

## Algoritmo de corrección geométrica de imágenes NOAA AVHRR

*P. Illera, J.A. Delgado y A. Calle*

Departamento de Física Aplicada I  
Universidad de Valladolid

### RESUMEN

En el trabajo se presenta un procedimiento de corrección geométrica de imágenes NOAA-AVHRR basado en un modelo orbital y en la utilización de puntos de control. El modelo orbital supone una órbita circular cuyos parámetros se obtienen a partir de los mensajes TBUS y mediante el uso de uno o más puntos de control. Los errores debidos a esas simplificaciones se corrigen por medio de funciones lineales que relacionan las coordenadas medidas en la imagen y asignadas mediante el modelo orbital para una serie de puntos de control de coordenadas geográficas conocidas. El procedimiento da como resultado errores del orden de un píxel.

### ABSTRACT

A NOAA-AVHRR images navigation method has been developed. It is based in using both an orbital model and some control points. The orbital model assumes a circular orbit whose parameters are derived from the TBUS messages and from the use of one or more ground control points. The errors associates are corrected by means of linear functions relating the coordinates measured in the image and obtained as a result of the orbital model application to a set of control points whose geografic coordinates are known. The procedure allows image registration with errors less than one pixel.

### Introducción

La utilización de las imágenes de los satélites de la serie NOAA con fines no meteorológicos se ha multiplicado en los últimos años, siendo de destacar su utilidad en el seguimiento de la evolución de la cubierta vegetal. Para llevar a cabo estudios de evolución temporal es necesario comparar imágenes, lo que hace deseable una georeferencia lo más exacta posible.

Las características del barrido del satélite, que cubre bandas de 2500 km de anchura, el movimiento orbital y la curvatura y rotación de la tierra, producen importantes distorsiones en las imágenes, que deben ser corregidas mediante modelo orbital. En la bibliografía podemos encontrar modelos de complejidad diferente, desde la aproximación de órbita localmente circular (Ho and Assem, 1986; Brush, 1987;

Emery et al., 1989) a órbitas elípticas complejas en las que se consideran las perturbaciones debidas al achatamiento de la tierra, atracción gravitatoria de sol y luna, etc (Nagle, 1986; Marsouin and Brunnel, 1991; Sandfor, 1992). En todos los casos hay que partir del conocimiento de los parámetros orbitales que se distribuyen a la comunidad de usuarios en los mensajes TBUS transmitidos diariamente por la NOAA en el Sistema Global de Telecomunicación (GTS) y en el Boletín Electrónico Borad.

La precisión alcanzada con la aplicación de estos modelos es variable, pero desajustes en el reloj interno del satélite, falta de conocimiento de los ángulos de actitud del sensor y problemas con los elementos orbitales, dan como resultado que, incluso los modelos más complejos, no alcancen la precisión deseable con errores inferiores a un píxel. Para ello, es necesario recurrir a la utilización de puntos de control (Moreno et al., 1991; Sharman et al., 1991).

En este trabajo proponemos un procedimiento de corrección geométrica de imágenes NOAA-AVHRR basado en la utilización simultánea de un modelo orbital y puntos de control. El modelo supone órbita circular y la inclinación y la altitud se obtienen de los mensajes TBUS. Por medio de uno o más puntos de control se calculan asimismo la longitud del nodo ascendente y el instante de barrido de la primera línea de la imagen (Ho and Assem, 1986; Bachmann and Bendix, 1992). Para corregir los errores debidos a estas simplificaciones se utiliza un conjunto de puntos de control. Las coordenadas de estos puntos medidas en la imagen y obtenidas a partir del modelo orbital se relacionan mediante funciones lineales. Finalmente, se georreferencia la imagen completa utilizando el modelo orbital corregido por dichas funciones. El procedimiento da como resultado errores inferiores a un píxel.

### ***Modelo orbital***

Los satélites de la serie NOAA se mueven alrededor de la tierra siguiendo una órbita cuasipolar, heliosíncrona y elíptica, pero con una excentricidad muy pequeña. El período orbital, altura e inclinación son del orden de 100 mn, 800 km y 99° respectivamente. Como ya hemos indicado, estos datos, junto con otros elementos orbitales, se distribuyen diariamente a la comunidad de usuarios en los mensajes TBUS.

En la figura 1 representamos en línea discontinua la órbita del satélite, que suponemos circular. S representa su posición en un instante determinado t. La línea continua representa la traza de puntos nadir o de observación vertical. Se indica también una línea S'D' de barrido de puntos fuera del nadir, con observación oblicua creciente, fijada mediante  $\delta$ . Debido al avance del satélite, el ángulo  $\gamma$  es algo inferior a los 90°.

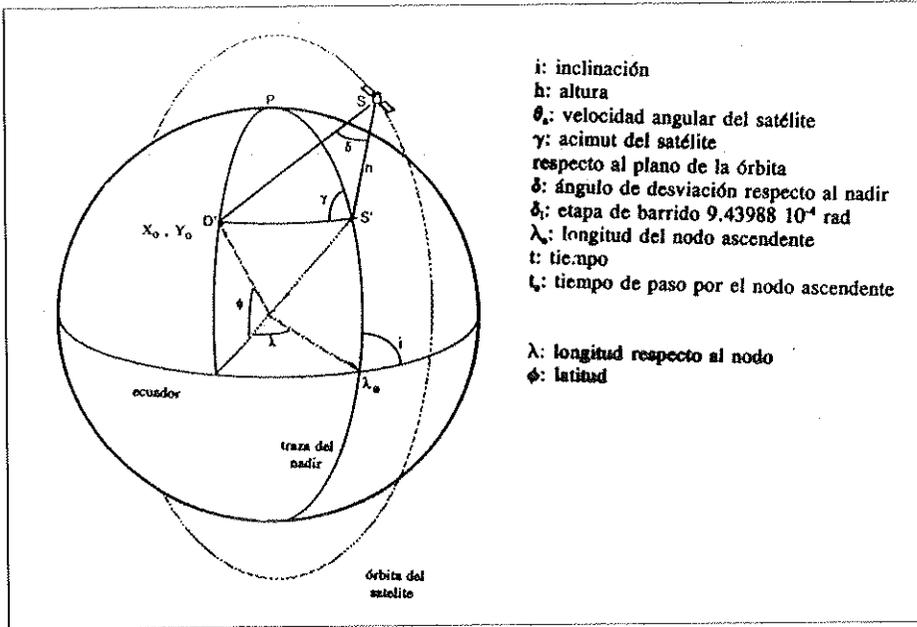


FIGURA 1  
Órbita de los satélites NOAA

El punto E representa el paso por el ecuador en el nodo ascendente. Para fijar la órbita en el espacio utilizamos la longitud del nodo ascendente  $\lambda_s$  y el intervalo de tiempo  $\Delta t$  entre el barrido de la primera línea y el instante  $t_s$  de paso por el nodo.

El problema del registro consiste en buscar las relaciones entre coordenadas en la imagen  $X_i, Y_i$  y coordenadas geográficas  $\lambda, \phi$ :

$$\begin{aligned} \lambda &= f(X_i, Y_i) \\ \phi &= g(X_i, Y_i) \end{aligned} \quad (1)$$

que permiten localizar geográficamente cualquier píxel de la imagen (registro directo) y las funciones inversas:

$$\begin{aligned} X_i &= F(\lambda, \phi) \\ Y_i &= G(\lambda, \phi) \end{aligned} \quad (2)$$

con las cuales se puede llevar a cabo la navegación o reconstrucción de la imagen en una proyección determinada (registro inverso).

Las relaciones (1) y (2) se determinan a través del modelo orbital mediante el procedimiento descrito por Ho y Assem. Como datos de partida utilizamos inclinación y altura, obtenidas de los mensajes TBUS y longitud de paso por el ecuador  $\lambda_e$  e intervalo de tiempo  $\Delta t$ , que se calculan utilizando las coordenadas medidas en la imagen  $X_1, Y_1$  de un punto de control mediante el procedimiento que se esquematiza en la figura 2.

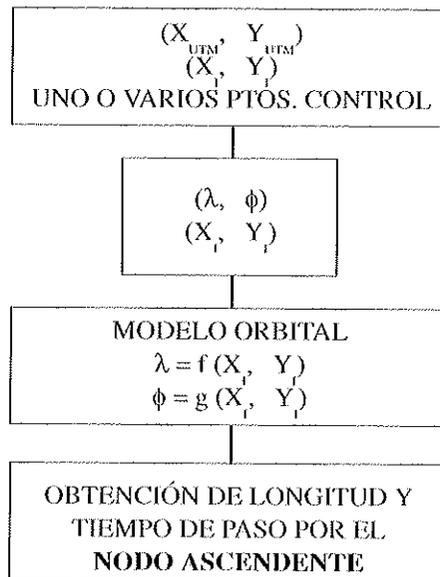


Figura 2  
Cálculo de  $l_e$  e  $Dt$  para fijar la órbita en el espacio

El modelo descrito se ha utilizado para corregir una imagen NOAA 11 AVHRR correspondiente al día 30 de marzo de 1993. En las imágenes 1 y 2 representamos el resultado de georeferenciarla en proyección UTM y hemos superpuesto los límites de las Comunidades Autónomas. Se observa a simple vista un error en la asignación de columnas que varía localmente, de forma que es positivo hacia el este y negativo hacia el oeste y crece al apartarnos de la traza del satélite. El problema se puede deber a la combinación de errores en la determinación de  $\lambda_e$  y en la altura del satélite. En cuanto al registro de filas, no se observan problemas a simple vista.

Para llevar a cabo un análisis cuantitativo, procedemos de la forma que se indica en el diagrama de la figura 3, midiendo en la imagen y calculando mediante el modelo orbital las coordenadas de un conjunto de puntos de control que utilizamos como test. La comparación nos permitirá determinar la precisión del registro inverso, es decir, qué error podemos esperar al determinar mediante el modelo orbital la localización en la imagen de un punto de coordenadas geográficas conocidas.

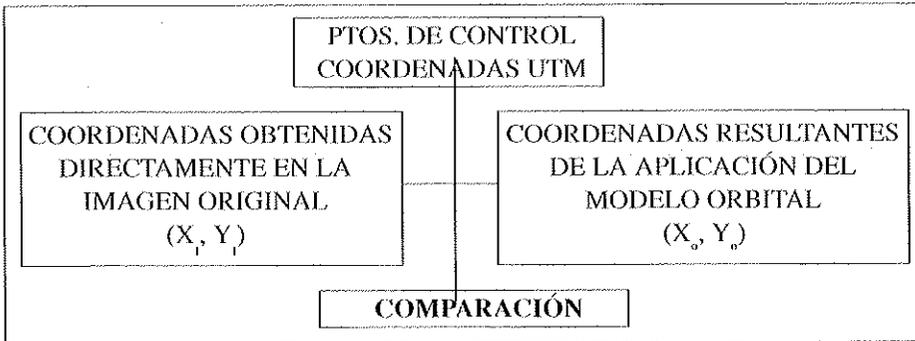


Figura 3  
Control de la precisión del registro inverso

Los resultados se presentan en la figura 4. Se han utilizado 39 puntos y se representan los errores del modelo orbital  $X_0 - X_1$  e  $Y_0 - Y_1$  frente a la columna  $X_1$  en la imagen. Se observa que la determinación de  $X_0$  lleva asociados errores que aumentan al alejarnos de la traza y varían localmente, hasta alcanzar valores de 6 píxeles. Como ya hemos indicado existe una traslación debida a imprecisión en  $\lambda_c$  y un aumento local de los errores achacable a cierta imprecisión en la altura. En cuanto a  $Y_0$ , los errores máximos son de entorno a 2 píxeles y también presentan dependencia con la columna en la imagen.

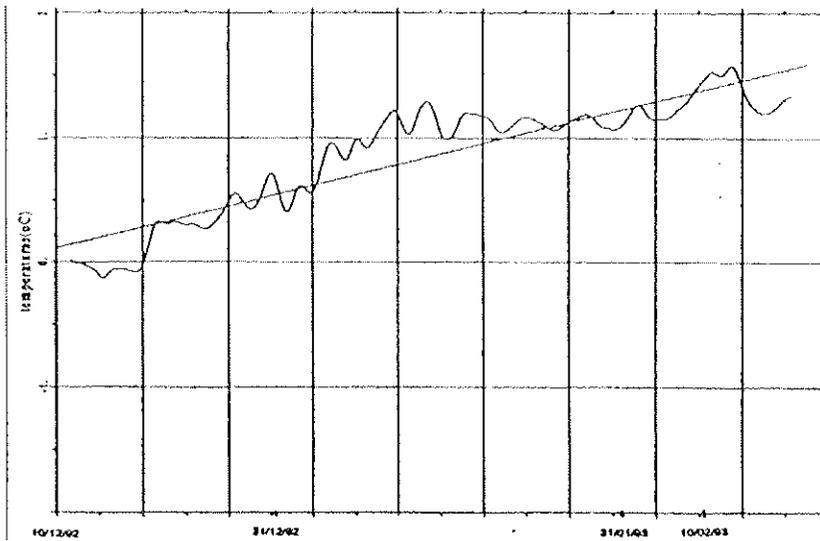


Figura 4

Desviaciones entre las coordenadas medidas en la imagen y las calculadas a través del modelo orbital para un conjunto de puntos test. Se representa la dependencia con la columna en la imagen. Imagen de 30 de marzo del 93

**Corrección mediante puntos de Control**

El análisis presentado en la figura 4 nos lleva a proponer las siguientes funciones de corrección al modelo orbital a partir de las cuales obtenemos las coordenadas  $X_M$ ,  $Y_M$  resultado final de nuestro registro inverso:

$$\begin{aligned} X_M &= A_x + B_x \cdot X_o + C_x \cdot Y_o \\ Y_M &= A_y + B_y \cdot X_o + C_y \cdot Y_o \end{aligned} \tag{3}$$

El resultado para la imagen del 30 de marzo del 93, utilizando 7 puntos para obtener las funciones (3) se presenta en la tabla I. Las correlaciones resultan muy altas. La figura 5 muestra el esquema global del algoritmo. Partiendo de inclinación y altura nominales y mediante las coordenadas medidas en la imagen  $X_i, Y_i$  de un conjunto de puntos de control, determinamos las funciones de corrección (3) y registramos la imagen completa mediante combinación del modelo orbital y dichas funciones de corrección.

Finalmente, en la figura 6 se presenta un análisis similar al realizado en la sección anterior (fig. 4), pero representando los errores del modelo global  $X_M - X_i$  e  $Y_M - Y_i$  frente a la columna  $X_i$  para el conjunto de puntos test. Como se puede ver la precisión del procedimiento aumenta notablemente, con errores inferiores a un píxel. En la tabla II se presentan algunos estadísticos que se derivan de la comparación.

	<i>COLUMNAS</i>	<i>FILAS</i>
<b>A</b>	$6.6 \pm 0.6$	$-0.8 \pm 0.3$
<b>B</b>	$0.9906 \pm 0.0006$	$(2.2 \pm 0.3) 10^{-4}$
<b>C</b>	$(-6 \pm 4) 10^{-4}$	$0.9987 \pm 0.0003$
<b>r</b>	1	1
<b>s</b>	0.67	0.30

Tabla I  
Resultados del ajuste de las funciones (3) para la imagen del 30 de marzo de 1993

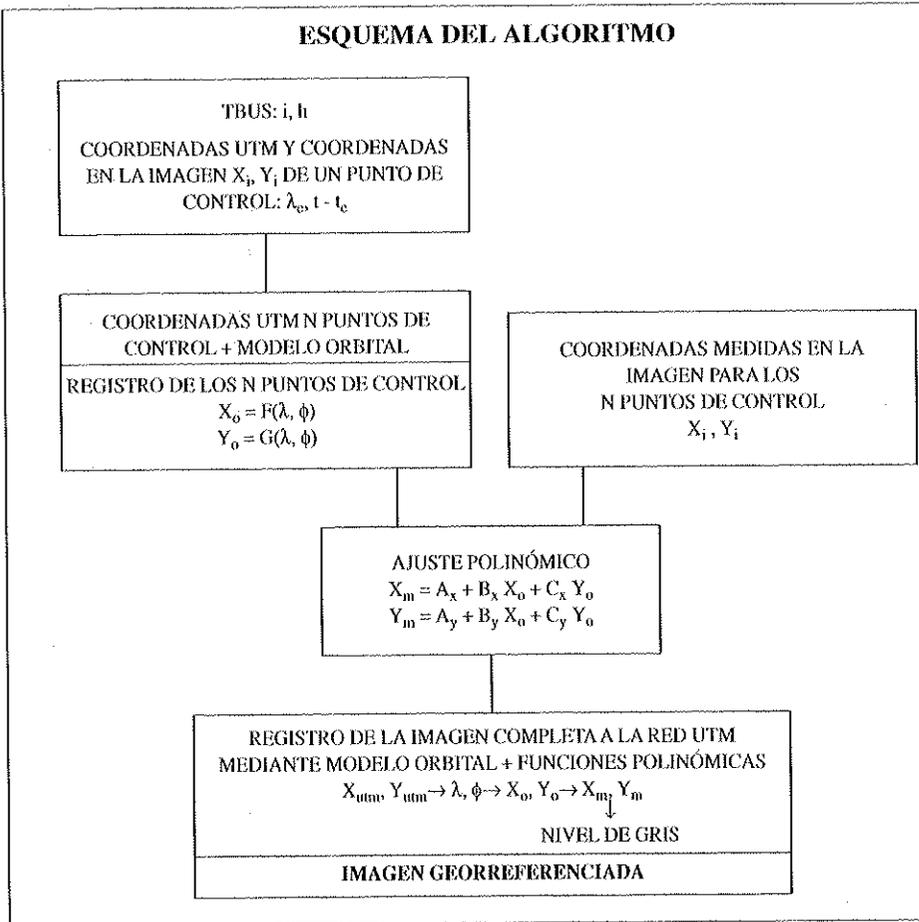


Figura 5  
Esquema del método propuesto

	<i>N</i>	<i>r</i>	<i>DM</i>	<i>DCM</i>	<i>ABS (M-I)/N</i>
$X_M \rightarrow X_I$	39	0.99999	-0.04	0.57	$0.4 \pm 0.3$
$Y_M \rightarrow Y_I$	39	0.99999	-0.15	0.53	$0.4 \pm 0.3$

Tabla II  
Comparación entre coordenadas medidas en la imagen (XI, YI)  
y estimadas mediante el algoritmo (XM, YM)

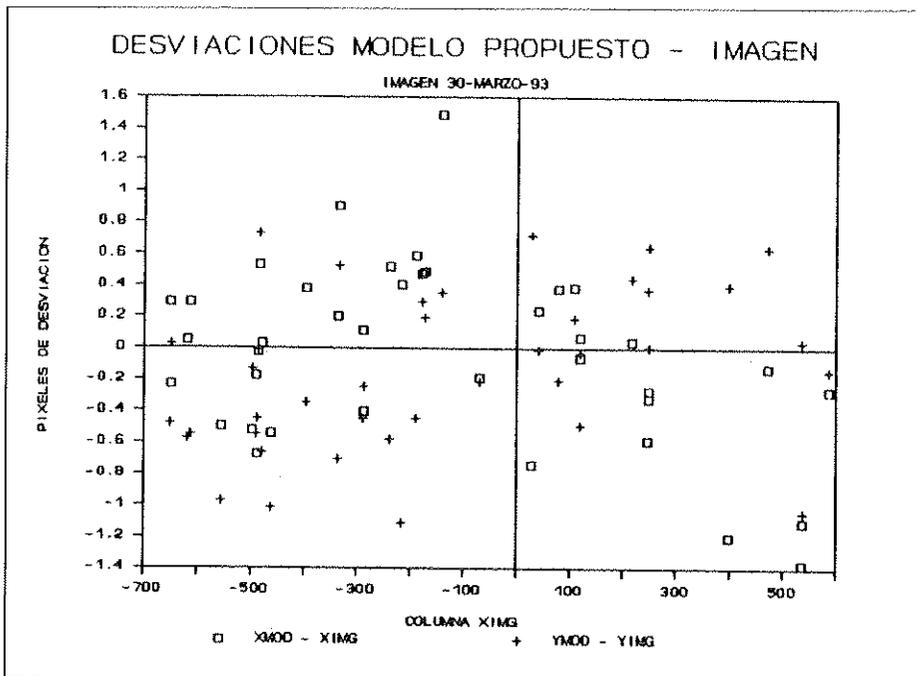


Figura 6

Lo mismo que en la figura 4 para las desviaciones entre las coordenadas medidas en la imagen y estimadas mediante el método propuesto.

### Resultados

Como complemento, aplicamos el procedimiento a un conjunto de 5 imágenes. En la tabla III mostramos las fechas de captura, canal utilizado y resultado del ajuste de las funciones (3). Para ello se parte de conjuntos de puntos cuyo número oscila entorno a los ocho. Se obtienen correlaciones muy altas y errores de la estima inferiores generalmente a 0,5 fil/col.

Por último, georreferenciamos las cinco imágenes en proyección UTM y seleccionamos para cada una un conjunto de puntos test. Comparamos las coordenadas UTM reales de dichos puntos y las resultantes del registro, con los resultados mostrados en las figuras 7 y 8.

FECHA	T	OBS	N	A	B	C	r	s
2-10-89	N-11	-39°	8	9.8	0.9880	-2 10 <sup>-5</sup>	0.9999	0.37
NDVI	S/N	31°	8	0.6	2.0 10 <sup>-3</sup>	0.9963	1	0.43
30-03-93	N-11	-36°	7	6.6	0.9906	-6 10 <sup>-4</sup>	1	0.67
CAN 2	S/N	33°	7	-0.8	2.2 10 <sup>-3</sup>	0.9987	1	0.30
12-07-93	N-9	-32°	10	0.69	0.9993	-9 10 <sup>-3</sup>	1	0.50
CAN 3	N/S	34°	10	2.6	-1.7 10 <sup>-3</sup>	0.9960	1	0.47
23-04-92	N-11	-8°	7	21.38	0.9855	1.4 10 <sup>-3</sup>	1	0.63
CAN 2	S/N	49°	7	0.54	0.9 10 <sup>-3</sup>	0.9966	1	0.38
8-07-90	N-11	-29°	8	16.4	0.9858	1.2 10 <sup>-3</sup>	1	0.62
NDVI	S/N	43°	8	-1.0	1.2 10 <sup>-3</sup>	0.9997	1	0.42

Tabla III

Resultados del ajuste de las funciones (3) para cinco imágenes. Se indica fecha y canal utilizado en el estudio posterior de validez del método, satélite y tipo de trayectoria, ángulos de observación (d) extremos para la Península, número de puntos utilizados para ajustar las ecuaciones (3) y resultados del ajuste para columnas y filas. Se observa la existencia de un desplazamiento en columnas debido a errores en  $\lambda$  y un cambio de escala achacable a un error en la altura. En el caso de las filas el desplazamiento, debido a errores en el tiempo, es menor

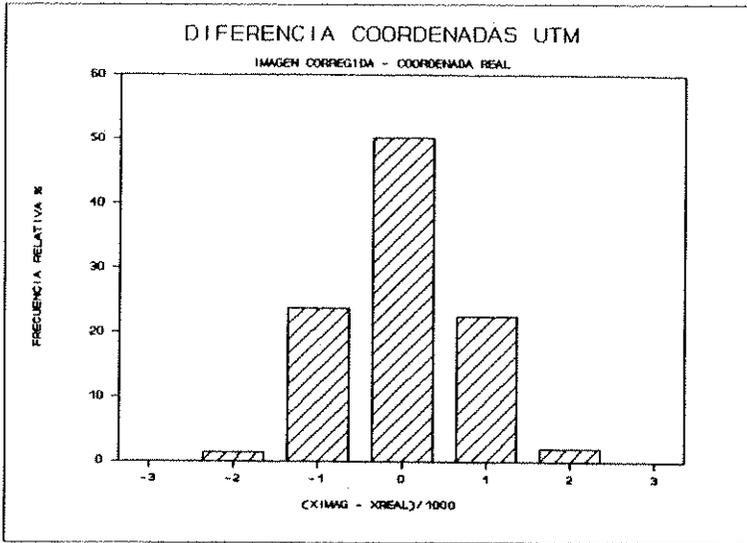


Figura 7

Comparación entre coordenadas UTM resultado del registro y reales para un conjunto de puntos test de las imágenes que se especifican en la tabla III.  
Coordenada  $X_{UTM}$

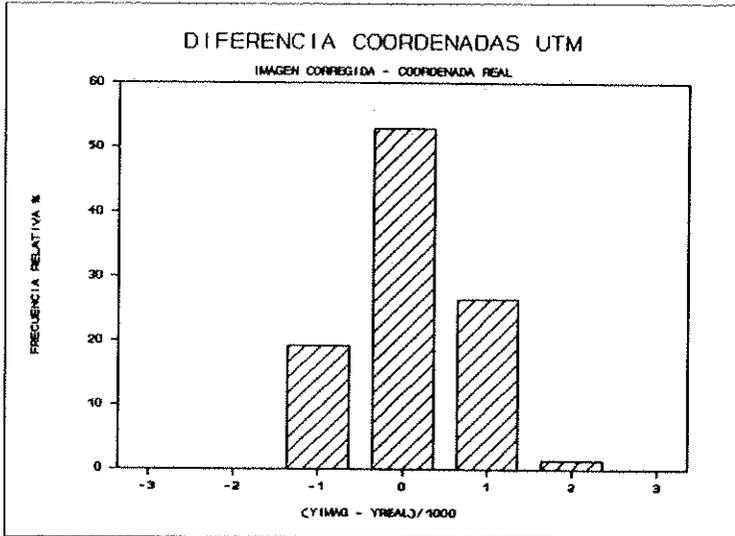


Figura 8

Comparación entre coordenadas UTM resultado del registro y reales para un conjunto de puntos test de las imágenes que se especifican en la tabla III.  
Coordenada  $Y_{UTM}$



Imagen 1

Imagen NOAA-11 AVHRR correspondiente al 30 de marzo de 1993.  
Se presenta el canal 2. Se ha georeferenciado en proyección UTM  
y se han superpuesto los límites de las Comunidades Autónomas. Se observan  
desajustes en el registro de columnas: desplazamiento y cambio de escala. (A. 42)



Imagen 2

Ampliación de la costa gallega en la imagen 1. (A. 43)

Hemos utilizado 155 puntos para llevar a cabo la comparación. En el caso de la coordenada  $X_{UTM}$ , la DM entre los resultados del registro y las coordenadas reales es de 0.03 km y la DCM de 0.68 km; en cuanto a la  $Y_{UTM}$ , los valores son de 0.02 km y 0.59 km. Los histogramas muestran que la práctica totalidad de los puntos de control se georreferencian con errores menores de 1 km. En definitiva, podemos afirmar que el algoritmo de corrección tiene una precisión del orden del píxel de las imágenes AVHRR, que tienen una resolución espacial de 1,1 x 1,1 km en el punto nadir.

### **Conclusiones**

Se ha desarrollado un algoritmo de corrección geográfica de imágenes NOAA-AVHRR, basado en la utilización simultánea de un modelo orbital y puntos de control.

El modelo orbital se basa en el propuesto por Ho y Assem, con órbita circular. Los datos de entrada son inclinación y altura, que se obtienen de los mensajes TBUS, así como longitud e instante de corte con el ecuador en el paso por el nodo ascendente, que se calculan midiendo las coordenadas en la imagen de uno o más puntos de control.

Como resultado del modelo orbital, observamos que existe un desplazamiento de la imagen, que se hace importante en el caso del registro de columnas. El problema se puede achacar a imprecisiones en la determinación de la longitud de paso por el nodo. Asimismo, existen deformaciones locales, achacables al error introducido por utilizar la altura nominal. El desplazamiento en filas, MOTIVADO POR imprecisiones en el tiempo, resulta mucho menor.

Para corregir estos problemas, medimos las coordenadas en la imagen de un conjunto de puntos de control y establecemos las funciones polinómicas (3). La imagen completa se registra utilizando el modelo orbital en combinación con dichas funciones. Observamos que desaparecen las deformaciones anteriormente citadas y el método proporciona errores del orden del píxel.

Concluimos que este tipo de algoritmo resulta adecuado para registrar imágenes, incluso utilizando un modelo orbital sencillo. Como mejora, nos proponemos la implementación de un modelo orbital complejo que permitiría una estimación más correcta de la altura del satélite.

**Bibliografía**

- Bachmann, M. and Bendix, J.:** 1992. An improved algorithm for NOAA-AVHRR image referencing. *Int. J. Remote Sensing* 13: 3205-3215.
- Brush, R.J.H.:** 1988. The navigation of AVHRR imagery. *Int. J. Remote Sensing* 9: 1491-1502.
- Emery, W.J., Brown, J. and Nowak, Z.:** 1989. AVHRR image navigation: summary and review. *Photogramm. Eng. and Remote Sensing* 55: 1175-1183.
- Ho, D. and Assem, A. 1986. NOAA AVHRR image referencing. *Int. J. Remote Sensing* 7: 895-904.
- Marsouin, A. and Brunel, P.:** 1991. Navigation of AVHRR images using ARGOS or TBUS bulletins. *Int. J. Remote Sensing* 12: 1575-1592.
- Moreno, J., Gandía, S. y Meliá, J.:** 1991. Integración de imágenes de muy diferente resolución espacial: aplicación al caso SPOT HRV-NOAA AVHRR. En *Teledetección y Medio Ambiente: IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*. Ed. Junta de Andalucía: 201-208. Sevilla.
- Nagle, F.W.:** 1986. A description of prediction errors associated with the TBUS-4 navigation message and a corrective procedure. NOAA Technical Memorandum NESDIS 16. Ed. National Technical Information Service (NTIS). Washington, D.C.
- Sandfor, T.D.G.:** 1992. A Comparison of orbital prediction algorithms for NOAA satellites. Research Report CS 29 92. Bradford University. Dept. of Computing. 18 pp.
- Sharman, M., le Lerre, A., Barnes, I. and Bierlaire, P.:** 1991. Software for processing AVHRR data for the Communities of Europe (SPACE): algorithms, benchmarks and standards. In *5th AVHRR data users' meeting*. pp 65-70. EUMETSAT. Tromso, Norway.

