

## INTERES FISICO DE LA CORRECCION GEOMETRICA DE IMAGENES DE SATELITE MEDIANTE MODELOS ORBITALES

J. MORENO, S. GANDIA y J. MELIA

Unidad de Teledetección. Facultad de Física, Universidad de Valencia. 46100 Burjassot. Valencia

### RESUMEN

La corrección geométrica de imágenes de satélite ha sido considerada como un problema cerrado ya resuelto. Con las nuevas posibilidades de satélites como SPOT (capaces de captar imágenes con ángulos de toma oblicuos y tomas estereoscópicas) y la necesidad de procesar de modo rutinario un gran número de imágenes de áreas extensas, como es el caso de las imágenes NOAA (donde además la baja resolución espacial y la frecuente presencia de nubes dificulta la determinación de puntos de control), se ha puesto en evidencia la necesidad de desarrollar nuevos métodos de corrección geométrica alternativos a los tradicionales de aproximaciones polinómicas basadas en puntos de control. Estos nuevos modelos de corrección geométrica, basados en el movimiento orbital de cada satélite, abren además nuevas posibilidades de particular interés en aplicaciones en las que resulta imprescindible una modelización detallada de los fenómenos físicos, basada en la reconstrucción de las condiciones de observación.

**Palabras clave:** Corrección geométrica, Modelos orbitales, Telemetría.

### ABSTRACT

Geometrical correction of satellite images has been considered as an already solved problem. With the new possibilities of satellites like SPOT (capable of acquiring oblique viewing angle images and stereoscopic viewing) and the necessity of routine processing of a large number of images of wide areas, like the case of NOAA images (where, in addition, low spatial resolution and frequent cloud cover, make more difficult the determination of ground control points), it is necessary to develop new geometrical correction models which are alternative to the traditional polynomial approximations based on ground control points. These new geometrical correction models, based on the orbital motion of each satellite, give new interesting possibilities in applications where it is essential a detailed modelization of physical processes, based on the reconstruction of the geometrical conditions of the observation.

**Key words:** Geometrical correction, Orbital models, Telemetry.

## 1. INTRODUCCION

La corrección geométrica de imágenes de satélite es una técnica de uso cotidiano en cualquier laboratorio o departamento que haga uso de este tipo de datos de Teledetección. La cotidianidad de este uso hizo pensar que se trataba de una técnica perfectamente definida en cuanto a la metodología a aplicar y en la implementación efectiva de los algoritmos. Existe en el mercado abundante software para la corrección geométrica de imágenes de satélite, y, además, una gran mayoría de usuarios cuyo interés es la aplicación lo más inmediata posible de los datos de Teledetección suele adquirir las imágenes ya corregidas geoméricamente por los centros de recepción y archivo o distribuidores especializados.

Sin embargo, estos esquemas clásicos de corrección geométrica, generalmente basados en aproximaciones polinómicas de las funciones de transformación, no resultan completamente satisfactorios en el caso de imágenes SPOT captadas con ángulos de toma oblicuos, particularmente en áreas montañosas, o en el caso de imágenes NOAA, donde la gran extensión de la escena supone ángulos de toma muy oblicuos en las franjas laterales del campo de visión, y donde los efectos de distorsión panorámica por la curvatura terrestre son notables dada la extensión de las áreas de estudio en este tipo de imágenes.

Por otro lado, la corrección geométrica de las imágenes no debe separarse de un esquema de corrección global de este tipo de datos de todos aquellos efectos perturbadores que influyen en el fenómeno de la Teledetección. Desde un punto de vista físico, la distorsión geométrica es un efecto a corregir, pero también han de cuidarse la corrección radiométrica y atmosférica de los datos, especialmente en estudios

multitemporales o cuando deban determinarse valores absolutos, y no meramente relativos, de las magnitudes en consideración (reflectividad, temperatura, etc.). Desde este punto de vista, una reconstrucción lo más detallada posible de las condiciones de observación parece ser la clave para una buena implementación de las correcciones a efectuar sobre los datos proporcionados por un satélite artificial.

La corrección geométrica de una imagen de satélite supone en definitiva la determinación de la función matemática que relaciona las coordenadas (x,y) de cada punto en la imagen original en bruto con las coordenadas (x',y') de dicho punto en un mapa o representación del área geográfica a la que corresponde dicha imagen, que generalmente serán las coordenadas latitud-longitud en una proyección adecuada.

$$x' = f(x,y) \qquad y' = g(x,y)$$

Las relaciones matemáticas que efectúan estas transformaciones son, en general, muy complicadas, y dependen del punto de un modo tal que no pueden reconstruirse mediante funciones matemáticas simples.

La determinación aproximada de estas relaciones se hace normalmente en base a unos cuantos puntos de control de coordenadas (x,y) y (x',y') conocidas, y a base de hacer ciertas hipótesis simplificadoras sobre la forma de la función matemática a determinar.

Teniendo en cuenta que las funciones f y g pueden ser, en principio, desarrolladas en serie de potencias, se plantean normalmente aproximaciones de primer orden,

$$\left. \begin{aligned} x' &= a_0 + a_1 x + b_1 y \\ y' &= b_0 + a_2 x + b_2 y \end{aligned} \right\}$$

o de segundo orden,

$$\left. \begin{aligned} x' &= a_0 + a_1 x + b_1 y + a_3 x^2 + b_3 y^2 + c_1 xy \\ y' &= b_0 + a_2 x + b_2 y + a_4 x^2 + b_4 y^2 + c_2 xy \end{aligned} \right\}$$

como alternativas suficientes en muchos casos.

De ser necesario, puede recurrirse a modelos de orden superior.

Otra alternativa, dentro de este mismo orden de aproximación es la consideración de modelos de transformación compuesta, modelizando dicha transformación como composición de traslación más rotación más dilatación más otras contribuciones.

Dependiendo de las aplicaciones, puede resultar más interesante u operativo uno u otro procedimiento, pero es evidente el mayor interés que presentan los modelos orbitales basados en la reconstrucción de la geometría de la observación.

## 2. LOS MODELOS ORBITALES COMO METODO IDEAL DE CORRECCION GEOMETRICA DE IMAGENES DE SATELITE

Los modelos orbitales están basados en las ecuaciones del movimiento orbital, es decir, en la dinámica del movimiento del propio satélite. Como en todo problema físico, basta, pues, conocer 6 parámetros en un instante dato  $t_0$ , para tener completamente determinada la dinámica del sistema, supuestas conocidas las ecuaciones del movimiento.

La principal ventaja que presentan los modelos orbitales es que permiten, en principio, reconstruir la transformación matemática "exacta" entre las coordenadas de la imagen en bruto y las coordenadas geográficas correspondientes, mediante la reconstrucción de la geometría de la observación. Además

presentan ciertas ventajas, como la posibilidad de considerar modelos digitales de terreno para lograr correcciones más precisas, lo cual es imposible en modelos de corrección más elementales.

En la corrección geométrica mediante modelos orbitales se dan básicamente dos posibilidades:

Una primera posibilidad es el desconocimiento absoluto de parámetros orbitales reales. En este caso, la única posibilidad es una modelización en base a puntos de control; es decir, se trata de utilizar puntos de control para la determinación de los parámetros orbitales.

Pero en general se dispone de información acerca de los parámetros orbitales reales de cada satélite y para cada imagen adquirida, bien sea de modo detallado, en base a datos continuos de posición, velocidad y actitud (como es el caso de SPOT o LANDSAT), o bien mediante actualización periódica de parámetros orbitales medios (como es el caso NOAA). En todo caso, parece lo más lógico utilizar cuanta información esté disponible. En el primer caso podemos hacer una modelización polinómica muy detallada de la órbita, y en el segundo caso debemos recurrir a una modelización kepleriana.

Desde el punto de vista físico, resultan particularmente interesantes las posibilidades que presentan los modelos orbitales de considerar los ángulos de posición del satélite respecto al punto observado (zenital y azimut) de forma exacta, y esto es muy importante porque la mayor parte de las magnitudes físicas que intervienen en el fenómeno de la Teledetección presentan dependencias angulares que normalmente suelen despreciarse recurriendo a simplificaciones a veces no muy justificadas. Tales dependencias angulares pueden ser perfectamente determinadas mediante modelos de corrección geométrica orbital, e incorporadas de este modo a los modelos elaborados.

De todos modos, la corrección mediante modelos orbitales no elimina por completo la necesidad de recurrir a puntos de control, si bien es cierto que basta generalmente con una cantidad mínima de ellos, e incluso uno sólo puede ser suficiente. Evidentemente, la utilización de cuanta información sea posible disponer a partir de los datos de telemetría reduce drásticamente el número de puntos de control que es preciso considerar.

Dentro de esta línea hemos desarrollado modelos orbitales de corrección geométrica para los satélites SPOT y NOAA.

### 3. MODELO ORBITAL PARA EL SATELITE SPOT

En cuanto al satélite SPOT, disponemos en este caso de datos continuos de posición, velocidad y actitud (Spot Image, 1988). La posición y velocidad del satélite (en el sistema de referencia terrestre geocéntrico) son determinadas en intervalos de 1 minuto, y se suministran los valores correspondientes desde 4 minutos antes del tiempo del centro de escena hasta 4 minutos después del mismo, para una más precisa determinación de la órbita. Las velocidades angulares residuales de giro en torno a los 3 ejes que definen la referencia orbital local instantánea del satélite se miden con una frecuencia de 8 Hz (es decir, cada 125 ms). Para cada escena se dispone, pues, de un conjunto de 72 ó 73 puntos de medida (dependiendo del tiempo exacto del centro de escena en cada caso), lo que permite un seguimiento preciso de los ángulos de actitud. Los efectos debidos a ángulos de actitud son importantes en este tipo de satélites de alta resolución (Goel et al., 1989).

Con esta información es posible una determinación muy precisa de la trayectoria orbital. El caso óptimo supone ajustar cada componente mediante un polinomio de Lagrange de grado 7 en la variable temporal, de modo que cada una de tales componentes viene dada por:

$$x^i = \sum_{n=1}^{n=8} \frac{x_n^i \prod_{m \neq n} (t - t_m)}{\prod_{m \neq n} (t_n - t_m)}$$

Igualmente, las componentes de la velocidad instantánea del centro de masas del satélite pueden calcularse mediante la relación:

$$V^i = \sum_{n=1}^{n=8} \frac{V_n^i \prod_{m \neq n} (t - t_m)}{\prod_{m \neq n} (t_n - t_m)}$$

Además, conocemos los ángulos de visión, dependientes del modelo espectral (SPOT nunca mira en la vertical, y entre una toma multispectral ( $\Psi = -0.53^\circ$ ) y una pancromática ( $\Psi = 0.53^\circ$ ) hay una diferencia angular de aproximadamente un grado en el ángulo de visión). El espejo de entrada del instrumento de visión puede ser además reorientado, dando un margen bastante grande para el otro ángulo de visión  $\phi$  ( $[-29.2^\circ, +28.9^\circ]$ , para el HRV1, y  $[-28.9^\circ, +29.2^\circ]$  para el HRV2).

El período de línea es de 3.008 milisegundos para una escena multispectral (la mitad para una escena pancromática), lo que supone un tiempo de escena de 9.024 segundos. Esto permite hacer ciertas simplificaciones cuando se piensa en modelos de carácter más operativo, dentro de unos límites tolerables de precisión, como por ejemplo considerar constantes los ángulos de actitud.

El modelo de corrección desarrollado para el satélite SPOT se basa fundamentalmente en los datos suministrados en el "Leader File" de las CCT. Desde el punto de vista de lo que ahora nos interesa, básicamente tenemos cuatro tipos de información: posición del satélite, velocidad del satélite (ambas expresadas en el sistema de referencia terrestre), datos relativos a ángulos de actitud y datos relativos a ángulos de visión, aparte de otras informaciones relevantes en este caso, como el modo espectral (XS o P), el instrumento que captó la imagen y el ángulo de posición del espejo de entrada del instrumento.

El algoritmo de corrección toma como inputs los valores de latitud, longitud y altura (sobre el elipsoide de referencia, determinada por el modelo digital del terreno), para cada punto considerado.

El primer paso consiste en expresar adecuadamente las componentes de vector satélite-punto observado en Tierra en el sistema de referencia del plano de barrido. Para ello, a partir de los datos de posición del satélite, podemos determinar dicho vector en la referencia terrestre (R.T.). A partir de los datos de velocidad instantánea podemos construir la referencia orbital local (R.O.L.), en la cual se definen los ángulos de actitud, y expresar el vector en dicha referencia. A continuación, mediante una rotación de Cardan de ángulos resultantes de la integración de las velocidades de deriva en torno a cada eje pasamos a la referencia de actitud (R.A.), y, por último, mediante los ángulos de visión, pasamos a la referencia de barrido (R.B.).

La implementación efectiva del algoritmo puede hacerse de varios modos. Una solución adecuada es plantear las ecuaciones exigiendo que el producto escalar del vector normal al plano de barrido instantáneo por el vector satélite-punto observado en Tierra, expresando ambos vectores en un sistema de referencia adecuado, debe ser nulo.

$$(\vec{n}_B \cdot \vec{r}_{SP})|_{R.O.L.} = 0$$

Esto supone unas ecuaciones trascendentes complicadas que deben ser resueltas numéricamente mediante rastreo en la coordenada temporal, que es la que parametriza las componentes de ambos vectores y las relaciones entre los diversos sistemas de referencia considerados.

El margen de error máximo tolerado en la resolución de estas ecuaciones debe ser inferior a la mitad del período de línea del sensor, lo que garantiza un error resultante inferior a una línea de imagen.

Como solución de esta ecuación tenemos, pues, por un lado, un valor temporal para la observación de dicho punto, lo que nos determina directamente el número de línea de imagen correspondiente, y, por otro lado, los valores de posición y velocidad instantáneas del satélite y los valores angulares, todo lo cual nos permite determinar, en la referencia de barrido, conocido el modo espectral y el ángulo de posición del espejo, el número de píxel correspondiente a dicho punto.

Adicionalmente, se determinan los ángulos zenital y azimutal del satélite para este punto, y puesto que conocemos la posición geográfica del mismo y el instante de la toma, determinamos también los ángulos solares (zenital y azimut) instantáneos para dicho punto.

El output del algoritmo es, pues, por un lado, los valores del número de línea y número de píxel, los cuales, mediante convolución cúbica con los píxels del entorno, nos permiten determinar el valor de radiancia aparente para dicho punto a partir de las constantes de calibrado del sensor. Por otro lado, los

4 valores angulares nos permiten definir valores de reflectividad para dicho punto (que es la magnitud en general más interesante), atendiendo a modelos realistas, siendo posible la incorporación de modelizaciones no lambertianas o la implementación de correcciones radiométricas y atmosféricas realistas que den cuenta de dependencias angulares que en general no suelen tenerse en cuenta.

Repetiendo este proceso para cada uno de los puntos, el procedimiento ha sido ideado para integrar en un modelo —que en principio es un modelo de corrección geométrica— las correcciones geométrica, radiométrica y atmosférica, de modo que sean implementadas conjuntamente, aprovechando las ventajas que supone la corrección geométrica mediante un modelo orbital.

#### 4. MODELO ORBITAL PARA EL SATELITE NOAA

Un modelo similar ha sido desarrollado para el satélite NOAA. En este caso, no disponemos de datos continuos de posición y actitud, sino de una actualización periódica de parámetros orbitales medios. Debemos, pues, recurrir a una modelización kepleriana de la órbita, lo cual supone bastantes aproximaciones. La órbita viene definida por 5 parámetros: semieje mayor ( $a$ ), excentricidad ( $\epsilon$ ), inclinación ( $i$ ), ascensión recta del nodo ascendente ( $\Omega$ ) y argumento del perigeo ( $\omega$ ). Un sexto parámetro define la posición del satélite dentro de la órbita. Por razones de conveniencia, en este caso este parámetro será directamente la coordenada temporal  $t$ , si bien para poder resolver adecuadamente la ecuación de Kepler es conveniente utilizar las relaciones entre la variable temporal  $t$ , anomalía media ( $M$ ), anomalía excéntrica ( $E$ ) y anomalía verdadera ( $v$ ), en un esquema clásico en mecánica orbital (Brouwer, 1959).

$$M = E - \epsilon \sin E$$

$$M = M_0 + \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} (t - t_0)$$

( $\mu$  = constante gravitatoria,  $t_0$  = instante de referencia).

Sin entrar en detalles sobre modelización orbital, sólo cabe hacer algún comentario sobre los ángulos de actitud para NOAA. El problema radica esencialmente en la definición de la referencia orbital local, que es donde estos ángulos entran en juego. Para definir dicha referencia pueden seguirse dos criterios en el caso de NOAA: plano de barrido normal al vector velocidad instantánea del satélite, o plano de barrido en la vertical geocéntrica del satélite. Ambas definiciones no son equivalentes. En el caso de NOAA, dado el sistema de estabilización y control de actitud, debe seguirse la segunda posibilidad; es decir, el plano de barrido viene definido por la vertical geocéntrica local. A falta de información específica para cada imagen, utilizaremos siempre los valores nominales para la referencia de actitud.

El modelo desarrollado ha sido especialmente adaptado a las condiciones del sensor AVHRR, que es el utilizado en nuestras aplicaciones. Modificaciones para la adaptación a otros sensores del satélite NOAA supondrían únicamente consideraciones relativas a ángulos de actitud, ángulos de visión y campo instantáneo de visión de cada instrumento.

El modelo implementado para la corrección geométrica de imágenes NOAA viene condicionado por la disponibilidad de datos orbitales. En este caso no hay un único organismo suministrador de las imágenes, ni un único formato para la presentación de los datos. En nuestro grupo recibimos imágenes básicamente de 3 fuentes:

Por un lado, de la base de datos de ESA, básicamente a través de la estación de Maspalomas. Este tipo de datos se suministra en forma bastante estandarizado (formato SHARP) y contiene abundante información orbital, de dos tipos: referida a una órbita de referencia previa y a la propia órbita en la que se captó la imagen. La combinación de toda la información disponible, un tanto dispersa, a veces repetida y otras veces incompleta, permite de todos modos en este caso una determinación bastante buena de los parámetros orbitales.

También recibimos imágenes procedentes del Centro de Meteorología Espacial de Lannion (Francia). En este caso, la información orbital es la proveniente del sistema ARGOS a través del CNES (Brunel y

Marsouin, 1987). Los parámetros orbitales se dan ya directamente para la órbita de la imagen y están bastante bien determinados, si bien presentan ciertas limitaciones y sólo permiten la modelización mediante órbita circular oscilante en torno al punto central de la escena.

Otro tipo de imágenes es el procedente de estaciones universitarias o diferentes organismos (Dundee, Berlín). En este caso no disponemos de información orbital directa para la órbita de la imagen, y debemos recurrir a fuentes externas (como el TBUS) para extrapolar parámetros de la órbita de referencia hasta la órbita de la imagen (Kloster, 1989). Esto es bastante inexacto, dadas las fluctuaciones que se producen en excentricidad y semieje mayor, el giro del plano orbital y otras perturbaciones más complejas, lo que hace imprescindible la consideración de puntos de control para el ajuste de parámetros. Por supuesto, necesitamos en todo caso conocer siempre la fecha y el intervalo temporal exacto de toma de dicha imagen, como requerimientos mínimos.

Dependiendo de la información disponible en cada caso, caben dos alternativas: una es quedarse de entrada con un modelo de órbita circular, lo cual es preferible si no se dispone de suficientes datos, o bien ir a un modelo más complejo de órbita elíptica. Una mala estimación de parámetros de una órbita elíptica da peores resultados que una mejor estimación de parámetros para una órbita circular, pese a ser este último un modelo orbital más simple.

En todo caso, la parametrización orbital se hace de modo que el modelo considerado en el cálculo es siempre de órbita elíptica, de excentricidad cero en el caso restringido a órbita circular.

El resto del modelo es similar al desarrollado para SPOT, simplemente con la variación debida a la trayectoria orbital, que en este caso es calculada mediante resolución numérica de la ecuación de Kepler para los parámetros orbitales establecidos, y a los ángulos de actitud, que en este caso se consideran los ángulos nominales a falta de otra información. En el caso de NOAA es casi imprescindible la consideración de algún punto de control para lograr una buena corrección geométrica, dada la escasez de información orbital.

La incorporación de puntos de control para la determinación de parámetros orbitales o como apoyo a un modelo de corrección orbital es una técnica comúnmente utilizada en el caso de NOAA (Ho y Asem, 1986; Brush, 1988).

La escala elegida para la presentación de resultados en el caso de NOAA ha sido 1:1.600.000, dadas las características de nuestros sistemas de salida gráfica y los requerimientos de las aplicaciones en desarrollo.

## 5. APLICACIONES DE ESTOS MODELOS

Ya que con estos métodos disponemos de información sobre dependencias angulares, cabe señalar algunos efectos, normalmente no considerados en la corrección geométrica de imágenes de satélite, y que tal vez deban tenerse en cuenta.

Hay un efecto, típicamente angular, más acentuado cuanto más nos alejamos de la observación vertical, que es debido simplemente a efectos de refracción atmosférica, (es decir, es un efecto de óptica geométrica, no un fenómeno dispersivo de radiación). Este efecto llega a producir desplazamientos perpendiculares a la dirección nominal de visión que pueden llegar a ser de varios metros a nivel de suelo, lo que en el caso de imágenes pancromáticas SPOT con ángulos de toma muy oblicuos puede llegar a ser notable. Este efecto, además influirá en correcciones atmosféricas de más precisión a desarrollar en un futuro.

Las aplicaciones principales que pueden desarrollarse a partir de este tipo de modelos orbitales están relacionadas con la modelización física del fenómeno de la observación terrestre desde un satélite artificial, y la implementación de las correcciones radiométrica y atmosférica de las imágenes proporcionadas por satélites, mediante modelos bastante detallados. Es en esta línea en la que pretendemos seguir profundizando.

Un grave inconveniente de la implementación desarrollada es la no disponibilidad de un modelo digital de terreno suficientemente detallado del área de estudio. Esta dificultad no es muy importante en nuestra área normal de trabajo, por tratarse de una franja costera muy plana y situada prácticamente a nivel del mar. No obstante, el modelo deberá ser chequeado en zonas montañosas de las que se disponga de un detallado modelo digital del terreno.

## 6. CONCLUSIONES

El planteamiento de este tipo de modelos no va dirigido hacia aplicaciones operativas en las que la corrección geométrica no es más que un paso hacia otros objetivos. Desde este punto de vista, el tiempo de cálculo requerido para este tipo de correcciones no compensa la diferencia de resultados obtenidos con respecto a los métodos clásicos de corrección geométrica, especialmente en el caso de SPOT. En el caso de NOAA, dada la dificultad existente en la determinación de puntos de control y la necesidad de procesamiento rutinario de estas imágenes, estos modelos resultan particularmente interesantes, sobre todo cuando se trabaja a nivel de áreas extensas o cuando el área observada está lejos del nadir del satélite, lo que es bastante frecuente en imágenes NOAA. El interés de este tipo de modelos viene dado por la posibilidad de una corrección bastante precisa en aquellos casos en los que esta precisión es necesaria, sin que importe en tales casos limitados el tiempo de cálculo requerido. Hay que tener en cuenta que determinadas aplicaciones, como la combinación de información SPOT-NOAA, requiere correcciones bastante precisas. El modelo que actualmente estamos desarrollando para integrar información de SPOT a nivel de NOAA (Moreno et al., 1990) supone un registrado de la imagen NOAA sobre la imagen SPOT con un margen de error del orden de un 15 por 100 del tamaño de pixel NOAA (0.15 pixel), lo que en principio es posible con este tipo de modelos (Cracknell et al., 1989), incorporando incluso variaciones de los ángulos de actitud de NOAA determinadas a partir de puntos de control, pero el tiempo de cálculo para este tipo de correcciones resulta prohibitivo en la actual implementación de los algoritmos.

Por otra parte, los modelos orbitales permiten considerar las dependencias angulares de los fenómenos que generalmente no son consideradas precisamente por el desconocimiento de dichos ángulos. Tales dependencias angulares, no muy importantes en el caso de LANDSAT, son de mayor importancia en el caso de SPOT y NOAA, dados los grandes ángulos de observación que se tienen en muchos casos.



Imagen original

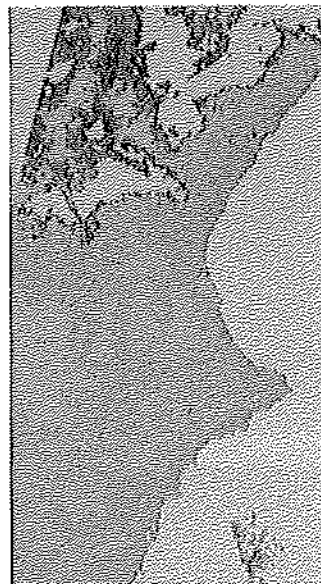


Imagen corregida geoméricamente

Imagen captada por el satélite NOAA 10 el 27 de Febrero de 1988. Se trata de la banda 4 (canal térmico). Esta imagen nos fue suministrada en formato SHARP directamente por la estación de ESA en Maspalomas. La corrección geométrica ha sido realizada a partir exclusivamente de los datos de efemérides proporcionados en el fichero de cabecera, mediante una adecuada extrapolación de los parámetros orbitales a partir de una órbita de referencia anterior a la órbita de la imagen y los parámetros para dicha órbita de la imagen proporcionados en el formato standard. No se ha utilizado absolutamente ningún punto de control para llevar a cabo la corrección. Si bien esto no siempre es posible, y en todo caso la utilización de puntos de control dentro del mismo modelo orbital permite una corrección más precisa, la corrección directa mediante datos de telemetría proporciona un resultado suficientemente preciso para muchas aplicaciones.

De ahí el interés físico de la corrección geométrica de imágenes de satélite mediante modelos orbitales, pues permiten una mejor modelización de los fenómenos, y esta profundización en el conocimiento de los fenómenos supondrá un mayor desarrollo de las técnicas de Teledetección, y un mejor aprovechamiento de los datos proporcionados por los satélites.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado en parte por el proyecto A-172/85 de la CICYT.

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Consellería de Agricultura y Pesca de la Generalitat Valenciana por la financiación del proyecto dentro del cual se ha desarrollado el presente trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- Brouwer, D. 1959. Solution to the problem of artificial satellite theory without drag, **The Astronomical Journal**. **64**: 378-397.
- Brunel, P. and Marsouin, A. 1987. An operational method using Argos orbital elements for navigation of AVHRR imagery. **International Journal of Remote Sensing**. **8**: 569-578.
- Brush, R.J.H. 1988. The navigation of AVHRR imagery. **International Journal of Remote Sensing**. **9**: 1.491-1.502.
- Cracknell, A.P. and Paithoonwattanakij, K. 1989. Pixel and sub-pixel accuracy in geometrical correction of AVHRR imagery. **International Journal of Remote Sensing**. **10**: 661-667.
- Goel, P.S., Venkat Rao, M. and Chandra, K.S. 1989. Attitude control system specifications for a remote sensing satellite. **International Journal of Remote Sensing**. **10**: 1.531-1.537.
- Ho, D. and Asem, A. 1986. NOAA AVHRR image referencing. **International Journal of Remote Sensing**. **7**: 895-904.
- Kloster, K. 1989. Usign TBUS orbital elements for AVHRR image gridding. **International Journal of Remote Sensing**. **10**: 653-659.
- Moreno, J. Gandía, S. and Meliá, J. (en preparación). Geometrical considerations in the determination of effective parameters from SPOT HRV data to be applied in agroclimatological models with NOAA AVHRR data.
- SPOT IMAGE. 1988. **SPOT User's Handbook**. Toulouse.