Teledetección y Desarrollo Regional. X Congreso de Teledetección. Cáceres, España, 2003. pp. 117-222.
Coordinadores: Rosa Pérez Utrero y Pablo Martínez Cobo.

ESTUDIO TEÓRICO PARA EL CONTROL POSICIONAL EN IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN GEORREFERENCIADAS.

A.D.J. Atkinson

atkinson@unex.es

Universidad de Extremadura, Dep. Exp. Gráfica, Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría; Escuela Politécnica. Av. Universidad s/n, 10071 Cáceres

RESUMEN
A la hora de trabajar con imágenes de teledetección, resulta de vital importancia el comprobar el hecho de que la georreferenciación ha sido efectuada correctamente. Para ello, se pueden aplicar procedimientos habitualmente empleados en cartografía para el análisis de la calidad posicional. En el presente trabajo se exponen algunos de los posibles procedimientos y las técnicas a emplear en dicho control sobre imágenes de satélite. Asimismo, se propone el adjuntar como metainformación necesaria el estándar de calidad posicional con el que ha sido testada la imagen.

ABSTRACT
When working with remote sensing image, it is quite important to see that the georreferenced has been properly done. In order to get this, we can use the habitual method in Cartography to test the positional accuracy. In the present work we are showing some of the possible different procedures and techniques to use for such control on satellite image. Also the idea is to enclose as necessary metadata the accuracy standard which has been used to test the image.

Palabras clave: exactitud posicional, estudio teórico, georreferenciación.

Key Words: positional accuracy, georreferency, theory study.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la calidad es un tema de vital importancia en nuestra sociedad moderna y una de las bases para la mejora continua de las empresas y de su competitividad. Ante este nuevo reto la teledetección no puede quedarse al margen.

El hecho de realizar un control de calidad posicional de la imagen, nos ofrece una última verificación antes de entregarla al comprador. No cabe duda que ello supondrá un valor añadido a nuestros productos, ofreciendo una garantía final en lo que se refiere a uno de los factores más importantes en los productos cartográficos: la ubicación de los elementos representados en el territorio. Nuestros mapas perderían gran parte de su valor si no se comprueba que lo que hemos cartografiado realmente se encuentra donde decimos que está.

Todo ello es perfectamente aplicable tanto sobre el producto final, como en los procesos intermedios de producción (Ariza, 2002). Para ello se han de entender las relaciones dentro de la misma empresa como cliente – proveedor, dado que si las "no calidades" o deficiencias no son corregidas a tiempo, se transmitirán a lo largo de la cadena productiva elevando considerablemente los costes de su eventual corrección.

Los costes derivados de los productos defectuosos variarán en función de si son identificados dentro de la propia empresa o si salen al mercado. De igual manera, el tipo de error detectado hará que el producto pueda ser destinado como uso de 2ª categoría o como rechazo. No cabe duda de que todos estos costes habrán de minimizarse y, para ello, el control de calidad es una herramienta primordial en los procesos de producción.

En teledetección, debido entre otros aspectos, a las transformaciones que se realizan sobre los datos originales, se llega a producir una acumulación del error en forma de espiral. Esta propagación del error supondrá una mayor incertidumbre sobre los datos finales. En cuanto al modelado matemático de la propagación del error, deberá realizarse basándose en un conocimiento previo de la calidad de los dados, los procedimientos aplicados en cada caso, las inexactitudes asociadas a cada uno de los procedimientos, y el propio comportamiento del modelo matemático de propagación del error.

A la hora de analizar la exactitud de una Base de Datos Geográfica (BDG), nos encontramos ante cinco posibilidades:

- Estimaciones de experto. No permiten cuantificar, las conclusiones serán del tipo buena, regular o mala. Son meramente orientativas y subjetivas.
- Estudio de la coherencia interna. Este tipo de metodologías tienen como objetivo la búsqueda de posibles incoherencias en el trabajo.
- Comparación con las fuentes. La información se compara con los datos de los cuales ha sido

obtenida. Por ejemplo, la información obtenida de la digitalización de un mapa existente se superpone al mapa original para identificar discrepancias.

- Comparación con fuentes de mayor exactitud. Se trata de metodologías basadas en el control de los datos con fuentes más exactas o con trabajos de campo. Cosiste en realizar un contraste estadístico entre lo que aporta la BDG y la verdad terreno. Cuando se compara con otra fuente cartográfica, es necesario que dicha referencia sea de exactitud conocida y significativamente mejor que la BDG objeto de evaluación.
- Evaluación de tipo deductivo. Se trata de técnicas que se aplican a las funciones de análisis consistentes en la modelización de la propagación del error para determinar los valores de exactitud de los productos finales obtenidos mediante las funciones de transformación de la producción cartográfica o del SIG. Las estimaciones suelen basarse en los niveles de exactitud de las fuentes originales.

De todas estas posibilidades, y dado que la modelización en la propagación del error no siempre es bien conocida, la comparación con fuentes de mayor exactitud se nos presenta como una de las mejores opciones (Atkinson *et alii*, 2001). En el caso que nos ocupa, el control posicional, cobran vital importancia los procesos de georreferenciación de las imágenes. Según afirma Townshend (1992), un error de registro de 0.2 píxeles ocasiona una 10 % de error en la detección de cambios y un error de registro de 1 píxel ocasiona un 50 % de error.

CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL Y GEORREFERENCIACIÓN

La evaluación de los resultados se puede hacer mediante puntos de comprobación independientes. Para evitar el aumento de los costes, podremos emplear métodos de validación cruzada utilizando los puntos empleados en la georreferenciación.

Si la verificación de la georreferenciación la hacemos empleando únicamente los puntos utilizados en el ajuste, tendremos una subestimación del error. Si empleamos técnicas de validación cruzada, se produce una sobreestimación del error, necesitando un mínimo de 5 grados de libertad para obtener valores adecuados.

Los puntos de control nos pueden determinar, en cierta medida, la bondad del ajuste en función del RMSE. Los errores disminuyen al hacer menor el número de puntos de control, y se ajustan tanto más a los valores reales cuantos más grados de libertad posee el ajuste. Existe una convergencia entre los valores reales y los predichos cuando el número de grados de libertad aumenta (McGwire, 1996) (figura 1).

Ahora bien, en el caso de la aplicación de los últimos avances en materia de posicionamiento para la georreferenciación de imágenes mediante vuelos inerciales con GPS, ésta se realiza gracias al conocimiento del centro de la cámara o sensor aerotransportado. En estos casos, el empleo de puntos de control vendría a suponer un control de la calidad posicional más que una georreferenciación propiamente dicha.

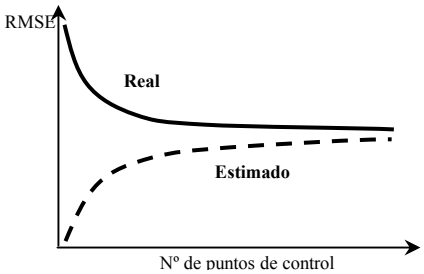

Figura 1.- Curvas idealizadas entre los errores real y estimado.

Las técnicas de control de calidad posicional en productos cartográficos vienen desarrollándose desde el año 1947, aunque ha sido en la última década cuando tanto los cartógrafos como los cada día más numerosos usuarios de este tipo de productos, se han puesto "manos a la obra" en el desarrollo de nuevos estándares y técnicas para el control de la exactitud posicional.

A continuación se presentan los estándares más empleados en este tipo de controles.

- NMAS - National Map Accuracy Standard es el test empleado por el USGS desde 1947, por lo que ha sido utilizado por numerosas instituciones y organismos oficiales dedicados a la cartografía (USBB, 1947)

Procedimiento:

- seleccionar una muestra sobre la imagen de, al menos, 20 puntos de fácil determinación, y determinar sus coordenadas
- obtener las coordenadas de los mismos puntos sobre una fuente de mayor exactitud (p.e. el terreno)
- determinar si se ha alcanzado el estándar de exactitud horizontal predefinido. En el caso del USGS, el estándar indica que, como máximo, el 10 % de los puntos de la muestra

pueden tener un error horizontal mayor de 1/30 de pulgada (0.846 mm) en cartografía a escala mayor de 1/20.000, o de 1/50 de pulgada (0.508 mm) en cartografía a escala menor de 1/20.000. El error viene definido como la diferencia entre la posición de los puntos en el mapa y en la fuente de mayor exactitud

- determinar si se ha alcanzado el estándar de exactitud vertical predefinido. En el caso del USGS, el estándar indica que, como máximo, el 10 % de los puntos de la muestra pueden tener un error vertical mayor de la mitad del intervalo de las curvas de nivel. El error en la dimensión vertical puede corregirse modificando la posición de los puntos en una cantidad igual al error horizontal aceptable.

Discusión: La ventaja del test NMAS es su simplicidad: los resultados se expresan de la forma cumple / no cumple, de fácil interpretación por parte del usuario. El mayor inconveniente es la falta de indicación de una medida de inexactitud presente en el producto, y resulta difícil estimar cuánto puede costar obtener un mapa o una imagen de mayor exactitud.

- EMAS - Engineering Map Accuracy Standard nos proporciona la exactitud de los mapas topográficos a gran escala. Este estándar ha sido desarrollado por la ASPRS (American Cociety of Photogrammetry and Remote Sensing) junto con la American Cociety of Civil Engineers y el American Congress on Surveying and Mapping (Veregin & Giordano, 1994)

Procedimiento:

- seleccionar una muestra de n puntos, para n >= 20
- calcular el error para cada punto en su componente X como la diferencia entre la coordenada Ximagen - Xterreno
- calcular el error medio ($\overline{e_x}$) y la desviación típica en X (S_X) para los n puntos que componen la muestra:

$$\overline{e_x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_{xi} \qquad S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(e_{xi} - \overline{e_x}\right)^2}$$

- calcular el test de cumplimiento / rechazo del estándar empleando los límites de error aceptables para los errores sistemáticos (desplazamientos constantes sobre el mapa). Para ello se emplea el estadístico:

$$t_x = \frac{\overline{e_x}\sqrt{n}}{S_x}$$

Si se verifica que $|t_x| \le t_{n-1,\alpha}$, el mapa cumple

siendo:

- *n-1*: los grados de libertad
- α: el nivel de significación
- *t*: la medida teórica de la *t de Student*

- calcular el test de cumplimiento / rechazo del estándar empleando los límites de error aceptables para los errores casuales (aleatorios). Así, se determina el grado de variabilidad de los errores. Para ello se emplea el estadístico:

$$\chi_x^2 = \frac{S_x^2(n-1)}{\sigma_x^2}$$

Si se verifica que $|\chi_x^2| \le \chi^2{}_{n-1,\alpha}$, el mapa cumple con el estándar de calidad posicional en X.

siendo:

- σ_x: el límite de error aceptable a priori (varianza máxima) en la componente X
- *n-1*: los grados de libertad
- α: el nivel de significación
- χ^2: la medida teórica de la Chi-Cuadrado

- calcular test análogos (para errores sistemáticos y casuales) en las componentes Y y Z.
- la cartografía cumplirá con el EMAS si todas las componentes han pasado los dos test.

Discusión: El test EMAS presenta dos importantes diferencias con respecto al NMAS: las diferencias entre los puntos están expresadas en términos de distancias sobre el terreno, y el límite de error aceptable puede ser definido por el usuario (puede definirse en base a las exigencias de aplicación de la imagen georreferenciada).

- NSSDA - National Standard for Spatial Data Accuracy. Las agencias federales de los Estados Unidos que realicen labores de producción de datos cartográficos analógicos y/o digitales han de cumplir con los estándares del FGDC de acuerdo con el NSSDA (FGDC, 1998).

Procedimiento:

- seleccionar una muestra de, al menos, 20 puntos perfectamente definidos sobre la imagen y sobre la fuente de mayor exactitud.
- detectar los errores previos de inconsistencia, signos, ...
- calcular el $RMSE_x$ para la componente X y de forma análoga para componente Y.

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_{Xi}^2}$$

- calcular el $RMSE_r$ para la componente posicional (XY) según:

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_X^2 + RMSE_Y^2}$$

- calcular el coeficiente de exactitud posicional a un 95 % de confianza dependiendo de dos opciones:

a) en caso de que RMSEx = RMSEy , empleando:

$$Exactitud_r = 1.7308 \cdot RMSE_r$$

b) en caso de que RMSEx □ RMSEy , empleando:

$$Exactitud_r = 1.22385 \cdot \left(RMSE_X + RMSE_Y\right)$$

- calcular el $RMSE_Z$ para la componente Z de forma análoga a las componentes X e Y.
- calcular el coeficiente de exactitud posicional a un 95 % de confianza para la componente Z:

$$Exactitud_Z = 1.96 \cdot RMSE_Z$$

junto a la leyenda del mapa deberá aparecer el siguiente texto :
"Comprobado/compilado para _____ metros de exactitud horizontal al 95% de nivel de confianza."
"Comprobado/compilado para _____ metros de exactitud vertical al 95% de nivel de confianza."
Discusión: La mayor ventaja que ofrece es que no nos dice si el mapa es aceptado o denegado, sino que nos ofrece un **índice de calidad** del producto (imagen georreferenciada) en unidades reales sobre el terreno. En este caso, le corresponde al usuario del mismo el establecer los límites de aceptación en función de sus necesidades.

POSIBLE APLICACIÓN SOBRE IMÁGENES HIPERESPECTRALES: SENSOR DAIS (ESA - DLR)

En el verano de 2001, dentro del Proyecto *Cálculo de abundancias mediante redes neuronales a partir de imágenes hiperespectrales*, se realizó un vuelo de los sensores hiperespectrales DAIS y ROSIS sobre una zona de dehesa extremeña próxima a Cáceres.

La georreferenciación de las imágenes se realizó mediante posicionamiento diferencial por GPS, aplicando los parámetros de transformación al sistema de referencia local UTM-ED50 calculados expresamente para la zona de trabajo. Sobre la imagen procesada, se tomaron en campo diferentes puntos de control mediante DGPS, aplicando idénticos parámetros de transformación. En la (figura 2), se muestra la imagen procesada, y en la (figura 3) aparecen los diferentes puntos de control tomados mediante GPS. En la (figura 4) se muestran detalles ampliados de la imagen.

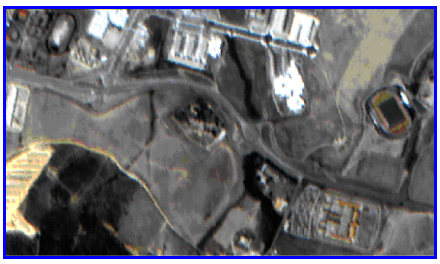

Figura 2.- Recorte de la imagen capturada por el sensor DAIS.

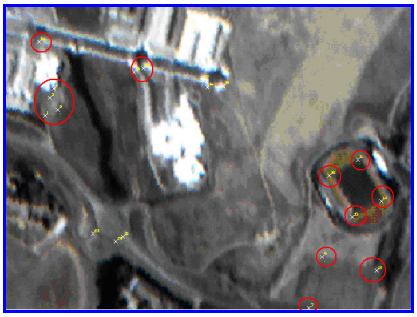

Figura 3.- Puntos de control sobre la imagen.

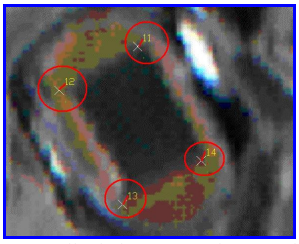

Figura 4.- Detalle de los puntos de control sobre el campo de fútbol.

Como se puede apreciar gráficamente, existe un desplazamiento entre los puntos de control y su representación en la imagen del sensor. Muy probablemente pueda deberse a la existencia de algún tipo de error sistemático en la parte de la imagen analizada. Para ello, el estándar EMAS podría ser de gran utilidad a la hora de detectar este tipo de incidencias. No obstante, el NSSDA ofrece una valiosa información acerca del error real con el que se va a encontrar el usuario de la imagen, por lo que el valor de error circular asociado a la imagen sería una metainformación muy necesaria en teledetección.

CONCLUSIONES:

- El hecho de emplear imágenes de teledetección georreferenciadas no exime a la compañía que las distribuye de adjuntar en la metainformación de la misma aspectos

relacionados con su exactitud posicional.

- El usuario de este tipo de imágenes no ha de pasar por alto, en aquellos casos donde así sea necesario, el emplear puntos de control para verificar la exactitud posicional de la imagen.
- Tanto en la imagen como en los productos cartográficos que se deriven de ella, se debería adjuntar: (1) detección de posibles "Outliers" o errores groseros; (2) nivel de aceptación de acuerdo al estándar EMAS (fundamentalmente en lo que se refiere a los posibles errores sistemáticos); y (3) nivel de exactitud posicional de acuerdo al estándar NSSDA.

BIBLIOGRAFÍA

Ariza, F.J. 2002. *Calidad en la producción cartográfica*. RA-MA, Madrid

Atkinson, A.D.J. 2001. *Los diferentes test para el control de calidad posicional en cartografía*. XII Congreso Int. de Ingeniería Gráfica, Badajoz.

FGDC. 1998. *Geospatial Positioning Accuracy Standards*. Virginia (U.S.): Ninnesota Planning.

McGwire, C. 1996. *Cross validated assesment of geometric accuracy*. PE&RS, vol. 62, nº 10

USBB 1947. *United States National Map Accuracy Standards*. U.S. Bureau of the Budget.

Veregin, H.& Giordano, A. 1994 *Il controllo di qualitá nei sistemi informativi territoriali*. Venecia It.