

## GENERACIÓN DE ORTOIMÁGENES EN ÁREAS URBANAS

V. PALÀ, R. ARBIOL y F. PÉREZ

vicencp@icc.es

*Institut Cartogràfic de Catalunya  
Parc de Montjuïc. 08038 Barcelona*

**RESUMEN:** La ortoimagen digital es un producto cartográfico ampliamente utilizado, tanto como elemento complementario de la cartografía tradicional, cuando ésta no está suficientemente actualizada, como para permitir extraer información distinta a la que es usual encontrar en un mapa topográfico. La precisión geométrica de una ortoimagen es fuertemente dependiente de la calidad del Modelo Digital del Terreno (MDT) y del algoritmo de corrección utilizado. Se comprueba que los resultados obtenidos trabajando a alta resolución en zonas urbanas con los procedimientos estándar son inapropiados y se sugiere una aproximación distinta que utiliza un modelo tridimensional de las estructuras existentes y procede a la determinación de las partes ocultas en cada fotograma, así como al ensamblaje (mosaico) de todas las ortoimágenes que provienen de las diferentes vistas de un mismo lugar y participan en la elaboración de un producto libre de ocultaciones (*True ortho*).

**Palabras clave:** "True ortho", Ortoimagen, MDT

**ABSTRACT:** Digital orthoimage is a widely used cartographic product, either as a complement to the traditional topographic map -when the latter has not been updated- or to allow the extraction of different kinds of information. The geometric precision of an orthoimage is strongly dependent on the quality of the Digital Terrain Model (DTM) and the geometric correction algorithm used. It is well known that the results obtained with the standard procedure over urban areas, when working with high resolution pictures, are inappropriate. So, a different approach is suggested that builds a 3-D model for the existing structures, determines the hidden parts in each image and combines (mosaics) all the orthoimages that come from different views of the same area and contribute to the generation of a product free of geometric shadows.

**Keywords:** True ortho, Orthoimage, DTM

### INTRODUCCIÓN

Resulta ya una obviedad la afirmación de que el volumen de imágenes de la Tierra disponibles para multitud de aplicaciones está aumentando con el tiempo a un ritmo creciente. Así mismo, crece la diversidad de productos disponibles, tanto desde el punto de vista espectral como desde el punto de vista espacial, como demuestra el caso del satélite Ikonos. Muchas de esas imágenes exigen un proceso de corrección geométrica como paso previo para la extracción de información. En muchos casos la corrección geométrica y radiométrica de esas imágenes es un producto en sí mismo.

Habitualmente, los procedimientos estándar de generación de ortoimágenes realizan ciertas simplificaciones. Una de estas hipótesis de partida es que el Modelo Digital del Terreno (MDT) que se utiliza para corregir la imagen es una representación de los objetos existentes

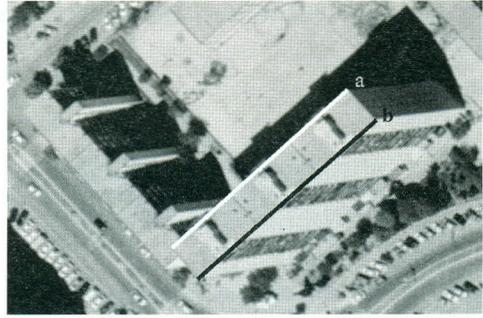
sobre el suelo y que toda la superficie a representar está visible en la imagen de partida. Cuando se trabaja con imágenes de alta resolución sobre áreas urbanas o sobre estructuras de creación humana ambas hipótesis se demuestran incorrectas. En primer lugar, los MDT normalmente utilizados derivan de la cartografía existente, que representa el terreno a nivel del suelo sin reflejar las estructuras existentes sobre el mismo (árboles, edificios). En segundo lugar, los edificios producirán normalmente zonas ocultas, es decir, áreas que deberían estar presentes en una proyección ortogonal del terreno, pero que se encuentran tapados por un edificio en la fotografía a corregir (Lee, 1991) (Nagy, 1994) (Floriani y Magillo, 1994).

La presente comunicación, con el objetivo de generar una ortoimagen verdadera, trata con especial énfasis tanto las características y estructura del MDT necesa-

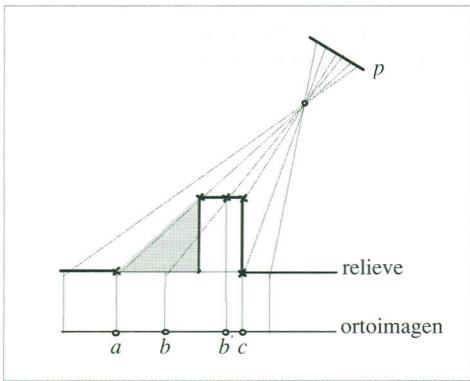
rio, como la detección de ocultaciones en una imagen y la generación de mosaicos de las diferentes imágenes de la misma zona captadas desde diferentes puntos de vista.

**ORTOIMAGEN ESTÁNDAR Y TRUE ORTHO**

La algorítmica para la construcción de una ortoimagen estándar puede ser descrita de manera muy simple (Figura 1): a cada punto del plano de la ortoimagen se le hace corresponder el punto del plano de la imagen original que le corresponde según un modelo geométrico apropiado para el sensor. En la parte inferior de la figura representamos el plano de la ortoimagen, mientras que en la superior tenemos el plano  $p$  correspondiente a la imagen captada con todas sus distorsiones geométricas.



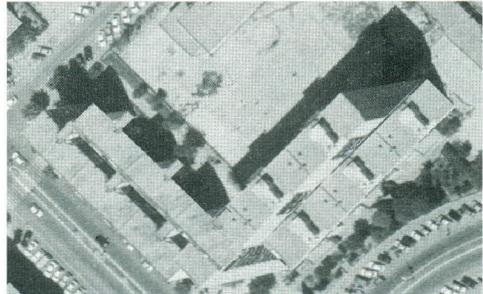
**Figura 2.** Imagen original correspondiente a la digitalización de una fotografía aérea.



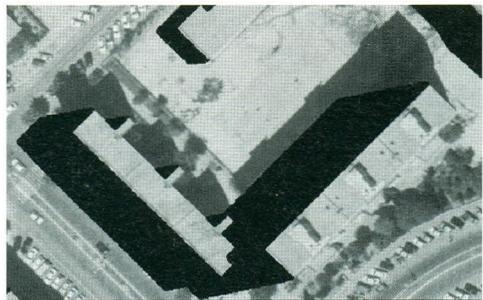
**Figura 1.** Geometría básica en la formación de una ortoimagen.

Podemos observar como la posición  $a$  corresponde a una singularidad, en el límite entre una región visible en la fotografía y una zona de sombra geométrica u ocultación. Remarcamos con trazo blanco una arista de un edificio que corresponde a una singularidad de este tipo (Figura 2).

En cuanto a las posiciones  $b$  y  $b'$  tenemos que, a pesar de ser distintas en el plano de la ortoimagen, corresponden a una misma posición en la fotografía. Sin tratamiento de partes ocultas tendremos como resultado la duplicación de estructuras. Este hecho es perfectamente observable en la ortoimagen estándar (Figura 3), donde los tejados de los edificios aparecen duplicados. En la *true ortho* (Figura 4), por el contrario, el píxel  $b$  corresponde a una parte no visible (en negro), mientras que  $b'$  sí lo es.



**Figura 3.** Ortoimagen resultante de un proceso estándar (sin tratamiento de ocultaciones).



**Figura 4.** *True Ortho*.

Por otro lado,  $c$  corresponde a otro punto singular que, a diferencia de  $a$ , se encuentra en la frontera entre dos zonas visibles que están en planos diferentes. Estos dos planos están conectados por otro, la pared del edificio, visible en la imagen original y que no debe aparecer en la ortoimagen. Delimitamos en negro una arista

que corresponde a una singularidad de este tipo (Figura 2).

Estos casos deben ser considerados al generar la *true ortho* (Rognant *et alii*, 2000), dando pie a diferentes técnicas de reconstrucción de los DN (*digital numbers*) de la ortoimagen según la casuística descrita.

### MODELOS DE REPRESENTACIÓN DEL RELIEVE

Resulta evidente que para obtener un posicionamiento preciso para todos los píxeles que forman una ortoimagen es necesario también disponer de una representación precisa de las estructuras o “formas” urbanas. Contrastando con esta necesidad tenemos la realidad de unos datos existentes pensados para trabajar a otras escalas o para generar curva de nivel, que además están almacenados en estructuras diseñadas para una aparente fácil manipulación y actualización, así como para la algorítmica disponible en el momento.

En concreto, tenemos que los modelos de elevación producidos para uso cartográfico describen por lo general el terreno, obviando las estructuras construidas sobre él. También nos encontramos con una estructura regular de almacenamiento de datos (*grid*) con separación fija de malla y suficiente para resolver con precisión el caso estándar.

Ahora bien, incluso en el caso de disponer de una malla de información altimétrica muy fina, nos encontramos con una pérdida de precisión inherente al hecho de escalonar, durante el muestreo, las líneas rectas o planos que tanto abundan en las estructuras urbanas.

Con todo esto llegamos a la necesidad de almacenar la información relativa al relieve de un modo diferente, cumpliendo con los siguientes requisitos o propiedades:

- **Densidad adaptativa de la información**, con lo que habrá tanta más información cuanto más complejo sea lo que queramos representar.
- **Captación y almacenamiento vectorial**, para evitar así una imprecisión original ocasionada por el muestreo. Además, la información vectorial facilita los abundantes cálculos necesarios en la posterior etapa de cálculo de ocultaciones.

Los modelos TIN (*Triangulated Irregular Network*) respetan perfectamente estas propiedades. Aproximan una superficie mediante triángulos que conectan un conjunto de vértices distribuidos irregularmente y de elevación conocida. Usualmente se aplica la triangulación restringida de Delaunay (Preparata y Sanmos, 1985), que garantiza la creación de un conjunto de triángulos lo más equiláteros posible, donde cada uno de ellos cumple que la circunferencia que lo circunscribe no contiene ningún otro punto del espacio a triangular.

### EFFECTOS DE LAS IMPRECISIONES DEL RELIEVE EN LA *TRUE ORTHO*

Los desajustes entre el modelo digital del terreno y la realidad producen una serie de efectos indeseados en la *true ortho*, algunos de los cuales vamos a revisar.

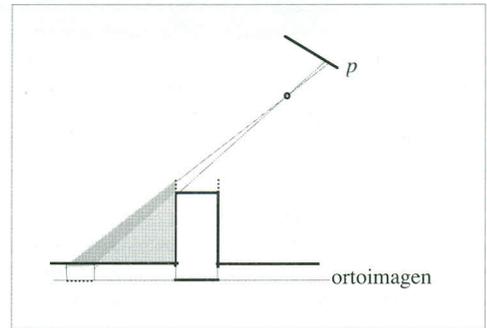


Figura 5. Representación del efecto que provoca una altura del MDT inferior a la real.

Uno de los más comunes es el resultante de haber digitalizado de forma incompleta el volumen de un edificio, sin tener en cuenta estructuras menores, como por ejemplo los barandados (en muchos casos opacos) sobre las terrazas de dichas construcciones, que provocan a su vez ocultaciones. En este caso, en el plano de la ortoimagen se considera visible una parte que debería estar oculta, quedando el barandado proyectado en el suelo, justo a continuación de la sombra geométrica y separado del edificio (Figura 5).

También pueden darse situaciones parecidas a la anterior, aunque más exageradas en su impacto visual, debidas a un problema de desactualización de la información: tenemos un MDT generado en una fecha determinada y unas imágenes captadas en otra diferente. Es fácil, especialmente en zonas urbanas, que algún edificio o construcción haya sido creado o derruido en ese tiempo. En caso de derribo observaremos en la ortoimagen una sombra geométrica inexistente, sin sentido en relación con lo observable en esa parte de la imagen. En el caso de una nueva edificación tendremos las duplicaciones ya comentadas para la ortoimagen estándar.

Por otro lado, la imposibilidad de representar con todo detalle el mundo real se refleja inevitablemente en la calidad geométrica de la ortoimagen. Necesitamos un modelo adecuado para los objetos en consonancia con la escala de trabajo, aunque en el límite nos encontramos con objetos de difícil modelización a cualquier es-

cala: árboles, coches, estructuras y subestructuras en los tejados, balcones. Especialmente complicados son los objetos dinámicos como los coches en movimiento.

### MOSAICO DE LAS DIFERENTES VISTAS

El siguiente paso en el proceso es el ensamblaje del conjunto de imágenes adquiridas desde diversos puntos de observación y que, en conjunto, nos permiten reconstruir el espacio de representación de la ortoimagen en su totalidad. Esperamos, por tanto, que cualquier punto de la ortoimagen sea visto desde, como mínimo, una de las imágenes que se captaron.

Durante el ensamblaje se deben resolver una serie de problemas:

- 1) Igualación radiométrica del conjunto de imágenes, especialmente dificultosa en las zonas de sombra solar. Además, las sombras se desplazan en el tiempo que discurre durante la captación de las imágenes.
- 2) Los efectos, ya comentados, debidos a las imperfecciones de los modelos digitales del terreno (p.ej: el problema del barandado).
- 3) Los objetos no modelizados, como árboles, contenedores, mobiliario urbano y, en general, pequeñas estructuras.
- 4) Los objetos en movimiento.

La solución actual a estos problemas exige un paciente trabajo manual por parte de un operador experto en estas lides, así como la utilización de un conjunto de imágenes que presente un gran solape transversal y longitudinal.

### CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Hemos visto que para generar verdaderas ortoimágenes sobre terrenos complejos, como es el caso de las zonas urbanas, necesitamos una modelización del terreno muy precisa y un tratamiento específico para eliminar las partes ocultas.

Se dispone de herramientas que posibilitan la tarea del ensamblaje manual de las diferentes componentes

de una *true ortho*, lo que nos conduce a afirmar que este producto es una realidad.

Quedan pendientes dos temas que serán objeto de trabajos futuros:

- Determinar los mecanismos que han de proporcionar el MDT apropiado para esta aplicación, tanto desde el punto de vista de la precisión geométrica como de las estructuras a introducir en el modelo
- La elaboración de procedimientos semi-automáticos para el mosaico de las diferentes piezas que constituyen una ortoimagen

### BIBLIOGRAFÍA

- FLORIANI, L. and MAGILLO, P., 1994. "Visibility algorithms on triangulated digital terrain models". Int. J. Geographical Information Systems. Vol. 8, No. 1, pp. 13-41.
- LEE, J., 1991. "Analyses of visibility sites on topographic surfaces". Int. J. Geographical Information Systems. Vol. 5, No. 4, pp. 413-429.
- NAGY, G., 1994. "Terrain visibility". Comput. & Graphics, Vol. 18, No. 6., pp. 763-773.
- PREPARATA, F. P. and SHAMOS, M. I., 1985. *Computational Geometry: An Introduction* (New York: Springer-Verlag).
- ROGNANT L., PLANÈS, J. G., MEMIER, M. and CHASSERY, J. M., 2000. "Low cost precise urban orthophotos". Proceedings of ASPRS Annual Conference – DC2000. Washington, 22-26 May.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Toni Ruiz la atención prestada en largas conversaciones sobre la forma apropiada de afrontar el problema de las ocultaciones y su soporte en lo que concierne a los TIN utilizados. Asimismo a Carles Franquesa por la consecución de las primeras pruebas en el establecimiento de una algorítmica básica para la generación de la *true ortho*.