se expresará de acuerdo con lo señalado en el artículo 21 de este real decreto.

Artículo 6. Reconocimiento y transferencia de créditos.

1. Con objeto de hacer efectiva la movilidad de estudiantes, tanto dentro del territorio nacional como fuera de él, las universidades elaborarán y harán pública su normativa sobre el sistema de reconocimiento y transferencia de créditos, con sujeción a los criterios generales que sobre el particular se establecen en este real decreto.

2. A los efectos previstos en este real decreto, se entiende por reconocimiento la aceptación por una universidad de los créditos que, habiendo sido obtenidos en unas enseñanzas oficiales, en la misma u otra universidad, son computados en otras distintas a efectos de la obtención de un título oficial.

Asimismo, la transferencia de créditos implica que, en los documentos académicos oficiales acreditativos de las enseñanzas seguidas por cada estudiante, se incluirán la totalidad de los créditos obtenidos en enseñanzas oficiales cursadas

con anterioridad, en la misma u otra universidad, que no hayan conducido a la obtención de un título oficial.

3. Todos los créditos obtenidos por el estudiante en enseñanzas oficiales cursados en cualquier universidad, los transferidos, los reconocidos y los superados para la obtención del correspondiente título, serán incluidos en su expediente académico y reflejados en el Suplemento Europeo al Título, regulado en el real decreto 1044/2003 de 1 de agosto, por el que se establece el procedimiento para la expedición por las universidades del Suplemento Europeo al Título.

Artículo 7. Precios públicos de las enseñanzas universitarias oficiales.

De acuerdo con lo dispuesto en el apartado b del artículo 81 de la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades, en su nueva redacción dada por la Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la anterior, en las enseñanzas conducentes a la obtención de títulos de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional, e impartidas en universidades públicas, los precios públicos y derechos los fijará la Comunidad Autónoma, dentro de los límites que establezca la Conferencia General de Política Universitaria, que estarán relacionados con los costes de la prestación del servicio.

CAPÍTULO II

Estructura de las enseñanzas universitarias oficiales

Artículo 8. Estructura general.

Las enseñanzas universitarias conducentes a la obtención de títulos de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional se estructurarán en tres ciclos, denominados respectivamente **Grado, Máster y Doctorado**, de acuerdo con lo establecido en el artículo 37 de la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades, en su nueva redacción dada por la Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la anterior y en este real decreto.

Artículo 9. Enseñanzas de Grado.

1. Las enseñanzas de Grado tienen como finalidad la obtención por parte del estudiante de una formación general, en una o varias disciplinas, orientada a la preparación para el ejercicio de actividades de carácter profesional.

2. La superación de las enseñanzas previstas en el apartado anterior dará derecho a la obtención del título de Graduado o Graduada, con la denominación específica que, en cada caso, figure en el RUCT.

3. La denominación de los títulos de Graduado será: Graduado o Graduada en T por la Universidad U, siendo T el nombre del Título y U la denominación de la Universidad que expide el título. En el Suplemento Europeo al Título, de acuerdo con las normas que lo regulen, se hará referencia a la rama de conocimiento en la que se incardine el título. En todo caso, las Administraciones Públicas velarán por que la denominación del título sea acorde con su contenido, y en su caso, con la normativa específica de aplicación, coherente con su disciplina y no conduzca a error sobre su nivel o efectos académicos ni a confusión sobre su contenido y, en su caso, efectos profesionales.

Artículo 10. Enseñanzas de Máster.

1. Las enseñanzas de Máster tienen como finalidad la adquisición por el estudiante de una formación avanzada, de carácter especializado o multidisciplinar, orientada a la especialización académica o profesional, o bien a promover la iniciación en tareas investigadoras.

2. La superación de las enseñanzas previstas en el apartado anterior dará derecho a la obtención del título de Máster

Universitario, con la denominación específica que figure en el RUCT.

3. La denominación de los títulos de Máster será: Máster Universitario en T por la Universidad U, siendo T el nombre del Título y U la denominación de la Universidad que expide el título. En todo caso, las Administraciones Públicas velarán por que la denominación del título sea acorde con su contenido y en su caso, con la normativa específica de aplicación, y no conduzca a error sobre su nivel o efectos académicos ni a confusión sobre su contenido y, en su caso, efectos profesionales.

Artículo 11. Enseñanzas de Doctorado.

1. Las enseñanzas de Doctorado tienen como finalidad la formación avanzada del estudiante en las técnicas de investigación, podrán incorporar cursos, seminarios u otras actividades orientadas a la formación investigadora e incluirá la elaboración y presentación de la correspondiente tesis doctoral, consistente en un trabajo original de investigación.

2. La superación de las enseñanzas previstas en el apartado 1 anterior dará derecho a la obtención del título de Doctor o Doctora, con la denominación que figure en el RUCT.

3. La denominación de los títulos de Doctor será: Doctor o Doctora por la Universidad U, siendo U la denominación de la Universidad que expide el título.

4. Así mismo, de acuerdo con lo que establezca la normativa sobre expedición de títulos, se incluirá información que especifique la disciplina en la que se ha elaborado la Tesis Doctoral.

CAPÍTULO III

Estructura de las enseñanzas universitarias oficiales

Artículo 12. Directrices para el diseño de títulos de Graduado.

1. Los planes de estudios conducentes a la obtención del título de Graduado serán elaborados por las universidades y verificados de acuerdo con lo establecido en el presente real decreto.

2. Los planes de estudios tendrán 240 créditos, que contendrán toda la formación teórica y práctica que el estudiante deba adquirir: aspectos básicos de la rama de conocimiento, materias obligatorias u optativas, seminarios, prácticas externas, trabajos dirigidos, trabajo de fin de Grado u otras actividades formativas.

En los supuestos en que ello venga determinado por normas de derecho comunitario, el Gobierno, previo informe del Consejo de Universidades, podrá asignar un número mayor de créditos.

3. Estas enseñanzas concluirán con la elaboración y defensa de un trabajo de fin de Grado.

4. La Universidad propondrá la adscripción del correspondiente título de Graduado o Graduada a alguna de las siguientes ramas de conocimiento:

- a) Artes y Humanidades
- b) Ciencias.
- c) Ciencias de la Salud.
- d) Ciencias Sociales y Jurídicas.
- e) Ingeniería y Arquitectura.

Dicha adscripción será igualmente de aplicación en aquellos casos en que el título esté relacionado con más de una disciplina y se hará respecto de la principal.

5. El plan de estudios deberá contener un mínimo de 60 créditos de formación básica, de los que, al menos, 36 estarán vinculados a algunas de las materias que figuran en el anexo II

de este real decreto para la rama de conocimiento a la que se pretenda adscribir el título. Estas materias deberán concretarse en asignaturas con un mínimo de 6 créditos cada una y serán ofertadas en la primera mitad del plan de estudios.

Los créditos restantes hasta 60, en su caso, deberán estar configurados por materias básicas de la misma u otras ramas de conocimiento de las incluidas en el anexo II, o por otras materias siempre que se justifique su carácter básico para la formación inicial del estudiante o su carácter transversal.

6. Si se programan prácticas externas, éstas tendrán una extensión máxima de 60 créditos y deberán ofrecerse preferentemente en la segunda mitad del plan de estudios.

7. El trabajo de fin de Grado tendrá entre 6 y 30 créditos, deberá realizarse en la fase final del plan de estudios y estar orientado a la evaluación de competencias asociadas al título.

8. De acuerdo con el artículo 46.2.i) de la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre de Universidades, los estudiantes podrán obtener reconocimiento académico en créditos por la participación en actividades universitarias culturales, deportivas, de representación estudiantil, solidarias y de cooperación hasta un máximo de 6 créditos del total del plan de estudios cursado.

9. Cuando se trate de títulos que habiliten para el ejercicio de actividades profesionales reguladas en España, el Gobierno establecerá las condiciones a las que deberán adecuarse los correspondientes planes de estudios, que además deberán ajustarse, en su caso, a la normativa europea aplicable. Estos planes de estudios deberán, en todo caso, diseñarse de forma que permitan obtener las competencias necesarias para ejercer esa profesión. A tales efectos la Universidad justificará la adecuación del plan de estudios a dichas condiciones.

Artículo 13. Reconocimiento de Créditos en las enseñanzas de Grado.

Además de lo establecido en el artículo 6 de este real decreto, la transferencia y reconocimiento de créditos en las enseñanzas de grado deberán respetar las siguientes reglas básicas:

a) Siempre que el título al que se pretende acceder pertenezca a la misma rama de conocimiento, serán objeto de reconocimiento los créditos correspondientes a materias de formación básica de dicha rama.

b) Serán también objeto de reconocimiento los créditos obtenidos en aquellas otras materias de formación básica pertenecientes a la rama de conocimiento del título al que se pretende acceder.

c) El resto de los créditos podrán ser reconocidos por la Universidad teniendo en cuenta la adecuación entre las competencias y conocimientos asociados a las restantes materias cursadas por el estudiante y los previstos en el plan de estudios o bien que tengan carácter transversal.

Artículo 14. Acceso a las enseñanzas oficiales de Grado.

1. El acceso a las enseñanzas oficiales de Grado requerirá estar en posesión del título de bachiller o equivalente y la superación de la prueba a que se refiere el artículo 42 de la Ley Orgánica 6/2001, de Universidades, modificada por la Ley 4/2007, de 12 de abril, sin perjuicio de los demás mecanismos de acceso previstos por la normativa vigente.

2. Las universidades dispondrán de sistemas accesibles de información y procedimientos de acogida y orientación de los estudiantes de nuevo ingreso para facilitar su incorporación a las enseñanzas universitarias correspondientes. Estos sistemas y procedimientos deberán incluir, en el caso de estudiantes con necesidades educativas específicas derivadas de discapacidad, los servicios de apoyo y asesoramiento adecuados.

dos, que evaluarán la necesidad de posibles adaptaciones curriculares.

CAPÍTULO IV

Enseñanzas universitarias oficiales de Máster

Artículo 15. Directrices para el diseño de títulos de Máster Universitario.

1. Los planes de estudios conducentes a la obtención del título de Máster Universitario, serán elaborados por las universidades y verificados de acuerdo con lo establecido en el presente real decreto.

2. Los planes de estudios conducentes a la obtención de los títulos de Máster Universitario tendrán entre 60 y 120 créditos, que contendrá toda la formación teórica y práctica que el estudiante deba adquirir: materias obligatorias, materias optativas, seminarios, prácticas externas, trabajos dirigidos, trabajo de fin de Máster, actividades de evaluación, y otras que resulten necesarias según las características propias de cada título.

3. Estas enseñanzas concluirán con la elaboración y defensa pública de un trabajo de fin de Máster, que tendrá entre 6 y 30 créditos.

4. Cuando se trate de títulos que habiliten para el ejercicio de actividades profesionales reguladas en España, el Gobierno establecerá las condiciones a las que deberán adecuarse los correspondientes planes de estudios, que además deberán ajustarse, en su caso, a la normativa europea aplicable. Estos planes de estudios deberán, en todo caso, diseñarse de forma que permitan obtener las competencias necesarias para ejercer esa profesión. A tales efectos la Universidad justificará la adecuación del plan de estudios a dichas condiciones.

Artículo 16. Acceso a las enseñanzas oficiales de Máster.

1. Para acceder a las enseñanzas oficiales de Máster será necesario estar en posesión de un título universitario oficial español u otro expedido por una institución de educación superior del Espacio Europeo de Educación Superior que facultan en el país expedidor del título para el acceso a enseñanzas de máster.

2. Así mismo, podrán acceder los titulados conforme a sistemas educativos ajenos al Espacio Europeo de Educación Superior sin necesidad de la homologación de sus títulos, previa comprobación por la Universidad de que aquellos acreditan un nivel de formación equivalente a los correspondientes títulos universitarios oficiales españoles y que facultan en el país expedidor del título para el acceso a enseñanzas de postgrado. El acceso por esta vía no implicará, en ningún caso, la homologación del título previo de que esté en posesión el interesado, ni su reconocimiento a otros efectos que el de cursar las enseñanzas de Máster.

Artículo 17. Admisión a las enseñanzas oficiales de Máster.

1. Los estudiantes podrán ser admitidos a un Máster conforme a los requisitos específicos y criterios de valoración de méritos que, en su caso, sean propios del título de Máster Universitario o establezca la universidad.

2. La Universidad incluirá los procedimientos y requisitos de admisión en el plan de estudios, entre los que podrán figurar requisitos de formación previa específica en algunas disciplinas.

3. Estos sistemas y procedimientos deberán incluir, en el caso de estudiantes con necesidades educativas específicas derivadas de discapacidad, los servicios de apoyo y asesoramiento adecuados, que evaluarán la necesidad de posibles adaptaciones curriculares, itinerarios o estudios alternativos.

4. La admisión no implicará, en ningún caso, modificación alguna de los efectos académicos y, en su caso, profesionales que correspondan al título previo de que esté en posesión el interesado, ni su reconocimiento a otros efectos que el de cursar enseñanzas de Máster.

CAPÍTULO V

Enseñanzas de Doctorado

Artículo 18. Programa de Doctorado.

Para obtener el título de Doctor o Doctora es necesario haber superado un periodo de formación y un periodo de investigación organizado. Al conjunto organizado de todas las actividades formativas y de investigación conducentes a la obtención del título se denomina Programa de Doctorado.

Artículo 19. Acceso a las enseñanzas de Doctorado.

1. Para acceder al Programa de Doctorado en su periodo de formación, será necesario cumplir las mismas condiciones que para el acceso a las enseñanzas oficiales de Máster, en el artículo 16 de este real decreto.

2. Para acceder al Programa de Doctorado en su periodo de investigación será necesario estar en posesión de un título oficial de Máster Universitario, u otro del mismo nivel expedido por una institución de educación superior del Espacio Europeo de Educación Superior. Además, podrán acceder los que estén en posesión de título obtenido conforme a sistemas educativos ajenos al Espacio Europeo de Educación Superior, sin necesidad de su homologación, pero previa comprobación de que el título acredita un nivel de formación equivalente a los correspondientes títulos españoles de Máster Universitario y que faculta en el país expedidor del título para el acceso a estudios de Doctorado. Esta admisión no implicará, en ningún caso, la homologación del título previo de que esté en posesión el interesado, ni su reconocimiento a otros efectos que el de cursar enseñanzas de Doctorado.

Asimismo, se podrá acceder habiendo cumplido alguna de las siguientes condiciones:

a) Haber superado 60 créditos incluidos en uno o varios Másteres Universitarios, de acuerdo con la oferta de la Universidad. De manera excepcional, podrán acceder al periodo de investigación aquellos estudiantes que acrediten 60 créditos de nivel de postgrado que hayan sido configurados, de acuerdo con la normativa que establezca la Universidad, por actividades formativas no incluidas en Másteres Universitarios. Este supuesto podrá darse por criterios de interés estratégico para la Universidad o por motivos científicos que aconsejen la formación de doctores en un ámbito determinado. En todo caso, para la aprobación de este tipo de periodo de formación, será necesario contar con un informe favorable de la agencia evaluadora de acuerdo con lo establecido en el artículo 24 de este real decreto.

b) Estar en posesión de un título de Graduado o Graduada cuya duración, conforme a normas de derecho comunitario sea de, al menos, 300 créditos.

Artículo 20. Admisión a las enseñanzas de doctorado.

1. Las universidades establecerán los procedimientos y criterios de admisión al correspondiente Programa de Doctorado en cualquiera de sus periodos. Entre los criterios podrá figurar la exigencia de formación previa específica en algunas disciplinas.

2. Estos sistemas y procedimientos deberán incluir, en el caso de estudiantes con necesidades educativas específicas derivadas de discapacidad, los servicios de apoyo y asesoramiento adecuados, que evaluarán la necesidad de posibles adaptaciones curriculares, itinerarios o estudios alternativos.

3. Los estudiantes admitidos al periodo de investigación, formalizarán cada curso académico su matrícula en la universidad, que le otorgará el derecho a la tutela académica, a la utilización de los recursos necesarios para el desarrollo de su trabajo y la plenitud de derechos previstos por la normativa para los estudiantes de doctorado.

4. A los efectos de lo establecido en el artículo 8 del Estatuto del Personal Investigador en Formación, aprobado por real decreto 63/2006, de 27 de enero, en relación con el artículo 11.1 del texto refundido del Estatuto de los Trabajadores, aprobado por real decreto legislativo 1/1995, de 24 de marzo, al inicio del periodo de investigación al que se refiere el apartado 3 de este artículo, las universidades expedirán el correspondiente certificado que se considerará como condición habilitante para el contrato en prácticas del personal investigador en formación.

Artículo 21. La tesis doctoral.

1. La tesis doctoral consistirá en un trabajo original de investigación elaborado por el candidato en cualquier disciplina.

2. La Universidad establecerá procedimientos con el fin de garantizar la calidad de las tesis doctorales tanto en su elaboración como en el proceso de evaluación. Estos procedimientos incluirán las previsiones relativas a la elección y al registro del tema de la tesis doctoral y a la lengua en la que se redactará y en la que se defenderá la tesis doctoral.

3. Para la elaboración de la tesis doctoral, la Universidad asignará al doctorando un director, que será un doctor con experiencia investigadora acreditada. La tesis podrá ser codirigida por otros doctores.

4. En el proceso de evaluación y previo al acto de defensa, la Universidad garantizará la publicidad de la tesis doctoral finalizada de forma que otros doctores puedan remitir observaciones sobre su contenido.

5. El tribunal que evalúe la tesis doctoral se compondrá de acuerdo con las normas que establezca la universidad. Todos los miembros deberán tener el título de doctor y experiencia investigadora acreditada. En cualquier caso sólo podrán formar parte del tribunal dos miembros de la Universidad responsable de la expedición del título.

6. La tesis doctoral se evaluará en el acto de defensa que tendrá lugar en sesión pública y consistirá en la exposición y defensa por el doctorando del trabajo de investigación elaborado ante los miembros del tribunal. Los doctores presentes en el acto público podrán formular cuestiones en el momento y forma que señale el presidente del tribunal.

7. El tribunal emitirá un informe y la calificación global concedida a la tesis de acuerdo con la siguiente escala: «no apto», «aprobado», «notable» y «sobresaliente». El tribunal podrá otorgar la mención de «cum laude» si la calificación global es de sobresaliente y se emite en tal sentido el voto por unanimidad.

8. Una vez aprobada la tesis doctoral, la Universidad se ocupará de su archivo y remitirá un ejemplar de la misma así como la información necesaria al Ministerio de Educación y Ciencia a los efectos oportunos.

Artículo 22. Mención europea en el título de Doctor.

1. Se podrá incluir en el anverso del título de Doctor o Doctora la mención «Doctor europeo», siempre que concurren las siguientes circunstancias:

a) Que, durante el periodo de formación necesario para la obtención del título de doctor, el doctorando haya realizado una estancia mínima de tres meses fuera de España en una institución de enseñanza superior o centro de investigación de un Estado miembro de la Unión Europea, cursando estudios o

realizando trabajos de investigación que le hayan sido reconocidos por la universidad.

b) Que parte de la tesis doctoral, al menos el resumen y las conclusiones, se haya redactado y sea presentado en una de las lenguas oficiales de la Unión Europea distinta a cualquiera de las lenguas oficiales en España.

c) Que la tesis haya sido informada por un mínimo de dos expertos pertenecientes a alguna institución de educación superior o instituto de investigación de un Estado miembro de la Unión Europea distinto de España.

d) Que, al menos, un experto perteneciente a alguna institución de educación superior o centro de investigación de un Estado miembro de la Unión Europea distinto de España, con el título de doctor, y distinto del responsable de la estancia mencionada en el apartado a) y los mencionados en el apartado c), haya formado parte del tribunal evaluador de la tesis.

2. La defensa de la tesis ha de ser efectuada en la propia Universidad en la que el doctorando estuviera inscrito.

Artículo 23. Profesorado de las enseñanzas de Doctorado.

El profesorado responsable de las enseñanzas de Doctorado deberá poseer el título de Doctor.

CAPÍTULO VI

Verificación y acreditación de los títulos

Artículo 24. Verificación y acreditación.

1. Una vez elaborados los planes de estudios conducentes a la obtención de títulos oficiales, deberán ser verificados por el Consejo de Universidades de acuerdo con las normas establecidas en el presente Capítulo.

2. Los títulos universitarios oficiales deberán someterse a un procedimiento de evaluación cada 6 años a contar desde la fecha de su registro en el RUCT, con el fin de mantener su acreditación.

3. A estos efectos la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA), establecerá los protocolos de verificación y acreditación necesarios conforme a lo dispuesto en este real decreto.

Artículo 25. Procedimiento de verificación.

1. El plan de estudios elaborado por la Universidad será enviado al Consejo de Universidades para su verificación. Éste comprobará si se ajusta a los protocolos a los que se refiere el apartado 3 del artículo anterior. En caso de existir deficiencias, el Consejo de Universidades devolverá el plan de estudios a la Universidad para que realice las modificaciones oportunas en el plazo de 10 días naturales.

2. El Consejo de Universidades enviará el plan de estudios a la ANECA para que elabore el informe de evaluación, que tendrá el carácter preceptivo y determinante al que se refiere el artículo 42.5c de la Ley 30/92, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común.

3. La ANECA evaluará los planes de estudios, de acuerdo con los protocolos de verificación a que se refiere el artículo 24.3 de este real decreto.

4. La evaluación del plan de estudios se realizará por una Comisión formada por expertos del ámbito académico y, en su caso, profesional, del título correspondiente. Dichos expertos serán evaluadores independientes y de reconocido prestigio designados por la ANECA.

5. La citada agencia elaborará una propuesta de informe que se expresará, de forma motivada, en términos favorables

o desfavorables al plan de estudios presentado, pudiendo incluir, en su caso, recomendaciones sobre el modo de mejorarlo. Este informe será enviado por la ANECA a la Universidad para que pueda presentar alegaciones en el plazo de 20 días naturales.

6. Una vez concluido el plazo y valoradas, en su caso, las alegaciones, la ANECA elaborará el informe de evaluación que será favorable o desfavorable y lo remitirá al Consejo de Universidades.

7. El Consejo de Universidades comprobará la denominación propuesta para el título, que el plan de estudios cuenta con el informe de evaluación favorable, que se adecua a las previsiones de este real decreto y es coherente con la denominación del título propuesto. En el plazo de 6 meses desde la fecha de envío, el Consejo de Universidades dictará la resolución de verificación que será positiva, si se cumplen las condiciones señaladas, o negativa, en caso contrario.

8. La resolución de verificación se comunicará al Ministerio de Educación y Ciencia, a la Comunidad Autónoma interesada y a la Universidad.

9. Contra la Resolución de verificación, la Universidad podrá recurrir ante la Presidencia del Consejo de Universidades. En el caso de ser admitida a trámite la reclamación, ésta será valorada por una comisión designada al efecto por dicho órgano y formada por expertos que no hayan intervenido en la evaluación que ha conducido a la resolución negativa. Esta comisión examinará el expediente relativo a la verificación para velar por las garantías establecidas y podrá ratificar la resolución o, en su caso, aceptar la reclamación y remitirla a la ANECA, indicando de forma concreta los aspectos de la evaluación que deben ser revisados, todo ello en un plazo máximo de tres meses.

10. El examen de la reclamación se hará basándose en el plan de estudios elaborado por la Universidad y toda la documentación contenida en el expediente.

11. La ANECA analizará los aspectos señalados por el Consejo de Universidades y remitirá el correspondiente informe, basándose en el cual el Consejo de Universidades emitirá la resolución definitiva. En caso de ser desestimada la reclamación, el Consejo de Universidades lo comunicará a la Universidad y a la correspondiente Comunidad Autónoma, y en caso de ser estimada dictará la resolución de verificación y procederá según lo establecido en el punto 8 de este artículo.

Artículo 26. Inscripción en el Registro y sus efectos.

1. Tras la autorización de la Comunidad Autónoma y la verificación del plan de estudios a que se refiere el artículo anterior, el Ministerio de Educación y Ciencia elevará al Gobierno la propuesta para el establecimiento del carácter oficial del título y su inscripción en el RUCT, cuya aprobación mediante acuerdo del Consejo de Ministros será publicada en el Boletín Oficial del Estado.

2. La inscripción en el RUCT a que se refiere este artículo tendrá como efecto la consideración inicial de título acreditado.

Artículo 27. Renovación de la acreditación de los títulos.

1. La acreditación de los títulos universitarios oficiales se mantendrá cuando obtengan un informe de acreditación positivo, transcurridos los seis años a que se refiere el artículo 24.2, y sea comunicado al RUCT.

Para obtener un informe positivo se deberá comprobar que el plan de estudios correspondiente se está llevando a cabo de acuerdo con su proyecto inicial, mediante una evaluación que incluirá, en todo caso, una visita externa a la institución. En caso de informe negativo, se comunicará a la Universidad, a la Comunidad Autónoma y al Consejo de Universidades para que

las deficiencias encontradas puedan ser subsanadas. De no serlo, el título causará baja en el mencionado Registro y perderá su carácter oficial y su validez en todo el territorio nacional, estableciéndose en la resolución correspondiente las garantías necesarias para lo estudiantes que se encuentren cursando dichos estudios.

2. El informe a que se refiere el apartado 1 deberá ser efectuado por la ANECA o los órganos de evaluación que la Ley de las Comunidades Autónomas determinen, y comunicado al Registro para su oportuna inscripción.

3. La Conferencia General de Política Universitaria, aprobará los criterios de coordinación, cooperación y reconocimiento mutuo para la participación en el procedimiento a que se refiere este artículo.

4. La ANECA y los órganos de evaluación que la Ley de las Comunidades Autónomas determinen, harán un seguimiento de los títulos registrados, basándose en la información pública disponible, hasta el momento que deban someterse a la evaluación para renovar su acreditación. En caso de detectarse alguna deficiencia, ésta será comunicada a la Universidad, a la Comunidad Autónoma y al Consejo de Universidades para que pueda ser subsanada. En el caso de que las deficiencias encontradas supusieran un grave riesgo para la calidad mínima exigible en las enseñanzas impartidas, de acuerdo con la Comunidad Autónoma responsable, se podrá iniciar un proceso de evaluación en los términos previstos en este artículo.

Artículo 28. Modificación y extinción de los planes de estudios conducentes a títulos oficiales.

1. Las modificaciones de los planes de estudios a los que se refiere el presente real decreto, serán aprobadas por las universidades, en la forma en que determinen sus estatutos o normas de organización y funcionamiento y en su caso, las correspondientes normativas autonómicas que deberán preservar la autonomía académica de las universidades.

2. Dichas modificaciones serán notificadas al Consejo de Universidades que las enviará a la ANECA para su valoración. En el supuesto de que tales modificaciones no supongan, a juicio de las comisiones a que se refiere el artículo 25, un cambio en la naturaleza y objetivos del título inscrito, o hayan transcurrido tres meses sin pronunciamiento expreso, la Universidad considerará aceptada su propuesta. En caso contrario, se considerará que se trata de un nuevo plan de estudios y tal extremo será puesto en conocimiento del Consejo de Universidades que lo trasladará a la correspondiente Universidad a efectos de iniciar, en su caso, de nuevo los procedimientos de verificación, autorización e inscripción previstos por los artículos 25 y 26. En este supuesto el plan de estudios anterior se considerará extinguido y de tal extinción se dará cuenta al RUCT para su oportuna anotación.

3. Se considerará extinguido un plan de estudios cuando el mismo no supere el proceso de acreditación previsto en el artículo 27.

4. Las Universidades están obligadas a garantizar el adecuado desarrollo efectivo de las enseñanzas que hubieran iniciado sus estudiantes hasta su finalización.

Disposición adicional primera. Implantación de las nuevas enseñanzas.

1. La implantación por las universidades de los planes de estudios conducentes a la obtención de los títulos previstos por este real decreto, podrá realizarse de manera simultánea, para uno o varios cursos, o progresiva, de acuerdo con la temporalidad prevista en el correspondiente plan de estudios.

2. En el curso académico 2010-2011 no podrán ofertarse plazas de nuevo ingreso en primer curso para las actuales titulaciones de Licenciado, Diplomado, Arquitecto, Ingeniero, Arquitecto Técnico e Ingeniero Técnico.

Disposición adicional segunda. Incorporación a las nuevas enseñanzas.

Los alumnos que hayan comenzado estudios conforme a anteriores ordenaciones universitarias podrán acceder a las enseñanzas reguladas en este real decreto, previa admisión de la Universidad correspondiente de acuerdo con lo establecido en este real decreto y en la normativa de la propia universidad.

Disposición adicional tercera. Doctor honoris causa.

De acuerdo con lo que establezca su normativa, las universidades podrán nombrar Doctor honoris causa a aquellas personas que, en atención a sus méritos académicos, científicos o personales sean acreedoras de tal distinción.

Disposición adicional cuarta. Efecto de los títulos universitarios oficiales correspondientes a la anterior ordenación.

1. Los títulos universitarios oficiales obtenidos conforme a planes de estudios anteriores a la entrada en vigor del presente real decreto mantendrán todos sus efectos académicos y, en su caso, profesionales.

2. Quienes, estando en posesión de un título oficial de Licenciado, Arquitecto o Ingeniero, pretendan acceder a enseñanzas conducentes a un título de Grado obtendrán el reconocimiento de créditos que proceda con arreglo a lo dispuesto en el artículo 13 del presente real decreto.

Asimismo, podrán acceder a las enseñanzas oficiales de Máster sin necesidad de requisito adicional alguno, sin perjuicio de lo establecido en el artículo 17. Además, las universidades, en el ámbito de su autonomía, podrán reconocer créditos a estos titulados teniendo en cuenta la adecuación entre las competencias y los conocimientos derivados de las enseñanzas cursadas y los previstos en el plan de estudios de las enseñanzas de Máster solicitadas.

Igualmente, los titulados a que se refiere este apartado podrán acceder directamente al período de investigación del Programa de Doctorado si estuvieran en posesión del Diploma de Estudios Avanzados, obtenido de acuerdo con lo dispuesto en el Real Decreto 778/1998, de 30 de abril, o hubieran alcanzado la suficiencia investigadora regulada en el Real Decreto 185/1985, de 23 de enero.

3. Quienes, estando en posesión de un título oficial de Diplomado, Arquitecto Técnico o Ingeniero Técnico, pretendan cursar enseñanzas dirigidas a la obtención de un título oficial de Grado, obtendrán el reconocimiento de créditos que proceda con arreglo a lo previsto en el artículo 13 del presente real decreto.

Los titulados a que se refiere el párrafo anterior podrán acceder, igualmente, a las enseñanzas oficiales de Máster sin necesidad de requisito adicional alguno, sin perjuicio de lo establecido en el artículo 17. En todo caso, las universidades, en el ámbito de su autonomía, podrán exigir formación adicional necesaria teniendo en cuenta la adecuación entre las competencias y los conocimientos derivados de las enseñanzas cursadas en los planes de estudios de origen y los previstos en el plan de estudios de las enseñanzas de Máster solicitadas.

Disposición adicional quinta. Regímenes específicos.

1. Con independencia de lo establecido en la normativa específica sobre homologación de títulos extranjeros de educación superior, éstos podrán ser equivalentes a efectos parciales o totales al correspondiente título español cuando así se establezca de modo expreso en acuerdos o convenios internacionales de carácter bilateral o multilateral en los que el Estado español sea parte.

2. Los Ingenieros de Armamento y Construcción y los Ingenieros de Armas Navales podrán obtener los títulos oficiales de Máster y de Doctor conforme a lo dispuesto en el Decreto

3058/1964, de 28 de septiembre, y normas concordantes. A estos efectos, deberán cumplir los requisitos generales sobre estudios de grado y postgrado establecidos en este Real Decreto que resulten de aplicación, y las condiciones específicas que, al respecto, establezca el Ministerio de Defensa.

Disposición adicional sexta. Universidades de la Iglesia Católica.

1. De conformidad con lo establecido en la Disposición adicional cuarta de la Ley Orgánica 6/2001 de 21 de diciembre, de Universidades, las universidades de la Iglesia Católica establecidas en España con anterioridad al Acuerdo, de 3 de enero de 1979, entre el Estado español y la Santa Sede, sobre Enseñanza y Asuntos Culturales, en virtud de lo establecido en el Convenio entre la Santa Sede y el Estado español, de 10 de mayo de 1962, así como en el dicho Acuerdo, mantienen sus procedimientos especiales en materia de reconocimiento de efectos civiles de planes de estudios y títulos, en tanto en cuanto no opten por transformarse en universidades privadas.

2. Sin perjuicio de lo establecido en el apartado anterior, y a los solos efectos de hacer efectivos dichos procedimientos, estas universidades solicitarán al Consejo de Universidades la verificación de los planes de estudios conducentes a la obtención de títulos oficiales que se llevará a cabo una vez se compruebe que dichos planes de estudios se ajustan a las directrices y condiciones establecidas por el Gobierno con carácter general.

3. Verificado el título conforme a lo establecido en el apartado anterior, el Consejo de Universidades lo remitirá al Gobierno que establecerá su carácter oficial, ordenará su inscripción en RUCT, y su publicación en el Boletín Oficial del Estado.

4. Con el fin de renovar su acreditación, los títulos así inscritos deberán someterse al procedimiento de evaluación previsto para todos los títulos universitarios oficiales, previsto en el artículo 27 de este real decreto.

Disposición adicional séptima. Modificación del Real Decreto 285/2004.

Se modifica el apartado 5 del artículo 17 del Real Decreto 285/2004, de 20 de febrero, por el que se regulan las condiciones de homologación y convalidación de títulos y estudios extranjeros de educación superior, que queda redactado de la siguiente manera:

«Cuando el interesado no supere los requisitos formativos complementarios exigidos en el plazo de cuatro años, a contar desde la notificación de la resolución, la homologación condicionada perderá su eficacia, sin perjuicio de que, a partir de ese momento, el interesado pueda solicitar la convalidación por estudios parciales.»

Disposición adicional octava. Régimen transitorio de la modificación del Real Decreto 285/2004.

La modificación del Real Decreto 285/2004, de 20 de febrero, por el que se regulan las condiciones de homologación y convalidación de títulos y estudios extranjeros de educación superior, que se establece en la disposición adicional séptima, tendrá el siguiente régimen transitorio:

1. El plazo de cuatro años para la superación de los requisitos formativos complementarios se aplicará a todos los expedientes tramitados de acuerdo con el real decreto 285/2004, sobre los que no se hubiera dictado resolución en la fecha de entrada en vigor del presente real decreto, con independencia de su fecha de iniciación.

2. En el caso de resoluciones de homologación, condicionadas a la superación de requisitos formativos complementarios, dictadas con anterioridad a la entrada en vigor del presente real decreto, si el plazo de dos años para la superación

de los requisitos formativos complementarios no ha vencido el día de dicha entrada en vigor, se entenderá prorrogado hasta un total de cuatro años, a contar desde la notificación de la resolución. Si el plazo de dos años ya ha vencido antes de la entrada en vigor del presente real decreto, se entenderá concedido un nuevo plazo complementario de dos años para la superación de los requisitos formativos complementarios, a contar desde dicha entrada en vigor.

Disposición adicional novena. Verificación del cumplimiento de las condiciones para los títulos relacionados con los artículos 12.9 y 15.4.

El Ministerio de Educación y Ciencia precisará los contenidos del anexo I del presente real decreto, a los que habrán de ajustarse las solicitudes para la obtención de la verificación de los planes de estudios en los casos a que se refieren los artículos 12.9 y 15.4 de este real decreto, previo informe del Consejo de Universidades y oídos, en su caso, los colegios y asociaciones profesionales concernidos.

Disposición adicional décima. Títulos de Especialistas en Ciencias de la Salud.

1. Los títulos universitarios a los que se refiere el presente real decreto no podrán inducir a confusión ni coincidir en su denominación y contenidos con los de los especialistas en ciencias de la salud regulados en el capítulo III de la Ley 44/2003, de 21 de noviembre, de ordenación de las profesiones sanitarias.

2. Las universidades determinarán, en función de la formación investigadora que acredite cada uno de los especialistas en ciencias de la salud de los contemplados en el apartado anterior, la formación adicional que en su caso hayan de cursar para presentación y defensa de la tesis doctoral.

Disposición adicional undécima. Títulos no oficiales.

Las universidades en uso de su autonomía, podrán impartir otras enseñanzas conducentes a la obtención de otros títulos distintos a los expresados en el artículo 3.1. La expedición de estos títulos se realizará del modo que determine la universidad, sin que ni su denominación ni el formato en que se confeccionen los correspondientes títulos puedan inducir a confusión con los títulos oficiales que se establecen en los artículos 9, 10 y 11 del presente real decreto.

Disposición transitoria primera. Implantación de enseñanzas de Grado para el curso académico 2008-2009.

Las solicitudes de verificación de planes de estudios presentadas al Consejo de Universidades, con anterioridad al 15 de febrero de 2008 deberán ser verificadas en el plazo máximo de 3 meses.

Disposición transitoria segunda. Enseñanzas anteriores.

a) A los estudiantes que en la fecha de entrada en vigor de este real decreto, hubiesen iniciado estudios universitarios oficiales conforme a anteriores ordenaciones, les serán de aplicación las disposiciones reguladoras por las que hubieran iniciado sus estudios, sin perjuicio de lo establecido en la Disposición Adicional Segunda de este real decreto, hasta el 30 de septiembre de 2015, en que quedarán definitivamente extinguidas.

b) Los procedimientos de autorización para la implantación en el curso 2008-09 de Programas Oficiales de Postgrado, iniciados con anterioridad a la entrada en vigor del presente real decreto se regularán de acuerdo a la normativa aplicable previa.

Disposición transitoria tercera. Estudiantes de Doctorado.

A los estudiantes que en la fecha de entrada en vigor de este real decreto hubiesen iniciado estudios de Doctorado, les

serán de aplicación las disposiciones reguladoras del doctorado y de expedición del título de Doctor por las que hubieran iniciado dichos estudios. En todo caso el régimen relativo a elaboración, tribunal, defensa y evaluación de la tesis doctoral será aplicable a dichos estudiantes a partir de un año de su entrada en vigor.

Disposición transitoria cuarta. Títulos universitarios vinculados con actividades profesionales reguladas.

A efectos de lo dispuesto en los artículos 12.9 y 15.4 del presente real decreto, serán de aplicación las actuales directrices generales propias de los títulos correspondientes, en lo que se refiere a su denominación, materias y contenido de las mismas, en tanto no se produzca la aprobación por el Gobierno de las condiciones que las sustituyan.

Disposición transitoria quinta. Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación.

Hasta tanto se lleve a efecto la previsión contenida en el artículo 32 de la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades, en su nueva redacción dada por la Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la anterior, las funciones atribuidas a la ANECA en el presente real decreto, así como en el Real Decreto 1312/2007, de 5 de octubre, por el que se establece la acreditación nacional para el acceso a los cuerpos docentes universitarios, serán ejercidas por la actual Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación.

Disposición derogatoria única. Derogación normativa.

Quedan derogados los Reales Decretos 55/2005, de 21 de enero, por el que se establece la estructura de las enseñanzas universitarias y se regulan los estudios universitarios oficiales de Grado y 56/2005, de 21 de enero, por el que se regulan los estudios universitarios oficiales de Postgrado, sin perjuicio de lo establecido en la disposición transitoria segunda.

Disposición final primera. Título competencial.

Este real decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1.30.^a de la Constitución Española y en uso de la autorización otorgada al Gobierno por el apartado 1 de la disposición final séptima de la Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades y es de aplicación en todo el territorio nacional.

Disposición final segunda. Actualización de los anexos.

Se habilita al Ministerio de Educación y Ciencia, oído el Consejo de Universidades, para modificar, corregir o actualizar, cuando ello sea preciso, los anexos del presente real decreto.

Disposición final tercera. Habilitación para el desarrollo reglamentario.

Corresponde al Ministerio de Educación y a las Universidades, en el ámbito de sus respectivas competencias, dictar las disposiciones necesarias para el desarrollo y aplicación de lo dispuesto en este real decreto.

Disposición final cuarta. Entrada en vigor.

El presente real decreto entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el Boletín Oficial de Estado.

Dado en Madrid, el 29 de octubre de 2007.

JUAN CARLOS R.

La Ministra de Educación y Ciencia,
MERCEDES CABRERA CALVO-SOTELO

ANEXO I

Memoria para la solicitud de verificación de Títulos Oficiales

La presente memoria configura el proyecto de título oficial que deben presentar las universidades para su correspondiente verificación. El proyecto constituye el compromiso de la institución sobre las características del título y las condiciones en las que se van a desarrollar las enseñanzas. En la fase de acreditación, la Universidad deberá justificar el ajuste de la situación de lo realizado con lo propuesto en el proyecto presentado, o justificar las causas del desajuste y las acciones realizadas en cada uno de los ámbitos.

1. Descripción del título.

1.1. Denominación.

1.2. Universidad solicitante, y centro responsable de las enseñanzas conducentes al título, o en su caso, departamento o instituto.

1.3. Tipo de enseñanza de qué se trata (presencial, semipresencial, a distancia, etc.).

1.4. Número de plazas de nuevo ingreso ofertadas (estimación para los primeros 4 años).

1.5. Número mínimo de créditos europeos de matrícula por estudiante y periodo lectivo y, en su caso, normas de permanencia. Los requisitos planteados en este apartado pueden permitir a los estudiantes cursar estudios a tiempo parcial y deben atender a cuestiones derivadas de la existencia de necesidades educativas especiales.

1.6. Resto de información necesaria para la expedición del Suplemento Europeo al Título de acuerdo con la normativa vigente.

2. Justificación.

2.1. Justificación del título propuesto, argumentando el interés académico, científico o profesional del mismo.

2.2. En el caso de los títulos de Graduado o Graduada: Referentes externos a la Universidad proponente que avalen la adecuación de la propuesta a criterios nacionales o internacionales para títulos de similares características académicas. Pueden ser:

Libros blancos del Programa de Convergencia Europea de la ANECA (www.aneca.es, sección libros blancos).

Planes de estudios de universidades españolas, universidades europeas e internacionales de calidad o interés contrastado.

Informes de asociaciones o colegios profesionales, nacionales, europeas, de otros países o internacionales.

Títulos del catálogo vigentes a la entrada en vigor de la Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades.

Otros, con la justificación de su calidad o interés académico.

2.3. Descripción de los procedimientos de consulta internos y externos utilizados para la elaboración del plan de estudios. Éstos pueden haber sido con profesionales, estudiantes u otros colectivos.

3. Objetivos.

3.1. Competencias generales y específicas que los estudiantes deben adquirir durante sus estudios, y que sean exigibles para otorgar el título. Las competencias propuestas deben ser evaluables. Deberán tenerse en cuenta los principios recogidos en el artículo 3.5 de este real decreto.

3.2. Se garantizarán, como mínimo las siguientes competencias básicas, en el caso del Grado, y aquellas otras que figuren en el Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior, MECES:

Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio;

Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio;

Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética;

Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado;

Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.

3.3. Se garantizarán, como mínimo las siguientes competencias básicas, en el caso del Máster, y aquellas otras que figuren en el Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior, MECES:

Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio;

Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios;

Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones –y los conocimientos y razones últimas que las sustentan– a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades;

Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

3.4. Se garantizarán, como mínimo las siguientes competencias básicas, en el caso del Doctorado, y aquellas otras que figuren en el Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior, MECES:

Que los estudiantes hayan demostrado una comprensión sistemática de un campo de estudio y el dominio de las habilidades y métodos de investigación relacionados con dicho campo;

Que los estudiantes hayan demostrado la capacidad de concebir, diseñar, poner en práctica y adoptar un proceso sustancial de investigación con seriedad académica;

Que los estudiantes hayan realizado una contribución a través de una investigación original que amplíe las fronteras del conocimiento desarrollando un corpus sustancial, del que parte merezca la publicación referenciada a nivel nacional o internacional;

Que los estudiantes sean capaces de realizar un análisis crítico, evaluación y síntesis de ideas nuevas y complejas;

Que los estudiantes sepan comunicarse con sus colegas,

con la comunidad académica en su conjunto y con la sociedad en general acerca de sus áreas de conocimiento;

Que se les suponga capaces de fomentar, en contextos académicos y profesionales, el avance tecnológico, social o cultural dentro de una sociedad basada en el conocimiento.

4. Acceso y admisión de estudiantes.

4.1. Sistemas de accesibles información previa a la matriculación y procedimientos accesibles de acogida y orientación de los estudiantes de nuevo ingreso para facilitar su incorporación a la Universidad y la enseñanza.

4.2. En su caso, siempre autorizadas por la administración competente, indicar las condiciones o pruebas de acceso especiales.

4.3. Sistemas accesibles de apoyo y orientación de los estudiantes una vez matriculados.

4.4. Transferencia y reconocimiento de créditos: sistema propuesto por la Universidad de acuerdo con el artículo 13 de este real decreto.

5. Planificación de las enseñanzas.

5.1. Estructura de las enseñanzas:

- a) Denominación del módulo o materia.
- b) Contenido en créditos ECTS.
- c) Organización temporal: semestral, trimestral o semanal, etc.
- d) Carácter obligatorio u optativo.

Tabla 1: Resumen de las materias que constituyen la propuesta en un título de grado y su distribución en créditos

Tipo de materia	Créditos
Formación básica	
Obligatorias	
Optativas	
Prácticas externas (si se incluyen)	
Trabajo fin de Grado	
Total	240

5.1. Procedimientos para la organización de la movilidad de los estudiantes propios y de acogida. Debe incluir el sistema de reconocimiento y acumulación de créditos ECTS.

5.2. Descripción de los módulos o materias de enseñanza-aprendizaje que constituyen la estructura del plan de estudios, incluyendo las prácticas externas y el trabajo de fin de Grado o Máster, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 2: Modelo de tabla para cada módulo o materia del plan de estudios propuesto

Denominación del módulo o materia:	
Competencias que adquiere el estudiante con dicho módulo o materia.	A definir por la universidad.
Breve descripción de sus contenidos.	A definir por la universidad.
Actividades formativas con su contenido en créditos ECTS, su metodología de enseñanza-aprendizaje y su relación con las competencias que debe adquirir el estudiante.	A definir por la universidad.
Sistema de evaluación de la adquisición de las competencias y sistema de calificaciones de acuerdo con la legislación vigente.	A definir por la universidad.

6. Personal académico.

6.1. Profesorado y otros recursos humanos necesarios y disponibles para llevar a cabo el plan de estudios propuesto.

6.2. De los recursos humanos disponibles, se indicará, al menos, su categoría académica, su vinculación a la Universidad y su experiencia docente e investigadora o profesional.

7. Recursos materiales y servicios.

7.1. Justificación de que los medios materiales y servicios disponibles (espacios, instalaciones, laboratorios, equipamiento científico, técnico o artístico, biblioteca y salas de lectura, nuevas tecnologías, etc.), son adecuados para garantizar el desarrollo de las actividades formativas planificadas, observando los criterios de accesibilidad universal y diseño para todos.

7.2. En el caso de que no se disponga de todos los recursos materiales y servicios necesarios en el momento de la propuesta del plan de estudios, se deberá indicar la previsión de adquisición de los mismos.

8. Resultados previstos.

8.1. Estimación de valores cuantitativos para los indicadores que se relacionan a continuación y la justificación de dichas estimaciones. No se establece ningún valor de referencia al aplicarse estos indicadores a instituciones y enseñanzas de diversas características. En la fase de acreditación se revisarán estas estimaciones, atendiendo a las justificaciones aportadas por la Universidad y a las acciones derivadas de su seguimiento.

Tasa de graduación: porcentaje de estudiantes que finalizan la enseñanza en el tiempo previsto en el plan de estudios o en un año académico más en relación a su cohorte de entrada.

Tasa de abandono: relación porcentual entre el número total de estudiantes de una cohorte de nuevo ingreso que debieron obtener el título el año académico anterior y que no se han matriculado ni en ese año académico ni en el anterior.

Tasa de eficiencia: relación porcentual entre el número total de créditos del plan de estudios a los que debieron haberse matriculado a lo largo de sus estudios el conjunto de graduados de un determinado año académico y el número total de créditos en los que realmente han tenido que matricularse.

8.2. Procedimiento general de la Universidad para valorar el progreso y los resultados de aprendizaje de los estudiantes. Entre ellos se pueden considerar resultados de pruebas externas, trabajos de fin de Grado, etc.

9. Sistema de garantía de la calidad.

La información contenida en este apartado puede referirse tanto a un sistema propio para el título como a un sistema general de la Universidad o del centro responsable de las enseñanzas, aplicable al título.

9.1. Responsables del sistema de garantía de la calidad del plan de estudios.

9.2. Procedimientos de evaluación y mejora de la calidad de la enseñanza y el profesorado.

9.3. Procedimientos para garantizar la calidad de las prácticas externas y los programas de movilidad.

9.4. Procedimientos de análisis de la inserción laboral de los graduados y de la satisfacción con la formación recibida.

9.5. Procedimiento para el análisis de la satisfacción de los distintos colectivos implicados (estudiantes, personal académico y de administración y servicios, etc.), y de atención a las sugerencias o reclamaciones. Criterios específicos en el caso de extinción del título.

10. *Calendario de implantación.*

10.1. Cronograma de implantación del título.

10.2. Procedimiento de adaptación, en su caso, de los estudiantes de los estudios existentes al nuevo plan de estudios.

10.3. Enseñanzas que se extinguen por la implantación del correspondiente título propuesto.

ANEXO II**Materias básicas por rama de conocimiento***Artes y Humanidades*

Antropología.
Arte.
Ética.
Expresión Artística.
Filosofía.
Geografía.
Historia.
Idioma Moderno.
Lengua.
Lengua Clásica.
Lingüística.
Literatura.
Sociología.

Ciencias

Biología.
Física.
Geología.
Matemáticas.
Química.

Ciencias de la Salud

Anatomía Animal.
Anatomía Humana.
Biología.
Bioquímica.
Estadística.
Física.
Fisiología.
Psicología.

Ciencias Sociales y Jurídicas

Antropología.
Ciencia Política.
Comunicación.
Derecho.
Economía.
Educación.
Empresa.
Estadística.
Geografía.
Historia.
Psicología.
Sociología.

Ingeniería y Arquitectura

Empresa.
Expresión Gráfica.
Física.
Informática.
Matemáticas.
Química.

Normas para la admisión de artículos

Los artículos que se remitan con la intención de ser publicados deberán enviarse en formato digital (*.doc, *.rtf o *.txt); escrito en castellano, inglés o ambos.

El artículo deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Título del trabajo.
- Nombre y apellido del autor, e institución o empresa en la que desarrolla su actividad profesional.
- Resumen (Abstract)
- Palabras clave (Key Words), entre tres y cinco, que permitan identificar la temática del artículo.
- Bibliografía relacionada o referencias, si las hay, serán incluidas al final del artículo.

La parte gráfica se remitirá conjuntamente, bien insertada en el texto, bien indicando su ubicación exacta dentro del mismo. Es preferible el envío de las imágenes y fotografías en ficheros independientes. Las imágenes, si son escaneadas, deberán tener una resolución mínima de 300 ppp siempre en cuatricromía (**CMYK en formatos .jpg o .tif**). Si se trata de imágenes obtenidas directamente de Internet, es recomendable indicar la dirección completa de la página web donde se haya obtenido, para mayor seguridad.

Los autores aceptan la corrección de textos y la revisión de estilo para mantener, en lo posible, criterios de uniformidad de la revista.

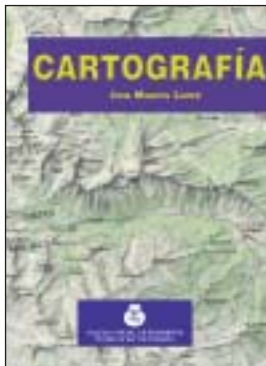
Los artículos serán remitidos al Consejo de Redacción a:

TOPOGRAFÍA y CARTOGRAFÍA
Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía
Avda. Reina Victoria, 66 2º C
28003 Madrid

O bien por correo electrónico a:

secretaria_revista@coit-topografia.es

Libros Técnicos



Título: Cartografía
Autor: José Martín López

33,10 € Ref. 701
(24,10 € colegiados y alumnos E.U.I.T.T.)



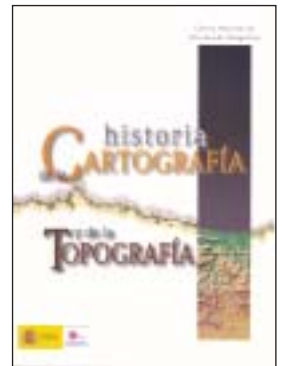
Título: Las series del mapa topográfico de España a Escala 1:50.000
Autores: Luis Urteaga y Francesc Nadal

21,03 € Ref.: 038



Título: Cartógrafos Españoles
Autor: José Martín López

27,05 € Ref.: 021



Título: Historia de la Cartografía y de la Topografía
Autor: José Martín López

41,60 € Ref. 039



Título: Fundamentos Teóricos de los Métodos Topográficos
Autor: Alonso Sánchez Ríos

23,75 € Ref. 6002



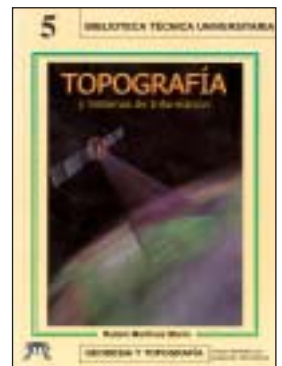
Título: Problemas de Métodos Topográficos (Planteados y Resueltos)
Autor: Alonso Sánchez Ríos

23,75 € Ref. 6003



Título: Programas Informáticos de Topografía
Autor: Carlos Tomás Romeo

26,50 € Ref. 6005



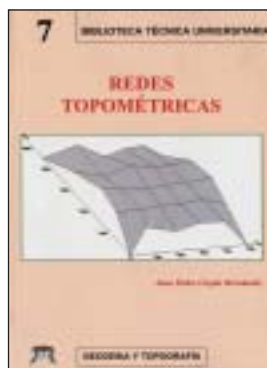
Título: Topografía y Sistemas de Información
Autor: Rubén Martínez Marín

25,00 € Ref.: 6006



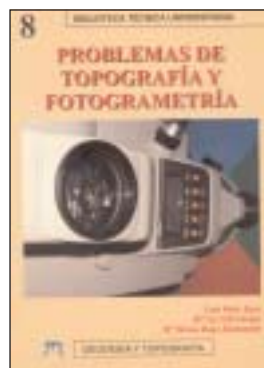
Título: Transformaciones de coordenadas
Autores: J. A. Pérez y J. A. Ballell

25,00 € Ref.: 6007



Título: Redes Topométricas
Autor: Juan Pedro Carpio Hernández

30,00 € Ref. 6008



Título: Problemas de Topografía y Fotogrametría
Autor: José Lerma García

23,50 € Ref.: 6011



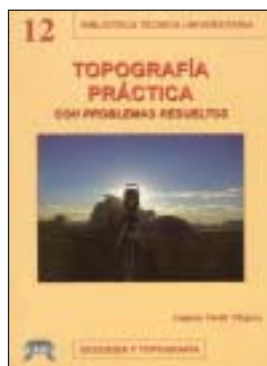
Título: Topografía para Ingenieros
Autores: Silvino Fernández García y M.ª Luz Gil Docampo

27,88 € Ref. 6010



Título: Topografía para Estudios de Grado
Autores: J. J. de San José Blasco, E. Martínez García y M. López González

33,00€ Ref.: 6009



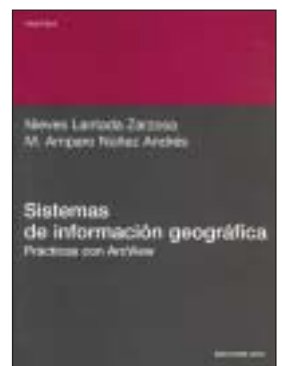
Título: Topografía Práctica con Problemas Resueltos
Autor: Amparo Verdú Vázquez

26,00 € Ref. 6012



Título: Autocad aplicado a la topografía
Autor: Gaspar Mora Navarro

34,71 € Ref.: 5008



Título: Sistemas de Información Geográfica Prácticas con ArcView
Autores: N. Lantada Zarzosa y M. A. Núñez Andrés

12,80 € Ref. 803



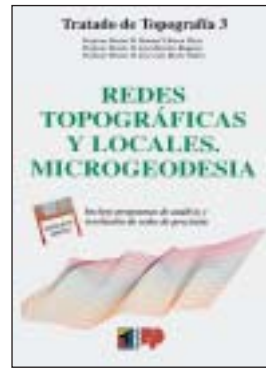
Título: Tratado de Topografía 1
Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné

56,60 € Ref. 2001



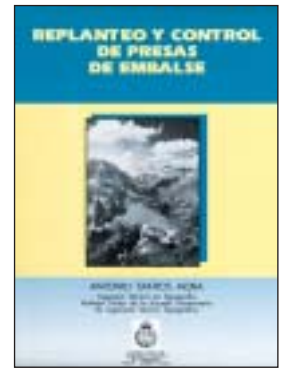
Título: Tratado de Topografía 2
Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné

68,50 € Ref. 2002



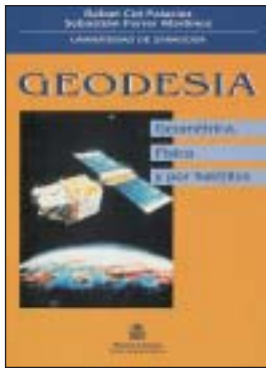
Título: Tratado de Topografía 3
Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné

48,50 € Ref. 2003



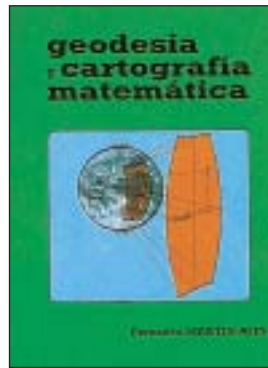
Título: Replanteo y control de presas de embalse
Autor: Antonio Santos Mora

12,10 € Ref. 302



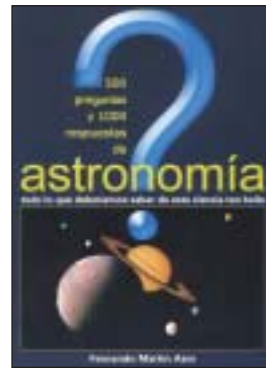
Título: Geodesia (Geométrica, Física y por Satélites)
Autores: R. Cid Palacios y S. Ferrer Mtez.

24,04 € Ref.: 030



Título: Geodesia y Cartografía Matemática
Autor: Fernando Martín Asín

32,00 € Ref. 205



Título: 500 Preguntas y 1000 Respuestas de Astronomía
Autor: Fernando Martín Asín

28,00 € Ref. 206



Título: Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital
Autor: José Luis Lerma García

41,73 € Ref. 5006



Título: Problemas de Fotogrametría I
Autor: José Lerma García

10,20 € Ref.: 5001



Título: Problemas de Fotogrametría II
Autor: José Lerma García

17,75 € 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

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
secretaria_revista@coit-topografia.es

N.º Ref.	Cantidad	Título	Precio unitario	Total

Gastos de envío: (3 € Europa por ejemplar, para otros países consultar)

Nombre E-mail
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.

Bibliografía

Catastro en España

José Luis Berné Valero

Carmen Femenia Ribera

Emilio Benítez Aguado

Universidad Politécnica de Valencia

Valencia 2008

550 págs. – 42,40 € (IVA incluido)

En este libro se desarrolla la situación del Catastro y del Registro de la Propiedad en España, desde los conceptos básicos hasta los últimos avances y la situación actual. Teniendo también en cuenta otros sistemas de administración del territorio, fundamentalmente en Europa; e información que se puede encontrar en Internet al respecto. Destacando especialmente aquellos aspectos relacionados con la cartografía y la topografía, y con la descripción física de los bienes inmuebles.

En cuanto a Catastro: desde los conceptos generales de Catastro (definiciones, características, clasificación administración catastral, documentos y

planos catastrales, ...) hasta su historia, técnicas de ejecución de cartografía catastral rústica y urbana, legislación, información en la red, ... y el Sistema de Gestión Catastro, fundamentalmente SIGCA2.

En cuanto a Registro: desde sus nociones básicas, organización y funcionamiento, características físicas (situación geográfica, referencia catastral, linderos, superficie, excesos de cabida,...) hasta la actual coordinación del Catastro con el Registro de la Propiedad (intercambio de información e implantación de cartografía en los Registros).



500 preguntas y 1000 respuestas de astronomía

Fernando Martín Asín

Topógrafo. Matemático. Dr. Ingeniero Geógrafo

Catedrático de Astronomía

Profesor Emérito de la U.P.M.

404 págs – 28,00 € (IVA incluido)

Siempre que escribo algo de Astronomía, tengo en mis recuerdos a tantas y tantas promociones como pasaron por las aulas, durante los muchos años en que yo estaba impartiendo esta asignatura, y siempre recuerdo que a todos les decía que era la más bonita de todas las que pudieran estudiar.

En el caso de este libro "500 PREGUNTAS Y 1000 RESPUESTAS DE ASTRONOMÍA", que ha visto la luz hace muy pocos días, todavía he sentido esa sensación más dentro de mí.

En el libro se dedican muchas y muchas preguntas, a hablar de los planetas y de las estrellas y de tantas y tantas preguntas como se hace el estudioso por esta bella ciencia. Así mismo, recuerdo en él a tantas personas como dedicaron sus vidas a la Astronomía.

Recojo muchas pinceladas de personajes como Gauss, Newton, Kepler, Galileo y tantos y tantos otros, que fueron tejiendo con su saber, muchas de las preguntas que se contemplan en el libro.

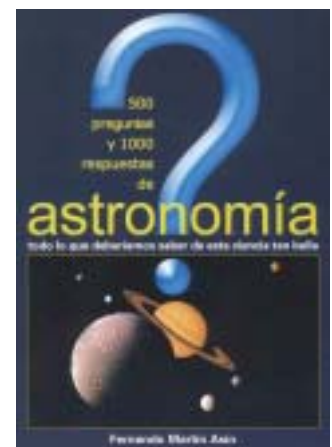
Todos sabéis que tengo otros libros escritos, y algunos de más alto nivel.

Por eso, cuando inicié los borradores de este libro, pensé dedicarlo a todos los grandes hombres que nos precedieron.

Querría que tras "ojear" y "Hojejar" las páginas del libro, a todos les sirviera para recordar lo que estudiaron sobre esta materia, recibiendo los conocimientos de esta asignatura, muchos impartidos por aquel gran catedrático que fue D. José María Torroja, después los que pasaron por mis manos y finalmente los que siguen estudiando estas materias impartidas por otros profesores, bien en nuestra escuela, o bien en otras de las escuelas que cubren nuestra geografía.

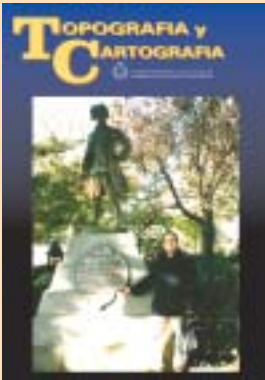
Termino deseando les sirva el libro, para recordar muchas materias recibidas en algún momento de su vida. A los que saben mucha Astronomía, siempre encontrarán en el algo que no sabían; a los que sepan menos, les servirá para a partir de su lectura, saber un poco más y a los que no saben nada, también estoy seguro de que muchas preguntas del mismo, les abrirán nuevos horizontes.

A todos les doy las gracias por el tiempo que dediquen a su lectura y para todos, les envío un gran abrazo de Fernando Martín Asín.



Índices

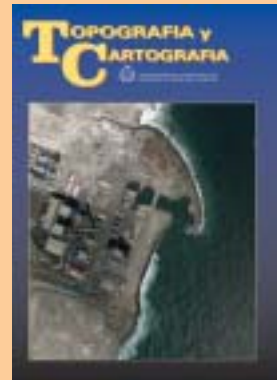
Número 138-139 (Enero/Febrero- Marzo/Abril 2007)



- Editorial. Pág. 3.
- Entrevista a D. Jesús S. Miranda Hita. Director General del Catastro. Pág. 4.
- Topografía Romana (III). Isaac Moreno Gallo. Pág. 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. Pág. 22.
- Alternativas del GPS aerotransportado para un posicionamiento de precisión en cartografía aérea. Mohamed M. R. Mostaza. Pág. 32.
- La estación de referencia permanente GPS de la Escuela Politécnica Superior de Ávila: EPSA. Manuel Pérez Gutiérrez y Alfonso Núñez García del Pozo. Pág. 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. Pág. 48.
- El papel de la Cartografía en el mundo de las infraestructuras de Datos Geoespaciales. Milan Konencny y Ferjan Ormeling. Pág. 78.
- Datos facilitados por el Observatorio Astronómico Nacional. Pág. 88.
- Novedades Técnicas. Pág. 94.
- Vida Profesional. Pág. 98.

Número 140 (Mayo-Junio 2007)

- Fundamentos matemáticos de la Geodesia. Gracia Rodríguez Caderot. Pág. 3.
- Estereoscopia asistida por ordenador. Carlos Arturo Chantre Olaya. Pág. 8.
- Recuperación del antiguo sistema de unidades de longitud Pies-Codos-Estadios. Dieter Lelgemann. Pág. 16.
- El GPS y la Teoría de la Relatividad. Eduardo Huerta, Carlos Galles, Andrés Greco y Aldo Mangiaterra. Pág. 22.
- Análisis de Algunas Metodologías de Evaluación de la Componente Posicional. F. J. Ariza, A. D. Atkinson y M. Nero. Pág. 32.
- Sistema Urbanístico Español: clasificación y calificación del suelo. Sistemas Generales y Redes. Agustín Pichel Martín. Pág. 46.
- Proyecto de implantación de una red básica mediante técnicas GPS para dar cobertura al yacimiento arqueológico "Clunia Sulpicia" (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 subterráneas. Óscar González Díaz. Pág. 59.
- Legislación. Pág. 66.
- Novedades Técnicas. Pág. 68.
- Vida Profesional. Pág. 72.



Volumen XXIV-2007

Número 141 (Julio-Agosto 2007)



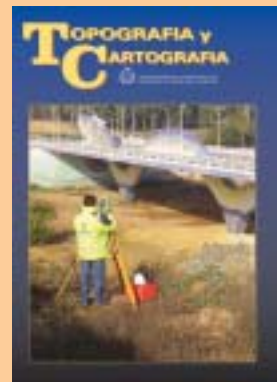
- Desarrollo de un modelo de distorsión geométrica para cámaras fotográficas. *Javier Múgica de Rivera*. Pág. 3.
- Glaciar rocoso del "Corral del Veleta" (Sierra Nevada): Aplicaciones geomáticas en el periodo 2001-2006. *José Juan de Sanjosé Blasco, Alan D. J. Atkinson Gordo, Antonio Gómez Ortiz y Ferran Salvador Franch*. Pág. 8.
- Implantación SIG y su integración web para la gestión Catastral y urbanística en el ámbito de la colaboración interadministrativa con las entidades locales. *Juan José Ruiz Lendínez*. Pág. 18.
- Levantamiento arquitectónico tridimensional y representación virtual de la plaza de Santa María en el casco antiguo de Cáceres. *José Sánchez Bernal, Antonio Valdepeñas Escobar y José Juan de Sanjosé Blasco*. Pág. 24.

- Test para estudiar la precisión y las posibilidades del Método de Estaciones Virtuales de Referencia (VRS) en Finlandia. *Pasi Häkli*. Pág. 34.
- Muestreo, observación GPS y rendimientos obtenidos en la adquisición de vías de comunicación para el control de calidad posicional de la cartografía mediante elementos lineales. *Juan José Ruiz Lendínez, Antonio Tomás Mozas Calvache y Francisco Javier Ariza López*. Pág. 48.
- Levantamiento topográfico con la aplicación del Barredor Láser 3D del graderío romano en el yacimiento arqueológico de Tiemes. Reconstrucción digital y modelo digital del terreno. *Sonsoles Pérez Cañas y Estela Pérez Martín*. Pág. 58.
- Legislación. Pág. 64.
- Novedades Técnicas. Pág. 68.
- Vida Profesional. Pág. 69.
- Convenio Catastro. *Pedro Alcázar Tejedor*. Pág. 70.

Número 142 (Septiembre-October 2007)

- Editorial. Pág. 3.
- Petroglifos Cartográficos en la Estela de Carondio (Allande, Asturias), los primeros identificados en España. *Ricardo González Pañeda y Mario Ruiz Morales*. Pág. 4.
- Evolución de los Métodos de Ajuste de las Observaciones en Topografía, Geodesia y Fotogrametría. Desarrollos futuros. *Ana Domingo Preciado*. Pág. 14.
- "El Guardián del Castillo". Primer puente figurativo de Europa. *Miguel Ángel Osuna Rivas*. Pág. 20.
- Currículum geodésico y metrológico de Joaquín Barraquer Rovira (1834-1906). *Mario Ruiz Morales*. Pág. 32.

- El Análisis de Componentes Principales y su inverso aplicado a imágenes satelitales de alta resolución. *Agripina Sanz, M Concepción Alonso y José Antonio Malpica*. Pág. 42.
- Estación de Referencia GPS del Campus de Mieres (Asturias). Precisiones alcanzables. *Carlos Castán Fernández, Ramón Argüelles Fraga, Beatriz Muñiz Rubiera, Delfín Puente Rodríguez y Benjamín Sánchez Fernández*. Pág. 50.
- Cartografía Histórica Virtual de las Islas Canarias. *Alberto Fernández Wyttenbach*. Pág. 58.
- Novedades Técnicas. Pág. 70.
- Vida Profesional. Pág. 72.



Número 143 (Noviembre-Diciembre 2007)



- Modelización de estructuras históricas. Aplicación al acueducto de San Lázaro Mérida. *Jesús Ángel Torrecilla Pinero, Jose Juan de San José Blasco, Juan Antonio Pérez Álvarez y Jesús Manuel Paniagua Sánchez*. Pág. 3.
- Automatización de trabajos fotogramétricos mediante técnicas de visión Artificial. *Javier de Matías Bejarano, José Moreno del Pozo y José J. Guerrero Campo*. Pág. 10.
- Georreferenciación y cartografía en los yacimientos arqueológicos. *Teresa Fernández Pareja*. Pág. 16.

- Teoría de la Evidencia aplicada a los SIG. *M. Concepción Alonso, Agripina Sanz y José Antonio Malpica*. Pág. 22.
- Normas internacionales de valoración y administración del territorio. *Kauko Vitanen*. Pág. 28.
- Detección cuantitativa de los daños causados por un terremoto a partir de imágenes de satélite de baja resolución. *Tao Xiaxin y Li Ping*. Pág. 34.
- El ajuste común del "G.P.S." y las mediciones fotogramétricas. *Cameron Ellum y Naser El-Sheimy*. Pág. 40.
- Legislación. Pág. 50.
- Bibliografía. Pág. 66.
- Índices del volumen XXIV, 2007. Pág. 68.
- Vida Profesional. Pág. 70.

Vida Profesional

TALLER EXPRES DE GEOTECNOLOGÍAS EN LA RED

La **Delegación Territorial de Madrid**, organizó un Taller express de GEOTECNOLOGÍAS EN LA RED, que se desarrolló los días 16 (en horario de 16:00 a 20:00) y 17 (en horario de 10:00 a 14:00) de noviembre de 2007.

El objetivo de este taller fue mostrar la situación actual de la cartografía, describiendo las tendencias que a escala global y regional está produciendo la Web 2.0 y barrantando los retos que los profesionales de la cartografía y la topografía deben afrontar para los próximos años.

El taller fue dirigido a miembros del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía (profesionales y estudiantes) y como tal se prestó puntual atención a los intereses que los mismos tienen con respecto a las nuevas tecnologías asociadas a su profesión.

El Taller, se desarrolló en la Universidad Politécnica de Madrid, en la E.T.S. de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Y contó con la asistencia de 27 alumnos.

Taller Express

Geotecnologías en la Red

“desde el mapa de hoy a la profesión de mañana”

*Planes de Observación del Territorio
Retos y tendencias de la cartografía en la Web 2.0
Mestizaje cartográfico: hacia una Tierra Digital*

Ponente:

D. Carlos Pérez Gutiérrez
Escuela Politécnica Superior de Ávila
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA



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 GRANLAND
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



VALENCIA 902 19 01 22
MURCIA 615 66 43 43
ZARAGOZA 610 46 77 33
MADRID 607 14 99 07
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