

Experiencias en la corrección geométrica de imágenes de alta resolución: metodología rigurosa versus empírica.

Carlos Pérez⁽¹⁾, Nilda Sanchez⁽²⁾

⁽¹⁾ Dep. Ing. Cartográfica y del Terreno. Universidad de Salamanca. Escuela Politécnica Superior de Ávila. C/Santo Tomás, s/n, 05003 Ávila (España). carpegu@usal.es.

⁽²⁾ Dep. Ing. Cartográfica y del Terreno. Universidad de Salamanca. Fac. Ciencias Agrarias y Ambientales. Avda. Filiberto Villalobos, 119, 37007 Salamanca (España). nilda@usal.es.

Resumen

La demanda masiva que están teniendo las imágenes de alta resolución en el último lustro, cuestiona los métodos tradicionales para la corrección geométrica, fruto del pequeño tamaño nominal del píxel y del ángulo de visión oblicua que caracteriza a estos satélites. Los métodos tradicionales de georreferenciación proporcionan una solución no coherente con la precisión métrica deseable para estas imágenes. Se analizan en este trabajo las experiencias obtenidas con una imagen QuickBird, comparando los métodos más adecuados en la actualidad para este tipo de imágenes.

1. Introducción

La irrupción en el mercado de imágenes de alta resolución procedentes principalmente de los satélites IKONOS y QuickBird plantea nuevos retos de diseño cartográfico y tratamiento métrico, accediendo a escalas de representación cercana a 1:10.000, impensables hace unos años.

En este trabajo se muestra la experiencia desarrollada en la obtención de ortoimágenes a partir de información procedente del satélite QuickBird (producto "Basic Imagery 1B").

El presente estudio se engloba dentro de un proyecto más extenso [1] para la aplicabilidad de las imágenes de alta resolución en la producción de cartografía de imagen a escalas medias y grandes, integrándolas con cartografía vectorial ya existente.

En su aspecto métrico, dicho proyecto analizaba el comportamiento de los diferentes métodos de georreferenciación de cara a un producto final de calidad métrica y precisión cartográfica válido para escalas 1:10.000.

Dada su extensión, la presente comunicación profundiza en los dos métodos que en los trabajos anteriores planteaban mejores resultados. Se descartan así aquellas metodologías clásicas (p.e.:

polinomios bidimensionales o lámina plano-flexible) ya que no se adecuan a las demandas deseables en las imágenes de alta resolución.

Así, se analizan dos de los enfoques más populares del proceso de ortorrectificación tridimensional: el método paramétrico, también llamado "físico" o "riguroso", y el no paramétrico o empírico representado con la aplicación de las funciones racionales (también llamado RPC desde el acrónimo de "Rapid Positioning Capability"). Se aborda el estudio de los errores y se efectúan una serie de tests métricos que permiten valorar la calidad métrica (en términos de posición geométrica y precisión asociada) de los objetos representados en las distintas ortoimágenes generadas.

2. Características métricas de QuickBird

QuickBird Basic es un producto que presenta únicamente corrección radiométrica y corrección por sensor (focal y chip, distorsiones ópticas y distorsiones de barrido), siendo especialmente válido para usuarios con altas necesidades de precisión métrica.

Junto a la escena, de un tamaño mínimo de 16.5x16.5km, se facilitan datos auxiliares de la toma (altitud y efemérides) y del modelo de cámara, así como los coeficientes correspondientes a las funciones racionales (RPCs)

3. Modelización matemática

Durante la adquisición de toda imagen satelital, se producen una serie de errores, atendiendo a: 1/ el propio sensor (distorsión física de las lentes, variaciones de la focal, distorsión en el barrido), 2/ las condiciones de la toma (orientación, velocidad, altitud y oblicuidad del sensor en la toma) y 3/ la superficie terrestre (curvatura, rotación, orografía y errores derivados de la propia proyección cartográfica en la que se tome la imagen).

Lo anterior se traduce en distintos errores geométricos como pueden ser la variación del tamaño de píxel, paralaje aleatoria en imágenes estereoscópicas, desplazamientos de los píxeles entre su posición de órbita teórica y la real,...

La ortorrectificación permite corregir o minimizar en lo posible estos errores y obtener un producto imagen comparable a un mapa, en el que cada píxel de la imagen se corresponde biunívocamente con su posición en la superficie terrestre. Será una ortorrectificación tanto mejor, cuanto que esta correspondencia sea lo más precisa, en términos de error geométrico (posición real y calculada) posible.

Genéricamente, se pueden afrontar dos enfoques matemáticos para la georreferenciación:

- Riguroso o paramétrico: engloba la modelización de las distorsiones debidas a la plataforma, características del sensor, modelación del terreno y proyección cartográfica [2]. Todo ello, mediante funciones paramétricas en tres dimensiones, siendo la más generalizada entre ellas, la denominada Condición de Colinealidad. Este procedimiento presenta el inconveniente de que se necesitan conocer los datos de la plataforma (trayectoria y aptitud a lo largo de la toma) y del sensor (focal y distorsiones) lo cual no siempre es factible. (caso concreto del satélite IKONOS donde esta información está clasificada).
- No paramétrico o empírico: aplicación de funciones matemáticas más datos de campo: usado en el caso de que no se faciliten los parámetros de los sistemas de adquisición. Se basa en dos funciones matemáticas: las funciones polinómicas racionales y las funciones polinómicas simples. Son una aplicación de los clásicos polinomios bidimensionales a los que se añade la coordenada altimétrica para incluir la información del relieve del terreno [3]. Tienen el problema de que son dependientes de la distribución de los puntos de control terreno, además de no ser aplicables a zonas grandes por su falta de robustez.

Las funciones polinómicas racionales relacionan coordenadas píxel con terreno y se aplican de dos maneras distintas: a) basada en el conocimiento de la geometría del sensor y su posición, expresada en los 20 coeficientes de las funciones racionales tridimensionales facilitadas por la imagen. En este caso no es preciso información de campo. b) el uso de un

determinado número de GCPs, hace posible calcular los coeficientes mencionados. En este caso es preciso acudir a información de campo.

Estos procesos tienen, además, sus propias fuentes de error: indeterminación en la identificación de los puntos imagen, errores asociados a las coordenadas terreno de los puntos de control, calidad tridimensional del modelo digital del terreno, etc.

4. Experiencias de ortorrectificación

4.1. Datos de partida

- Imagen QuickBird tipo Basic 1B con fecha 5 de diciembre de 2004. 16.5x16.5km. Ángulo off-nadir: 12.9°. Altura del sol 26°. (Préstese atención a que la configuración de la toma es un caso palpable de mala geometría). Por motivos de continuidad con trabajos previos en la zona de estudio, se restringió la zona utilizando solamente un área central de 8x8km.
- Modelo Digital de Elevación (MDE) extraído de cartografía oficial a escala 1:10.000. La zona presenta un desnivel máximo de 80m por lo que el factor orográfico no resulta determinante en este estudio.
- Puntos de control en tierra: 10 dianas de coordenadas conocidas materializadas en campo previamente a la toma de la escena como puntos de control (figura 1), 3 puntos más como puntos de chequeo independiente. Puntos extraídos de cartografía 1:10.000 como puntos de geometría a validar.

4.2. Proceso de ortorrectificación

Se ha efectuado el procedimiento de georreferenciación por tres métodos diferentes, con el propósito de validar la calidad de cada uno:

- Método riguroso mediante los parámetros orbitales (facilitados en el fichero imagen) según el modelo "Toutin" implementado en la aplicación PCI Geomatics v9.1. El proceso implica conocer las coordenadas de una serie de Puntos de Control en Tierra (GCPs), así como la modelización de la orografía de la zona, mediante el correspondiente MDE.
- Polinomios racionales mediante el uso de puntos de control en terreno (10 GCPs) y MDE, para el cálculo de los coeficientes RPCs.

- Similar al método anterior, pero haciendo uso de los RPCs facilitados por Digital Globe con propia escena.



Figura 1: Ejemplo de dianas terreno para puntos de control marcados en campo previo a la toma.

4.3. Control métrico

En el proceso de comparación de las diferentes metodologías, la calidad métrica puede verificarse de diferentes maneras. Las utilizadas en este trabajo son:

- Verificación del ajuste interno del modelo matemático, atendiendo a los residuos de los diferentes observables.
- Verificación de la posición de los píxeles de la imagen y sus verdaderas coordenadas en el terreno, haciendo uso de una serie de puntos de control independiente (CPs). Una modificación a este método es la de utilizar trayectorias en vez de puntos. Las coordenadas terreno en ambos casos se obtienen con GPS diferencial.
- Comparación de la ortoimagen resultante con cartografía vectorial o imagen a una escala adecuada.

En [6] y [7] pueden encontrarse algunas disposiciones oficiales sobre normas de ortorrectificación y control de calidad de productos finales.

4.3.1. Estadísticos del ajuste

A modo de primera conclusión, puede observarse en la Tabla 1 que el procedimiento más robusto resulta ser el riguroso con datos de los parámetros orbitales, aunque los tres están en un orden similar de error.

Es importante destacar que el emc procedente de los GCPs no es el más adecuado para dar una estimación del error global del proceso. Esto es así, dado que errores imputables a estos puntos son incorporados al cálculo y podrían enmascarar la solución, o amoldarla a una solución adecuada en

principio, si bien con errores inherentes no detectados.

Resulta mucho más adecuado valerse del emc de los Puntos de Chequeo Independiente (CPs) como un estimador de la calidad final del proceso.

Tabla 1: Resultados estadísticos en forma de error medio cuadrático.

Basic Imagery	Método Riguroso	
	EMC (m)	EMC (m)
10 GCPs	0.38	0.78
3 CPs	0.94	1.71
Basic Imagery	Funciones racionales	
	EMC (m)	EMC (m)
10 GCPs	0.67	2.24
3 CPs	1.25	4.49
Basic Imagery	GCPs+RPCs	
	EMC (m)	EMC (m)
10 GCPs	1.31	0.85
3 CPs	1.43	1.96

4.3.2. Control mediante trayectorias.

A bordo de un vehículo con GPS diferencial, se han tomado trayectorias sobre caminos existentes en la zona. Estas trayectorias se superponen a la ortoimagen generada y puede observarse el desplazamiento de los caminos (fácilmente interpretables en las mismas) respecto a los trayectos seguidos.

A la vista de los resultados (Tabla 2), este procedimiento se muestra más adecuado en el control, con errores menores en cualquiera de los casos que en el control mediante superposición cartográfica que se aborda a continuación.

Es factible pensar que ello es debido a que el dato se toma directamente sobre el terreno y no interviene un proceso posterior de digitalización o restitución como ocurre con la cartografía descrita en la siguiente sección.

Tabla 2: Control con trayectorias GPS.

	Residual máximo (m)	Residual medio (m)	EMC (m)
Método Riguroso	1.15	0.32	0.56
Funciones Racionales	4.08	2.11	2.50
GCPs+RPCs	2.07	0.99	1.18

Los resultados son análogos a los del método anterior desde el punto de vista cualitativo (mejor el método riguroso), aunque cuantitativamente los

residuales obtenidos en los tres casos tienen valores más pequeños.

4.3.3. Control mediante cartografía 1:10.000

La superposición de cartografía vectorial a la imagen ortorrectificada, permite el control de la misma, a partir de una muestra de puntos extraídos en ambas y que sean fácilmente identificables (límites de parcelas, esquinas de construcciones, caminos, etc.). Se ha tomado una muestra de 37 puntos y los resultados de los residuales y el emc se exponen en la Tabla 3.

Tabla 3: Control por superposición de cartografía vectorial

	Residual máximo (m)	Residual medio (m)	EMC (m)
Método Riguroso	2.00	0.69	0.96
Funciones Racionales	5.70	3.47	3.73
GCPs+RPCs	6.05	1.94	2.52

En este punto se observa que la ortoimagen resultante de la ortorrectificación rigurosa es significativamente mejor que la resultante de las funciones racionales y, aunque en menor medida, que la de coeficientes racionales (GCPs+RPCs).

5. Resultados y conclusiones

De las tablas mostradas, podemos concluir que el proceso más adecuado resulta ser el Modelo Riguroso según el modelo Toutin implementado por PCI Geomatics. En la comparativa de las ortoimágenes resultantes, el desplazamiento entre la ortoimagen del método riguroso y la de coeficientes racionales es alrededor de un píxel, lo que en la práctica puede resultar despreciable.

Como contrapartida, el procedimiento de ortorrectificación por el método de funciones racionales mediante GCPs y MDE exclusivamente, no produce ortoimágenes de la calidad métrica suficiente para realizar cartografía a escala 1:10.000 (error menor de 2.5 m según [7]). Este método demuestra ser más dependiente de la distribución y número de los GCPs y muestra errores más grandes y heterogéneos en la imagen.

En cambio, si al método anterior se le añaden los RPCs facilitados por Digital Globe, el proceso se estabiliza y se obtiene un producto que, aunque de menor precisión que el modelo riguroso, cumple con las expectativas para confeccionar cartografía a escala grande.

El mejor método de control de la ortoimagen se efectúa con las trayectorias GPS, que no tienen los posibles errores de digitalización e interpretación del mapa. La utilización de dianas sobre el terreno para la materialización de GCPs y CPs facilita la identificación en la imagen y mejora la bondad del proceso, si bien no es tarea fácil disponer de este tipo de señales.

6. Agradecimientos

Al Servicio Transfronterizo de Información Geográfica (stig) de la Universidad de Salamanca por la adquisición de las imágenes QuickBird.

7. Referencias

- [1] Sánchez, N. Santos, G., "Obtención de productos cartográficos a gran escala mediante imágenes de alta resolución espacial". En Medio Ambiente, Recursos y Riesgos Naturales. Análisis mediante tecnología SIG y Teledetección (vol. 1), pp. 287-299. Conesa, C., Álvarez, y., Martínez, J.B., Univ de Murcia.
- [2] Toutin, Th., "Geometric Processing of Remote Sensing Images: Models, Algorithms and Methods". International Journal of Remote Sensing, 25 (10), pp. 1893-1924. 2004.
- [3] Palà, V. and Pons, X., "Incorporation of Relief in Polynomial-Based Geometric Corrections". Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 61 (7), pp. 935-944. 1995.
- [4] Gurcan, B., Murat, O., Karsten, J., "Precise georeferencing of rectified high resolution space images". ISPRS Istanbul2004. <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm1/papers/34.pdf>.
- [5] Toutin, Th., Chénier, R., Carboneau, Y., 2002. "3D models for high resolution images: examples with EROS, IKONOS and QuickBird". ISPRS 2002. <http://www.isprs.org/commission4/proceedings/pdfpapers/156.pdf>
- [6] European Commission, JRC-ISPRA (2004), "Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery". version 2.3 (07/04/04) Disponible en: <http://marsunit.jrc.it/Mapping/GuidelinesfororthoQA/OrthoBPGuidelinesv2-3doc2402.pdf>
- [7] Federal Geographic for Digital Cartography (1999), U.S. Geological Service, "Contents Standards for Digital Ortho Imagery". http://www.fgdc.gov/standards/documents/standards/orthoimagery/orth_299.pdf