

DISTORSIONES EN LA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN Y SU CORRECCIÓN

Ángel Martínez Cañadas
José Antonio Gallud Lázaro
Francisco José Abad Cerdá

Ángel Martínez Cañadas es Ingeniero Informático por la Universidad Politécnica de Valencia y colaborador en la Sección de Teledetección y SIG (Instituto de Desarrollo Regional) de la Universidad de Castilla-La Mancha.

José Antonio Gallud Lázaro es profesor del Departamento de Informática en la Escuela Politécnica Superior de Albacete y miembro de la Sección de Teledetección y SIG (IDR) de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Francisco José Abad Cerdá es Ingeniero Informático por la Universidad Politécnica de Valencia y colaborador en la Sección de Teledetección y SIG (Instituto de Desarrollo Regional) de la Universidad de Castilla-La Mancha.

RESUMEN:

En este artículo se presentan los errores asociados a la adquisición de imágenes de satélite así como las diferentes técnicas que actualmente están disponibles para afrontar su solución. La naturaleza de las plataformas espaciales y las tecnologías actuales nos proporcionan cada vez más una mayor calidad de imagen al aumentar su resolución espacial y espectral, generándose nuevos problemas asociados a la creciente sensibilidad y deformación en el aspecto de la imagen adquirida. En este trabajo se hace un desglose de los diferentes errores introducidos por el sistema sensor en la imagen final, de los métodos para su corrección así como las carencias que todavía persisten.

INTRODUCCIÓN

Las distintas anomalías detectadas en las imágenes tomadas por satélite son el objeto de estudio en este trabajo. Una breve introducción a la tecnología utilizada en este tipo de adquisiciones puede encontrarse en (Chuvieco, 1996), estando enfocado este trabajo principalmente a las alteraciones producidas por los sensores de barrido o *scanners*.

Cualquier imagen adquirida por un sensor remoto, ya sea aéreo o espacial, presenta una serie de alteraciones radiométricas y geométri-

cas. Las primeras modifican los valores radiométricos obtenidos en cada píxel, mientras que las segundas modifican su posición. Esto provoca que la imagen finalmente obtenida no coincida en color o tono con la imagen ideal sin alteraciones radiométricas, ocurriendo lo propio con la forma, posición o tamaño en el caso de alteraciones geométricas. El distribuidor de las imágenes aplica normalmente algunas correcciones rutinarias previas a la comercialización. En algunas ocasiones, estas correcciones resultan suficientes para su uso en estudios sencillos, pero en muchos otros casos no son suficientes por lo que es preciso abordar correcciones más finas. Situaciones comunes que requieren un tratamiento mejorado de las imágenes son, por ejemplo, el estudio multitemporal de una zona o la combinación de las imágenes con información procedente de otras fuentes, pues en estos casos se necesita proyectar la imagen en un sistema de coordenadas determinado.

En este artículo, como primer paso, se describen los diferentes errores producidos durante la adquisición de la imagen. A continuación se hace una clasificación de las posibles correcciones aplicables mediante un procesamiento digital de la imagen y finalmente se hace un análisis de la posible automatización de alguna de estas tareas que todavía requieren una alta intervención humana.

TIPOS Y FUENTES DE ERROR

Los factores más importantes que originan anomalías en la imagen adquirida pueden agruparse en ocho apartados:

- 1) **Distorsiones originadas por la oscilación de la plataforma.**
Este tipo de alteraciones es más acusada en plataformas aéreas. Consiste en pequeñas variaciones en la altura a la que se desplaza el satélite o avión, en la velocidad y en la orientación de cualquiera de sus tres ejes, movimientos conocidos con los nombres de aleteo (*pitch*), cabeceo (*roll*) y ladeo (*yaw*) que provocan un constante cambio en el campo de visión.
- 2) **Distorsiones provocadas por la rotación terrestre.**
Al adquirir una escena, el sensor invierte un tiempo en rastrearla. Durante ese intervalo, el giro de la Tierra origina un desplazamiento progresivo de las líneas de barrido (véase la figura 1). Todo ello, unido a la propia inclinación de la órbita del satélite, produce como resultado una imagen romboidal orientada hacia la dirección NE-SO.
- 3) **Distorsión de oblicuidad debida al tiempo de barrido.**
El barrido de una línea completa consume un tiempo finito. Durante ese lapso, el satélite se ha desplazado respecto de la situación que ocupaba al comienzo de la línea. Por ello, los dos ex-

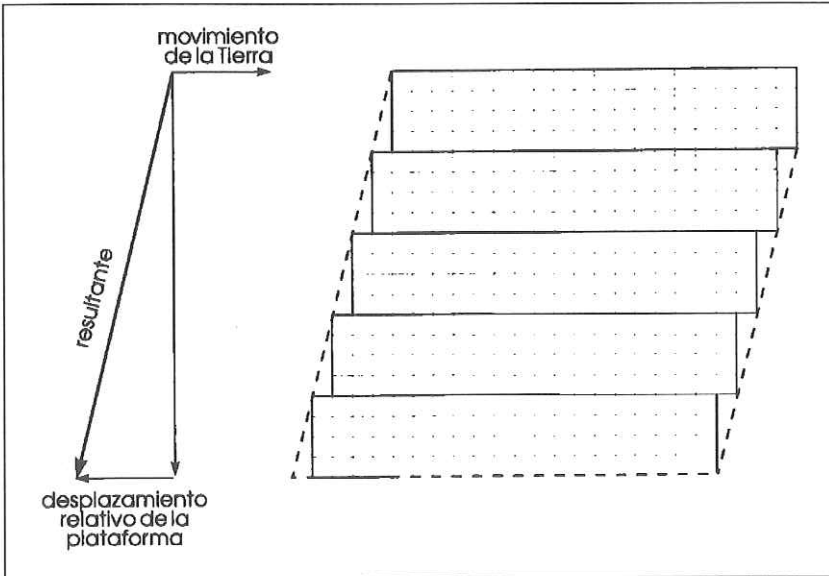


FIGURA 1.
Distorsión provocada por la rotación terrestre.

tremos de la línea no forman una línea perpendicular a la traza del satélite.

4) Distorsión del aspecto.

Se trata de la distorsión introducida por la diferencia entre el tamaño nominal del píxel y el correspondiente al ángulo de visión del sensor sobre el terreno. El menor tiempo invertido en barrer una línea con respecto al necesario para que el satélite pudiera situarse en la vertical del centro de la celdilla siguiente produce un solapamiento entre celdillas vecinas.

5) Distorsión panorámica.

El tamaño efectivo de un píxel en el terreno se agranda en el sentido de los extremos de la línea barrida. Este efecto será mas acusado en plataformas que se desplacen a menor altura.

6) Distorsión provocada por la curvatura de la Tierra.

Esta distorsión es casi inapreciable en plataformas aerotransportadas, mientras que es importante en sensores espaciales, ocasionando efectos de borde muy significativos en satélites con una gran cobertura.

7) Distorsión provocada por la topografía.

Especialmente en regiones montañosas, los puntos de la imagen se ven desplazados debido a la visión en perspectiva de este relieve (véase la figura 2). También los efectos radiométricos se ven alterados, debido principalmente a la variación en la posi-

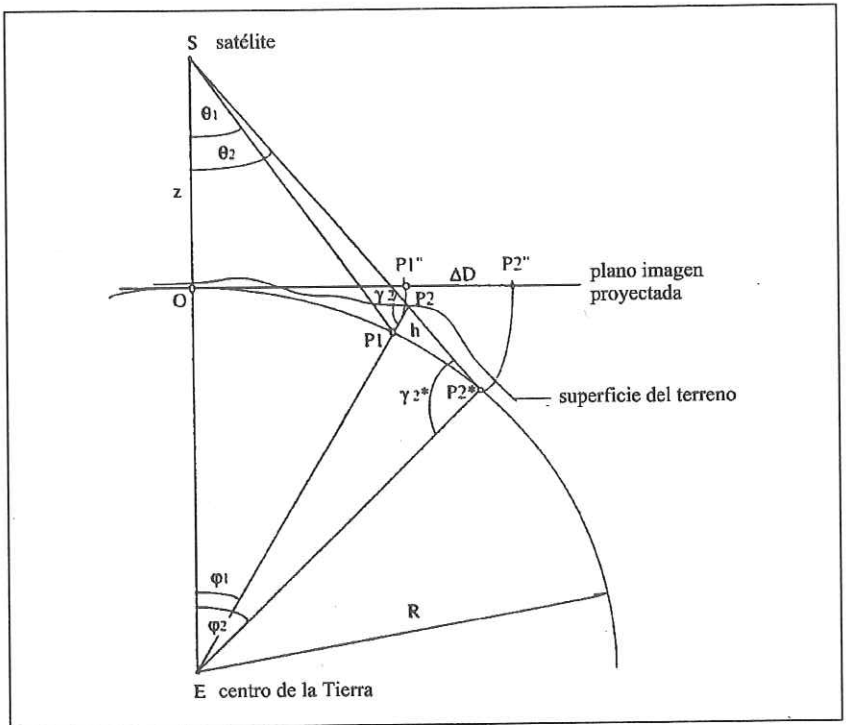


FIGURA 2.
Distorsiones provocadas por la topografía.

ción del sol y las sombras que produce la topografía. También la mayor altura del objeto observado incide en un menor impacto de las distorsiones atmosféricas. Este tipo de distorsión es, evidentemente, mucho más acusada en fotografía aérea, por su adquisición a más baja altura.

8) Distorsiones provocadas por el sensor.

Los exploradores de barrido rastrean la imagen perpendicularmente a la dirección de la traza. Las posibles alteraciones en la oscilación del espejo originan distorsiones, tanto mayores cuanto más al extremo de la línea de barrido se produzcan.

Pueden existir fallos en la calibración de los detectores. Los sensores aprovechan cada oscilación para explorar varias líneas simultáneamente (varios detectores por banda). El eventual desajuste de algún detector produce como consecuencia un bandeado longitudinal de la imagen.

9) Distorsiones provocadas por la atmósfera.

La composición material de la atmósfera induce una modificación de los valores de energía procedente de la superficie terrestre. Como consecuencia se disminuye el contraste de la escena.

CORRECCIONES RADIOMÉTRICAS Y GEOMÉTRICAS

Los operadores que se aplican sobre una imagen pueden ser divididos en dos grupos: transformaciones de amplitud (sólo modifican la amplitud de la señal, manteniendo invariables las coordenadas de los píxeles) y transformaciones de la geometría (sólo modifican la geometría de la imagen). Las correcciones igualmente se clasifican en radiométricas y geométricas en función de que usen uno u otro operador.

Correcciones radiométricas

Se llama así a cualquier proceso conducente a la restauración de los niveles digitales (valores de los píxeles) de una imagen en un intento por estimar su valor real. Se trata de transformaciones de amplitud que están ampliamente estudiadas y consolidadas (Chuvieco, 1996) (Mather, 1987). Estas se aplican de forma digital y no suelen necesitar supervisión humana para su realización. Sus principales aplicaciones son:

1) Restauración de celdillas o líneas perdidas.

Se trata de asignar niveles digitales a las celdillas o líneas perdidas por un deficiente funcionamiento del sensor o durante la transmisión de datos. Están basados en la transformada de Fourier o en métodos algebraicos (basándose en el valor de los píxeles vecinos o en los obtenidos en otras bandas).

2) Corrección del bandeo de la imagen.

Puesto que los sensores exploran grupos de líneas simultáneamente, si alguno presenta alguna anomalía, la imagen contendrá bandas a intervalos regulares (*striping*). Su corrección se basa en la igualación del histograma de la línea barrida por cada detector.

3) Corrección atmosférica.

La atmósfera provoca un aumento de la energía detectada por el sensor. Para una corrección rigurosa se hace necesario contar con una serie de medidas simultáneas a la adquisición de la imagen.

4) Conversión de los niveles digitales a parámetros físicos.

Se aplica cuando es necesario conocer el comportamiento físico de la cubierta observada (humedad de la vegetación, biomasa, temperaturas, etc.). Se realiza en dos etapas, una de conversión de niveles digitales a valores de energía y otra de conversión de ésta a parámetros físicos.

Correcciones geométricas

Las correcciones geométricas son transformaciones puntuales consistentes en cambiar de posición las celdillas originales de la imagen intentando no alterar sus niveles digitales. Gracias a tratarse de un formato digital, esta transformación puede basarse en funciones numéricas, que permiten modificar la geometría de la imagen. La expresión general de este tipo de funciones sería:

$$\left. \begin{aligned} c' &= f(c, l) \\ l' &= g(c, l) \end{aligned} \right\}$$

donde c' y l' son las coordenadas columna y línea de la imagen corregida, que son función de c y l , coordenadas columna y línea de la imagen original o coordenadas del mapa al que se pretende superponer la imagen.

Estas transformaciones pueden emplearse tanto para corregir cartográficamente una imagen, como para superponer dos o más imágenes entre sí. Este último punto es el más interesante, puesto que la mayoría de métodos propuestos para automatizar estas tareas realizan la extracción de información con referencia a una imagen ya corregida.

La corrección geométrica de la imagen es imprescindible para poder superponer sobre ella cualquier información cartográfica auxiliar o para hacer posible un estudio multitemporal entre dos o más imágenes. El proceso de corrección puede abordarse en dos niveles diferentes: uno riguroso, consistente en corregir solamente las anomalías sistemáticas derivadas de la inclinación de la órbita, y otro menos preciso, mediante el cual se pretende ajustar la imagen a un mapa de la zona o a otra imagen utilizada como referencia. En el primer caso, la corrección se realizará estableciendo puntos comunes (puntos de control) localizados en la imagen y el mapa. Posteriormente los niveles digitales de toda la imagen se transferirán a sus nuevas posiciones mediante la aplicación de las funciones encontradas para los puntos de control. En el último caso, se precisa del conocimiento de los parámetros orbitales del satélite, siendo realizada la corrección mediante modelización matemática (también llamado corrección a partir de modelos orbitales). Este procedimiento es computacionalmente muy caro, aunque robusto, resultando mas adecuado para sensores de gran cobertura (por ejemplo el famoso Meteosat) o que trabajan sobre áreas marinas, en donde resulta muy complicado buscar puntos de control. El problema principal de este método estriba en la obtención de los parámetros de la modelización con precisión.

La alternativa de usar puntos de control ha sido tradicionalmente la más empírica de todas, aunque tiene como ventaja ser la que mejores ajustes ofrece a la hora de su posterior tratamiento por ejemplo en pro-

yectos multitemporales. Usualmente este método de corrección se realiza manualmente, identificando visualmente en la imagen rasgos que puedan hacer coincidir con un mapa (cartografía existente) u otra imagen que se considera como referencia.

Existen dos aproximaciones a la hora de abordar el problema de localizar los puntos de control:

- 1) **Supervisada.** Es la forma tradicional, en la que se requiere una gran intervención humana. Es necesario que una persona identifique visualmente los puntos comunes entre la imagen y el mapa, introduciendo su correspondencia por medio de una tableta digitalizadora. Usando esta técnica, la fase de extracción de puntos de control es la que más tiempo y recursos humanos requiere.
- 2) **No supervisada.** Los puntos de control se identifican de forma automática, por medio de algún método numérico y sin asistencia humana. En este campo, por su importancia, se centrará el siguiente apartado, estudiando las diferentes técnicas aplicables a esta tarea.

AUTOMATIZACIÓN DE LA CORRECCIÓN GEOMÉTRICA

Los métodos para extraer puntos de control automáticamente se basan en las técnicas de registro de imágenes o creación de mosaicos. En este punto se necesita dar la definición de estos dos términos:

- Mosaico (*mosaic, image montage*): una composición de dos o más imágenes que se unen formando una sola. Esto es, crear una imagen de una zona tan extensa que no es abarcada simultáneamente por el sistema de adquisición (Dani y Chaudhuri, 1995).
- Registrar una imagen (*image registration*): es una técnica tomada del área de visión, con amplios campos de aplicación como robótica o fotocomposición. Consistente en calcular la posición relativa de una imagen con respecto a otra (Pratt, 1991).

Como se puede deducir, la utilización de cualquiera de estos métodos hace necesaria la disponibilidad de imágenes de la zona a la que corresponde la imagen a corregir. Representando este uno de los mayores problemas con los que nos enfrentamos a la hora de aplicar estas técnicas.

La selección automática de puntos de control es, en la mayoría de los casos, un proceso de dos etapas. El primer paso consiste en identificar puntos o estructuras significativas en la imagen. En el segundo paso, entre estas estructuras extraídas de las imágenes se intenta en-

contrar una correspondencia, llamándose este paso casado de imágenes (*image matching*).

Existen dos aproximaciones principales para resolver este problema: basadas en correlación y simbólicas (Flusser y Suk, 1994). En otras referencias se las conoce como basadas en superficies (*area-based*) y en rasgos o características (*feature-based*) respectivamente (Li *et al.*, 1995).

- Basadas en correlación (Dani y Chaudhuri, 1995): en esta aproximación, se usan centros de ventanas como puntos de control. La localización de las ventanas pueden establecerse por correlación clásica, correlación entre bordes o entre vectores. Los cálculos de la correlación también pueden llevarse a cabo en el dominio de Fourier (espacio de frecuencias), mediante el uso de representaciones jerarquizadas de la imagen (multiresolución) o por calculo secuencial de disimilitud ente ventanas.
- Métodos simbólicos (Li *et al.*, 1995): este tipo de métodos no trabajan directamente con la imagen de niveles de gris. En su lugar utilizan características de la escena tales como intersecciones entre líneas, bordes o regiones. En estos métodos se seleccionan como puntos de control las intersecciones entre líneas, bordes o por ejemplo los centros de gravedad de las regiones.

Esta diversidad de técnicas no son excluyentes entre sí, se pueden realizar composiciones entre diferentes métodos, de forma que se intentan obtener las ventajas de cada uno de ellos.

Los métodos basados en el cálculo de correlaciones usan, por lo general, una medida de similitud llamada función de correlación cruzada normalizada, que no es mas que el producto de los valores de los píxeles en cada imagen normalizado para ofrecer un valor entre cero y uno. Debido a que el cálculo de la correlación normalizada es muy sensible a variaciones en la forma o contraste entre las imágenes, no es apropiado para problemas en los que intervengan errores geométricos pronunciados ni entornos multisensor o multispectrales puesto que las características de niveles de gris son sensiblemente diferentes (Li *et al.*, 1995).

La segunda aproximación asume que las regiones o contornos identificados tras la aplicación de un algoritmo de detección tienen identidad propia y diferenciable frente a los demás. La principal crítica a estos algoritmos es la limitación en la generación de regiones cerradas o contornos, puesto que no podemos asumir que estén presentes en la zona estudiada. Por otro lado, en zonas agrícolas (generalmente, las de mayor interés) las regiones tienen formas regulares (círculos y polígonos) lo que genera un elevado grado de confusión al no poder identificar las regiones de forma fidedigna.

En el caso de trabajar sobre zonas con un relieve muy quebrado, o con imágenes aéreas, en donde las deformaciones geométricas están estrechamente ligadas al modelado del relieve (la topografía), es interesante acudir a la información topográfica. Para realizar una corrección geométrica del efecto topográfico es preciso contar, previamente, con modelos digitales del terreno (también llamados modelos digitales de elevación MDE, DEM en inglés o MDT como acrónimo en castellano). Se trata de matrices numéricas, de formato muy similar al de una imagen de satélite, con la principal diferencia de almacenar un valor de altitud. De esta forma la corrección estaría guiada por la altitud del terreno y no por otra imagen de referencia.

Por último se presenta un ejemplo de corrección basado en el método descrito por Dani y Chaudhuri (Dani y Chaudhuri, 1995). Este es un ejemplo del uso de un método basado en cálculo de correlaciones aplicado a un problema multitemporal. Se trata de la corrección geométrica de una imagen de la desembocadura del río Guadiana, obtenida por el sensor TM a bordo del satélite Landsat.

En la figura 4 (izquierda) se muestra la adquisición de 1990 tal y como se comercializa. Como referencia se usa una adquisición previa, correspondiente al año 1987 (mostrada en la figura 3), que ha sido corregida de forma manual. En la parte derecha de la figura 4 puede observar el resultado de aplicar la corrección no supervisada.

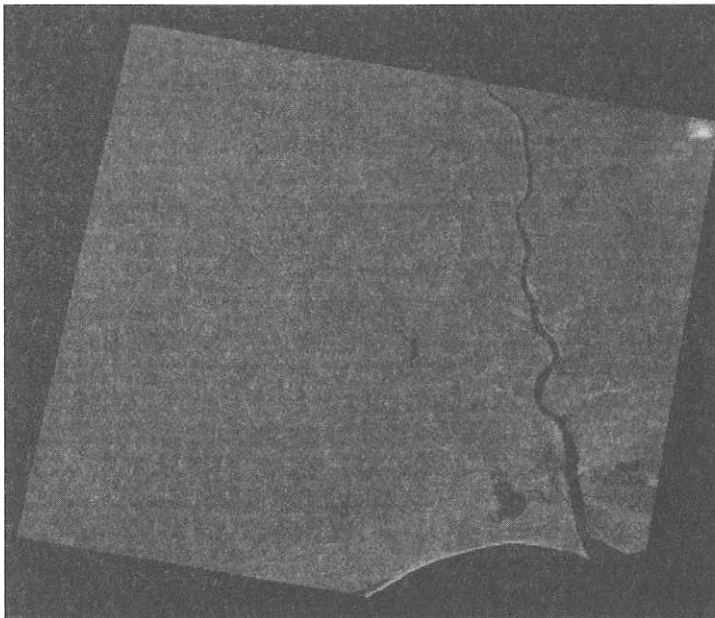


FIGURA 3.
Imagen corregida. Adquisición de 1987.

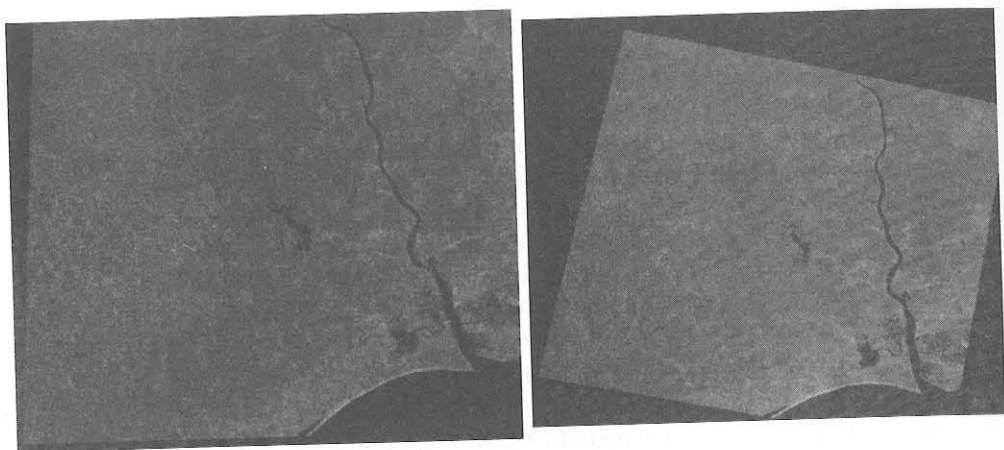


FIGURA 4.
Imagen original (izquierda) y corregida (derecha) usando un método automático.
Adquisición de 1990.

CONCLUSIONES

Se ha realizado una introducción a las numerosas particularidades que intervienen en la obtención de imágenes de teledetección y cuáles son las técnicas actualmente disponibles para su corrección. Las técnicas de corrección radiométrica parecen haber llegado a un punto de desarrollo suficiente para el tratamiento de este tipo de errores. No ocurre lo mismo con las técnicas de corrección geométricas. Aunque existen vertientes como la de modelización matemática que resultan robustas y de precisión, su alto coste computacional y la imposibilidad de disponer de la información necesaria para su aplicación hace que su utilización por parte de los centros de proceso de imágenes se reduzca. Las técnicas tradicionales basadas en la extracción de puntos de control suelen satisfacer las necesidades deseadas en la mayoría de casos, pero por tratarse de un procedimiento empírico y manual requiere un coste temporal excesivo. Existe ya en el mercado software comercial que realiza esta tarea de forma automática, pero la diversidad de técnicas y el continuo estudio de estos métodos hace suponer un avance tanto en precisión de los resultados obtenidos como en reducción del tiempo empleado para su ejecución.

Con seguridad, el avance tecnológico en el ámbito de la teledetección provocará un aumento de la resolución tanto espacial como espectral de los sensores. Esto suscitará la necesidad de algoritmos de corrección cada vez más eficientes y robustos, adaptables a los nuevos contenidos de estas imágenes. Todo ello permite afirmar que estamos ante un campo abierto, en el que es previsible la aparición de nuevos métodos en un futuro próximo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CHUVIECO, E. (1996): *Fundamentos de Teledetección espacial*. Ediciones Rialp S.A. Madrid.
- [2] DANI, P. y CHAUDHURI, S. (1995): «Automated Assembling of Images: Image Montage Preparation». *Pattern Recognition*. vol. 28. no. 3. pp. 431-445.
- [3] FLUSSER, J. y SUK, T. (1994): «A Moment-Based Approach to Registration of Images with Affine Geometric Distorsion». *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. vol 32. no. 2. pp. 382-387.
- [4] LI, H. et al. (1995): «A Contour-Based Approach to Multisensor Image Registration». *IEEE Transactions on Image Processing*. vol. 4. no. 3. pp. 320-334.
- [5] LILLESAND, T. M. y KIEFFER, R. W. (1995): *Remote Sensing and Image*. Interpretation. Segunda edición. John Willey & Sons.
- [6] MATHER, P. M. (1987): *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*. John Willey & Sons.
- [7] PINILLA, C. (1995): *Elementos de Teledetección*. RA-MA Editorial. Madrid.
- [8] PRATT, W. K. (1991): *Digital Image Processing*. John Wiley & Sons Inc.