

## EVALUACIÓN DE MÉTODOS MANUALES, AUTOMÁTICOS O SEMI-AUTOMÁTICOS PARA LA GEORREFERENCIACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE

I. Amezttoy, J. Bustamante, R. Díaz-Delgado y D. Aragonés.

*Laboratorio de SIG y Teledetección (LAST-EBD) - Estación Biológica de Doñana, CSIC.  
C/Americo Vespuccio s/n, 41092, Sevilla. i.amezttoy@ebd.csic.es*

### RESUMEN

El número disponible de imágenes procedentes de Satélites de Observación de la Tierra está en continuo crecimiento, siendo además su obtención cada vez más sencilla y barata en los últimos años. El Banco de Imágenes del Laboratorio de SIG y Teledetección de la Estación Biológica de Doñana (LAST-EBD) dispone para una misma zona, entre otras, de 400 imágenes Landsat MSS, TM y ETM+ del período comprendido entre 1974 hasta las últimas adquisiciones del 2009. Este gran número de imágenes que constituye la serie temporal hace necesaria una revisión de las opciones existentes en cuanto a su procesamiento. Los métodos de corregistro o georreferenciación tradicionales que la mayoría de usuarios han implementado hasta la fecha suponen una inversión de tiempo considerable para una corrección geométrica adecuada. Con el objetivo de disminuir el tiempo de procesado para una serie temporal de imágenes de satélite larga se han testado diferentes métodos y se ha evaluado su eficacia y calidad.

### ABSTRACT

The number of images from Earth Observation Satellites available is steadily growing, its acquisition is also easier and cheaper in recent years. The Image Bank of the GIS and Remote Sensing Laboratory of Doñana Biological Station (LAST-EBD) has at its disposal, among others, 400 Landsat MSS, TM and ETM+ images between the period from 1974 to the latest acquisitions in 2009 for the same area. This large number of images requires a review of options in term of image processing. Image to Image or Image to Map registering methods that most users have implemented to date involve a considerable investment of time to get a proper geometric correction. Aiming to reduce the current processing time, we have implemented different methods and have compared their effectiveness and quality.

**Palabras clave:** corrección geométrica, series temporales, puntos de control, automatización.

### INTRODUCCIÓN

Los métodos de ubicación automática de puntos de control para la corrección geométrica de imágenes son bien conocidos desde hace tiempo pero la realidad es que su implementación ha sido escasa. Probablemente sea debido a que los diferentes programas de tratamiento de imágenes no han incluido dicha opción hasta hace relativamente poco. En la actualidad la mayoría de usuarios opta por métodos de corrección geométrica tradicionales basados en la colocación visual de puntos homólogos para 1) corregistro o ajustar geométricamente una imagen respecto a una del mismo sensor que se toma como referencia y que puede estar proyectada o no y, 2) georreferenciar o proyectar la imagen a un sistema de referencia cartográfico de manera que las posiciones de la imagen coincidan con posiciones sobre el terreno.

En este trabajo se han evaluado diferentes procedimientos de corrección geométrica con el objetivo de disminuir el tiempo a invertir por parte del usuario.

La adecuada elección del método implementado permitirá un procesado más eficiente de series temporales con un elevado número de imágenes.

### MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio consta de tres tipos de análisis, 1) La evaluación de la calidad de la georreferenciación utilizando entre 100 y 120 puntos de control 2) Aquel que evalúa la viabilidad de corregistro primero las imágenes entre sí para luego proyectarlas sobre el terreno aplicando los puntos utilizados para georreferenciar la imagen de referencia y 3) el referente a la obtención automática o semi-automática de puntos de control.

La base cartográfica de referencia utilizada corresponde a la "Ortofotografía digital de Andalucía (color) 1:10000" 1998-1999. Como imagen de referencia para todos los procesos posteriores se georreferenció mediante el modelo de Palà y Pons la imagen Landsat ETM+ del 18 de julio de 2002 con un error cuadrático medio de 12.95 m (test).

Las correcciones realizadas no han considerado el relieve dado el bajo rango altitudinal de la zona de interés que son las marismas de Doñana.

Los programas utilizados para los diferentes análisis han sido; MiraMon v6.4c, ENVI 4.6 y el módulo AutoSync de Erdas Imagine 9.2.

#### Análisis – Procedimiento 1

Algunas de las imágenes corregidas hasta el 2006 seguían la recomendación del *National Remote Sensing Cente*, utilizándose para ello entre 100 y 120 puntos de control (Davison 1994) y un ajuste tipo "rubber-sheet transformation" con un polinomio de grado 2. Dicho procedimiento implica una inversión de tiempo considerable en la ubicación manual de los puntos de control.

Para evaluar la calidad de la georreferenciación por este procedimiento se seleccionaron 10 imágenes Landsat TM y ETM+ comprendidas entre 1984 y 2006 para distintas fechas del año. Se evaluó el RMSE de cada una de ellas con la colocación de 10 puntos de test, ubicados regularmente e independientes a los utilizados en el modelo de georeferenciación.

#### Análisis – Procedimiento 2

Se divide en 2 fases:

Fase I: Debido a la relación entre RMSE obtenido y el número de puntos colocados en la imagen, conoceremos el número mínimo de puntos necesarios para cada imagen y así reduciremos el esfuerzo y tiempo empleado para cada una.

Para el análisis se tomaron las mismas 10 imágenes del procedimiento 1 y en cada imagen se colocaron 136 puntos de la forma más homogénea posible para evitar errores locales en la imagen corregida. 136 servirán como puntos de control y 16 de test.

Las coordenadas se pasaron a un archivo de texto plano y se generaron manualmente 112 archivos con extensión COR para calcular el RMSE con MIRAMON.

Fase II: Primero se corrigieron las 10 imágenes siguiendo los resultados de la primera fase,

para luego volverlas a corregir con los puntos de control creados con anterioridad para la imagen de referencia y así obtener la imagen proyectada sobre el terreno. Por último se evaluó el RMSE respecto a la Ortofoto.

#### Análisis – Procedimiento 3

Se ha usado el algoritmo APM (Automatic Point Matching) de ERDAS Imagine para la obtención de puntos de control. Los puntos se ubican dependiendo del grado de correlación del nivel de grises para unas ventanas de búsqueda que van recorriendo simultáneamente una determinada banda de la imagen a corregir y la de referencia. (AutoSync W.P., 2006).

En un principio se intentó aplicar el proceso de manera totalmente automática pero debido probablemente al error geométrico original de la imagen, y por tanto al bajo grado de solapamiento de las ventanas de búsqueda, el algoritmo no fue capaz de ubicar los puntos suficientes de manera homogénea y bien distribuida. Por ello se procedió a corregirlas de manera semiautomática, lo cual supuso la introducción manual de un mínimo de 3 puntos de control iniciales (5 en nuestro caso) con el objetivo de incrementar el porcentaje de dicho solapamiento y aumentar la probabilidad de encontrar un mayor número de puntos mejor distribuidos.

La imagen de referencia fue en todos los casos la misma y el procedimiento se aplicó a un set de 75 imágenes que abarcan todo el rango temporal de la serie. Se escogieron aquellas que *a priori* podían ser más problemáticas por estar temporalmente lejos de la imagen de referencia y aquellas que en principio no deberían presentar grandes problemas para su corrección.

Para determinar la banda a usar se aplicó el algoritmo para todas las bandas del visible (AutoSync W.P., 2007) y se eligió aquella con la que se obtenían un mayor número de puntos y un menor RMSE medio del modelo. La banda que mejor resultados aportaba fue la banda 2 (520-600 nm).

#### Aplicación del algoritmos y filtrado de datos.

De manera simultánea a la obtención de puntos de control el proceso calcula el RMS de cada punto, el RMSE del modelo y las desviaciones estándar para ambos.

El error cuadrático medio inicial puede variar de manera aproximada entre 1) 0.5 y 2 píxeles para las imágenes que no presentan problemas y 2) entre 0.5 y 10 píxeles para las imágenes que presentan algún porcentaje de nubes. Por tanto, se

debe definir un método que filtre dichos errores. En ambos casos se busca que los puntos finales **no pierdan su distribución**.

Para el primer caso se seleccionaron todos aquellos RMS individuales que estuvieran por encima de 1, se eliminaron y se reajustó el modelo. De esta manera nos aseguramos que el RMSE (global) esté por debajo de dicho valor.

Para el segundo caso se seleccionaron todos aquellos puntos mayores al RMSE (global) + 2 veces su desviación estándar y se fueron eliminando hasta que el RMSE se ajustase por debajo de 1. Una vez filtrados los puntos problemáticos se utilizaron los resultantes para corregir la imagen.

Las imágenes corregidas se evaluaron respecto a la ortofoto ubicando 10 puntos de test en cada una de ellas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

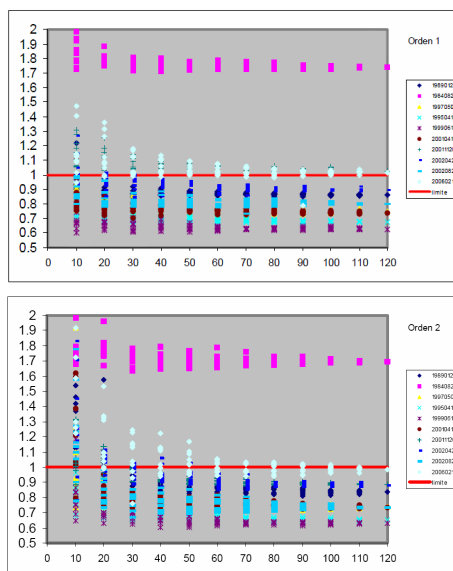
### Análisis – Procedimiento 1

La media del RMSE para las 10 imágenes está por debajo del píxel, exceptuando la imagen correspondiente al 25 de Agosto de 1984 que probablemente tiene un error de captación. El RMSE medio de las imágenes restantes es de: 19.7m +/- 1.06 m s.e. (I.C. 95% = 17.6 – 21.8 m). De manera grosera se puede decir que el 90% de las imágenes tienen un error inferior al píxel. El tiempo empleado en corregir cada una dependerá del porcentaje de nubes que cubre la escena y varía entre 100 y 140’.

### Análisis – Procedimiento 2

Fase I: De los análisis de los puntos de test se concluye que 10 puntos para un polinomio de grado 1 son suficientes para corregir imágenes libres de nubes por debajo del píxel (Figura 1). El principal factor de error son las imágenes con nubes densas. Un polinomio de grado 2 también puede mejorar la imagen; pero requiere un mínimo de 70 puntos y la mejora respecto al grado uno es pequeña; un 4% o aproximadamente 1 metro.

Si consideramos el corregir de imágenes sólo con 10 puntos y polinomio de grado 1, considerando sólo el efecto de las nubes densas con un modelo lineal, el error medio estimado es de 0.815 píxeles (ó 24m), un poco superior a los 19.7 m que se consiguieron con el procedimiento I (un 26% superior; pero aún por debajo del píxel). Para imágenes que estén libres de nubes será suficiente con 10 puntos. En aquellas en las que existan nubes el número de puntos se determinará en la medida que se considere necesario (al menos 30).



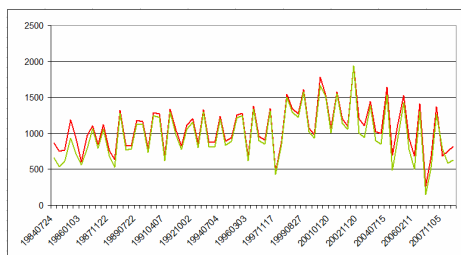
**Figura 1.- RMSE (test) píxeles frente al número de puntos de control para un polinomio de grado 1 y 2.**

Fase II: Debido a que las imágenes problemáticas están sujetas a un número variable de puntos para un corregir satisfactorio, esta segunda fase se aplicó a aquellas que estuvieran libres de nubes. La media del RMSE para las imágenes seleccionadas es de 26.25 m +/- 0.93 s.e., para un mínimo de 21.3 m y un máximo de 30.9 m. El tiempo medio empleado para aplicar el procedimiento 2 fue de 30 minutos por imagen.

### Análisis – Procedimiento 3

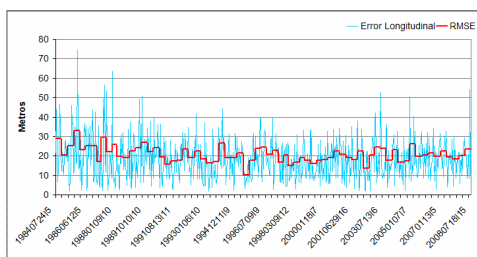
Se obtuvieron, previo filtrado, 1068 puntos de media siendo el mínimo de 268 y un máximo de 1613. El RMSE medio del modelo es de 1.21, para un mínimo de 0.48 y un máximo 5.38 (SD= 0.853). Una vez eliminados los puntos teóricamente problemáticos se obtiene una media de 984 puntos, para un mínimo de 148 y un máximo de 1505 (Figura 2). La media del error del modelo reajustado con los nuevos puntos es de 0.64 (SD= 0.305).

El número de puntos aumenta según nos acercamos a la imagen de referencia y va disminuyendo cuanto más lejos nos encontremos de la misma (Figura 2). Los valores máximos y mínimos aparecen con respecto a la proximidad a la estación del año de la imagen de referencia. Ocurre algo similar con el RMSE del modelo, aunque varía a la inversa.



**Figura 2.-** N° de puntos obtenidos para cada escena previo filtrado de los errores (rojo) y después de eliminarlos (verde).

En cuanto a los resultados de los puntos de test (Figura 3), de las 75 imágenes analizadas obtenemos un RMSE medio de 20.775 +/- 0.46 s.e para un valor mín. de 10.34 m y un máx. de 32.89 m.



**Figura 3.-** Error longitudinal (azul) y RMSE (rojo) obtenido con los puntos de test.

Los resultados reflejan, **para cada escena analizada**, una buena corrección a pesar de haber utilizado una imagen de referencia lejana respecto a la fecha de muchas de las imágenes a corregir. Por ello, el resto de imágenes de la serie temporal a las que no se había aplicado el procedimiento 1 han sido corregidas siguiendo este método, en total 250 imágenes.

La calidad de las imágenes se verificó superponiendo capas vectoriales de control correspondientes a líneas de carretera bien distribuidas en la escena que fueron digitalizadas en la ortofoto.

El tiempo aproximado para corregir una imagen con este método es de 10 minutos. La validación mediante la superposición de vectores permitió detectar 2 imágenes mal corregidas.

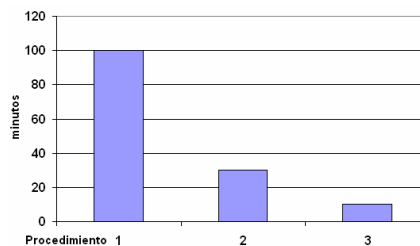
## CONCLUSIONES

El objetivo principal del estudio consistía en la búsqueda de alternativas que disminuyeran el

tiempo de procesamiento para las correcciones sin perder calidad geométrica.

Como es bien sabido y de acuerdo con los resultados del “Análisis I” las correcciones geométricas que usan un gran número de puntos de control por lo general funcionan bien y se obtienen resultados con un error por debajo del píxel.

El segundo caso estudiado puede servir de alternativa ya que los puntos a ubicar disminuyen considerablemente. De todas maneras debe ponerse especial atención en el orden a elegir ya que como se ha visto su elección será dependiente de la problemática específica de la imagen (nubes, adquisición, etc).



**Figura 4.-** Tiempo empleado por imagen (minutos) para cada procedimiento.

La automatización del proceso por algoritmos de correlación se presenta como una alternativa satisfactoria. Su aplicación en nuestro caso cobra si cabe más sentido cuando se aplica a un gran número de imágenes. Así el tiempo a invertir para la corrección de 300 imágenes se redujo considerablemente, habiéndose realizado el proceso completo en una semana, i.e. aproximadamente 10 minutos por imagen (Figura 4).

## BIBLIOGRAFÍA

- Chuvieco, E. 2008. *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel. 3ª edición actualizada.
- Davison, G.J. 1984. Ground control pointing and geometric transformation of satellite imagery. *Remote Sensing Workshop on Terrestrial Positioning and Geometric Correction of Imagery*, Nottingham, Dept. of Geography, Nottingham Univ. 45-49.
- Gianinetto, M., Scaioni, M. 2008. Automated Geometric Correction of High-resolution Pushbroom Satellite Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(1), pp. 107-116.
- Leica Geosystems 2006. IMAGINE AutoSync White Paper, <http://gi.leica-geosystems.com>.