

RESTITUCIÓN DIGITAL AUTOMATIZADA: METODOLOGÍA Y APLICACIONES

ROBERTO CLERIGUÉ
ANTONIO HERNÁNDEZ

GALILEO INGENIERÍA Y SERVICIOS, S.A.

Introducción

EL objeto de los sistemas cartográficos convencionales es obtener una representación de aquellos detalles que se consideran necesarios en función de la aplicación y escala del mapa. Se trata por tanto de representar de forma reducida, generalizada y precisa de la superficie terrestre sobre un plano que muestre la situación, distribución y relación de los diversos fenómenos naturales y sociales escogidos y definidos según el objetivo que se pretende cubrir con el mapa.

Esta abstracción del mundo real supone una pérdida definitiva de todo el potencial de información no seleccionada inicialmente, requiriéndose sucesivas ediciones para cualquier nueva revisión.

Los últimos avances en el campo de la informática y el desarrollo de los métodos de análisis y tratamiento de imágenes, permiten incluir la realidad del terreno con todas sus características en los Sistemas de Información Geográfica, al combinarse la imagen digital (ortofoto), la cual suministra fielmente todos los detalles referenciados a coordenadas geográficas, apoyada sobre una malla geométrica matemáticamente precisa de coordenadas X, Y, Z derivada del Modelo Digital del Terreno (MDT).

Los sistemas cartográficos digitales que implementan métodos de resti-

tución automática basados en técnicas digitales permiten un proceso productivo dinámico gracias a la disponibilidad de toda la riqueza de la información fotográfica capturada por el sensor, con lo cual la selección de detalles, su restitución y clasificación se realiza sobre una información cuya proximidad al mundo real sólo viene limitada por la escala del fotograma y la resolución de digitalización de la fotografía aérea.

Metodología de restitución automática

La restitución automática, de forma análoga a la convencional, requiere como única información de partida la serie de estereofotografías aéreas de la zona a modelar y los puntos de apoyo de referencia en coordenadas absolutas.

El proceso completo consta básicamente de tres fases:

- Preparación de datos.
- Restitución automática.
- Explotación de resultados.

Aunque únicamente son los dos primeros procesos los de producción propiamente dicha. Estos procesos se realizan de acuerdo a las siguientes fases: microdigitalización y marcado de puntos de apoyo, como fases de preparación de datos y restitución automática.

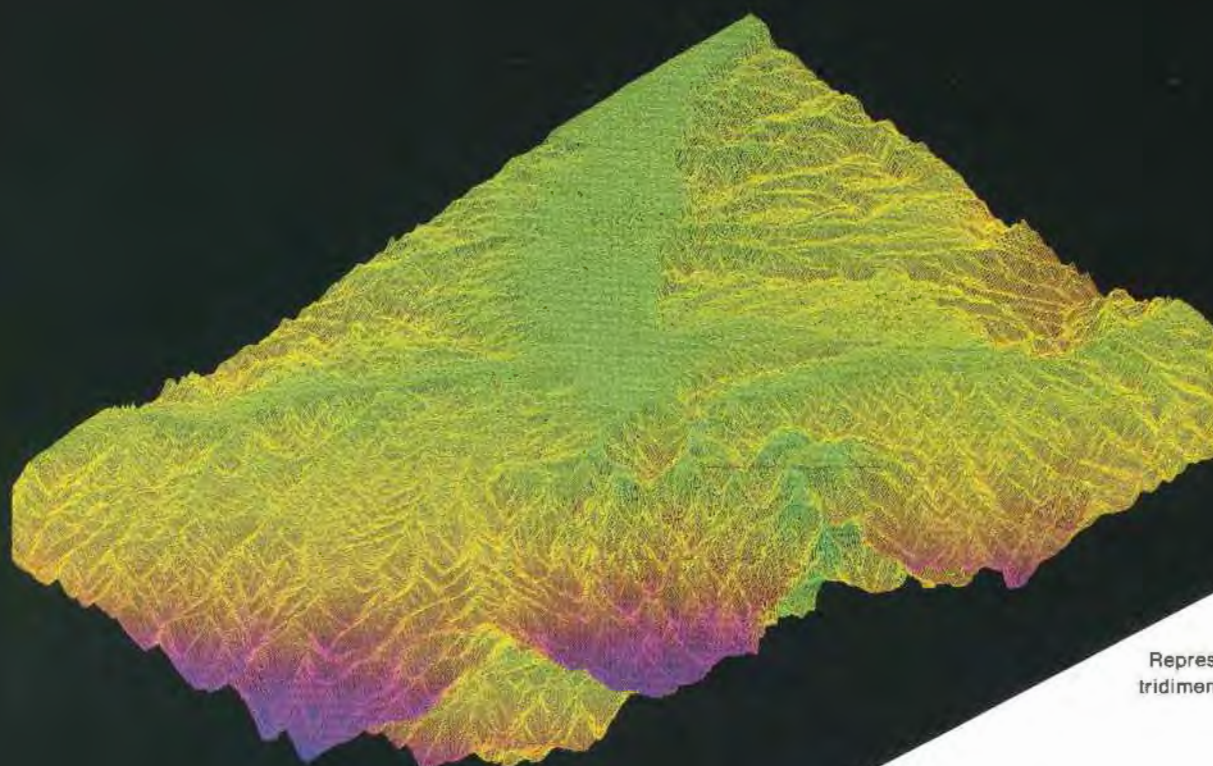
Microdigitalización

El objetivo de esta fase es capturar y almacenar las fotografías aéreas correspondientes a la zona a modelar. Aunque se pueden utilizar resoluciones de digitalización que van desde 12,5 micras a 200 micras, generalmente se utilizan 50 micras. Con esta resolución se obtiene una muy buena precisión, y todavía el tamaño de los ficheros es manejable. Se utilizan 8 bits por pixel, lo cual representa 256 niveles de grises. Con estos parámetros, una fotografía aérea convencional se convierte en una matriz de 4.300×4.300 , lo cual supone aproximadamente, 18 MBytes de información.

Marcado de puntos de apoyo

Para poder realizar la restitución estereoscópica de un par de fotogramas previamente es necesario orientarlos para que formen un par estereoscópico (esto supone para un operador humano la posibilidad de apreciar relieve en la imagen, y con herramientas adecuadas poder medir alturas de terreno). Una vez realizado este proceso, las alturas pueden obtenerse de la medida de los desplazamientos (paralajes) de los puntos a lo largo de las líneas llamadas epipolares.

El proceso teórico de orientación



Representación
tridimensional del
MDT.

puede realizarse numéricamente a partir de las coordenadas sobre ambos fotogramas de al menos 5 puntos (puntos de control), y las coordenadas sobre el terreno de 3 puntos (puntos de apoyo).

Este proceso se realiza ya sobre el ordenador. Ayudados de técnicas de amplificación de gráficos se alcanzan visualizaciones similares a la unidad de digitalización de placa, marcándose sobre una de las imágenes del par las coordenadas absolutas de los puntos de apoyo. El punto correspondiente en la otra imagen del fotograma se localiza sin intervención del operador,

utilizando algoritmos de correlación automática. La interacción en pantalla con la imagen digital permite realizar tratamientos numéricos adicionales encaminados a variar el contraste, a resaltar características del terreno, a suprimir sectores sin interés, etc.

Restitución automática

El proceso de restitución se realiza con un algoritmo matemático de procesamiento de imágenes, desarrollado por el Instituto de Astrofísica de Canarias IAC, capaz de deducir las coordenadas X , Y , Z del terreno en una serie de puntos, mayor cuanto más precisión se requiera del modelo.

El proceso de restitución es el siguiente:

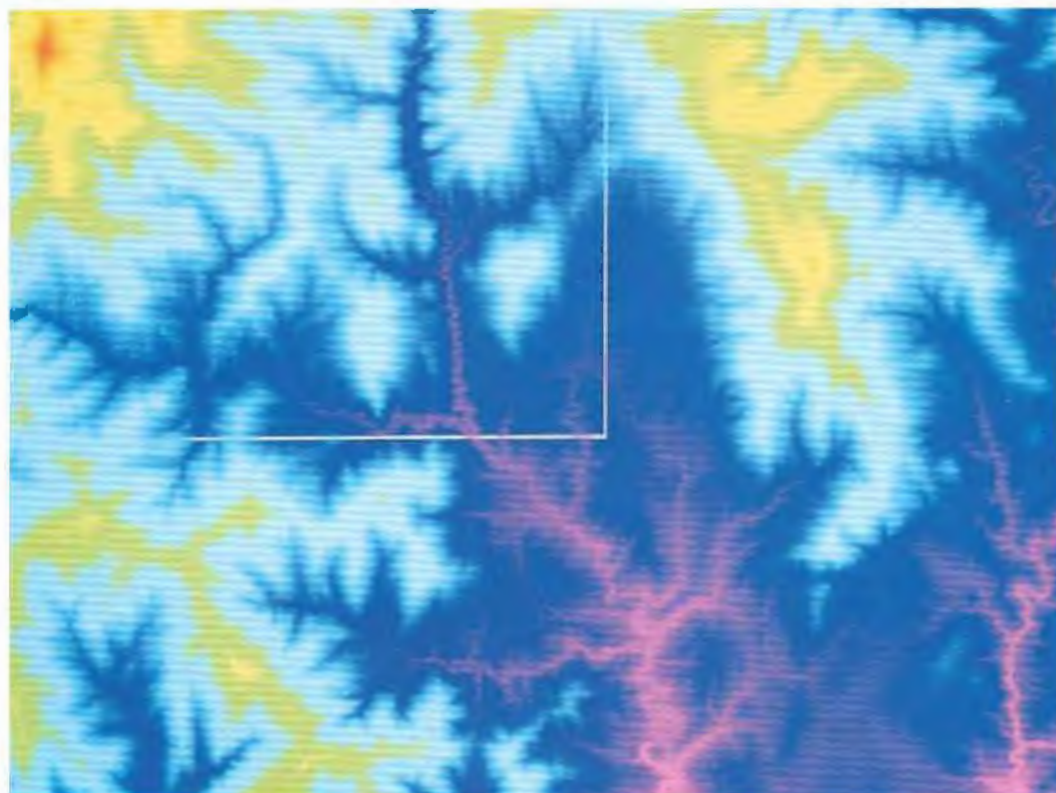
- Se efectúa la carga en memoria de las imágenes correspondientes al área a restituir.

- Se realiza un pretratamiento de las mismas a partir de los puntos de referencia introducidos, produciendo un modelo relativo apto para el correcto alineado del par según las características del vuelo.

- Se genera una malla irregular de puntos de coordenadas relativas (x,y) , caracterizados todos por un valor de paralaje. Este proceso, muy complejo matemáticamente, está optimizado con el fin de acelerar el tiempo de proceso sin que ello represente pérdida de fiabilidad.

- La conversión a coordenadas absolutas o UTM del conjunto de puntos anteriormente generado se efectúa a continuación, disponiendo entonces de una malla irregular de puntos con coordenadas X , Y , Z ya referenciadas.

- Se construye una malla regularizada, o modelo digital del terreno (MDT), con la resolución espacial que se desee. Esta resolución es como máximo 1,5 veces la resolución de digitalización de la fotografía original.



- La proyección de la fotografía aérea original sobre la malla regularizada, o modelo digital del terreno, es la imagen digital del terreno o malla fotográfica tridimensional.

El resultado de este proceso es, una malla geométrica de coordenadas X , Y , Z , el MDT que contiene información sobre la altimetría del terreno, y la Imagen Digital del Terreno (IDT), que contiene información correspondiente a la apariencia visual del terreno. La IDT está corregida geoméricamente, permitiendo por tanto la realización de montajes del tipo mosaico, la producción de ortofotografías, la presentación de perspectivas tridimensionales fotográficas, etc.

Tanto el MDT como el IDT son conjuntos integrales, por tanto no necesariamente estructurados en base a hojas o áreas determinadas. Por tratarse de información digital el territorio se puede tratar como un continuo, como en la realidad lo es.

La información que se solicite será referenciada, salvo preferencias de superior rango impuestas por la base de datos de explotación, en coordenadas UTM y la escala de visualización será la solicitada por el usuario. A modo de ejemplo se puede citar que, en una

Hoja 459 del MTN a
escala 1:50.000
(Área de Tamajón).
Altimetría en falso
color y textura.



pantalla grafías de alta resolución de 19", a escala 1:50.000, es posible representar aproximadamente un noveno de hoja del MTN español 50:000, es decir unas 6.000 Ha.

En resumen, el proceso de restitución automática digital produce información sobre estos dos aspectos:

- Geometría
- Imagen del Terreno.

El MDT es el conjunto formado por las coordenadas X , Y , Z de una malla regularizada de puntos del terreno. Su densidad depende de la escala del modelo final deseado, siendo, por tanto, mayor el número de pun-

tos de la malla cuanto menor sea la escala de trabajo.

La Imagen Digital del Terreno o IDT está formada por el conjunto de fotografías aéreas a partir de las cuales se realiza la restitución, una vez referenciadas todas ellas en la estructura geométrica del MDT. Apoyando esta imagen sobre representaciones tridimensionales del modelo se obtienen imágenes de la apariencia que presenta un territorio desde cualquier punto de vista.

Aplicación a los Sistemas de Información Geográfica

Un moderno y eficaz Sistema de Información Geográfica (SIG) deberá ser capaz de acceder a cuatro bases de datos en las que se almacena, respectivamente:

- Información alfanumérica rela-



cionada con eventos susceptibles de ser asociados a estructuras geográficas.

- Información gráfica vectorizada sobre la planimetría integral del terreno.
- Modelo de malla de la estructura geométrica del territorio.
- Fotomosaico digital del suelo,

obtenido a partir de fotografía aérea.

Como se puede apreciar, dos de estos tipos de información se obtienen como salida directa del sistema de restitución automático. El Modelo Digital del Terreno (MDT), que contiene información geométrica del territorio, y de la Imagen Digital del Terreno (IDT), que almacena la información fotográfica.

La información gráfica vectorizada se puede obtener posteriormente, siguiendo la secuencia de las necesidades reales de información. Con esta estructura, toda la riqueza de información de las fotografías aéreas se encuentra en la base de datos. Las técnicas utilizadas para la generación de la base de datos vectorial son de dos tipos:

- *Dos dimensiones.* Con este tipo de técnicas de vectorizado el proceso sería análogo al retintado sobre ortofotos. En este caso tiene dos ventajas fundamentales; por una parte al retintarse sobre pantalla de ordenador, esta información es automáticamente vectorizada, evitándose el posterior proceso de digitalización del retintado convencional. Por otra parte, asociado a cada pixel de imagen, existe el MDT, por tanto existe información georreferenciada en tres dimensiones para cualquier punto de la imagen. Habría una ventaja adicional desde el punto de vista de la precisión de los vectores, pues cualquier discrepancia entre la información vectorial y la imagen es fácilmente detectable.

- *Tres dimensiones.* Sería similar a la utilización de un restituidor analítico para la restitución planimétrica. En este caso, mediante monitores estereocópicos y/o vistas tridimensionales, es posible ver el terreno en el ordenador en relieve.

El sistema de restitución automática del cual se deriva el conocimiento estructural y aparente del territorio accesible desde los sistemas exteriores de gestión y Sistemas de Información Geográfica, es el verdadero valor añadido y diferencial del sistema.

Esta metodología tiene además las siguientes ventajas:

- El proceso de cálculo se realiza con métodos objetivos, no estando por tanto condicionada la calidad del

producto final a la pericia de un operador, ni a la premura del plazo disponible.

- La precisión de restitución puede ser ajustada a la tolerancia exigida con sólo aumentar o disminuir la resolución de barrido del digitalizador, estando limitada únicamente por el diámetro medio del grano de la placa fotográfica original.

- Es susceptible de automatizar infinidad de procesos, como la restitución de ríos, carreteras, y en general trayectorias, mediante la introducción de algoritmos de reconocimiento de formas.

- Al utilizarse técnicas digitales, todas las bases de datos asociadas al terreno (imágenes, MDT's, vectores), son tratadas de forma continua.

- Productos derivados del proceso digital, tales como:

- imágenes originales digitalizadas
- modelo digital de terreno
- mosaico digital
- ortomágenes
- altimetría y planimetría convencional y digital
- vistas de la malla tridimensional del terreno
- vistas de la imagen real del terreno

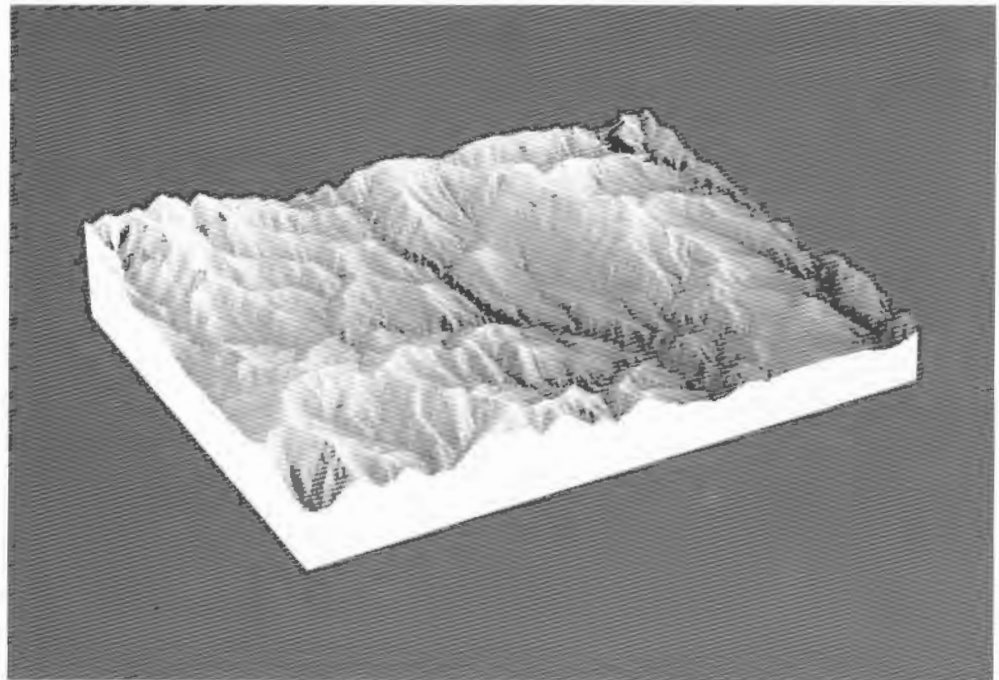
Se integran en sistemas cartográficos de información y gestión, siendo igualmente posible su conectividad con un gran número de aplicaciones generales de ingeniería.

Aplicaciones

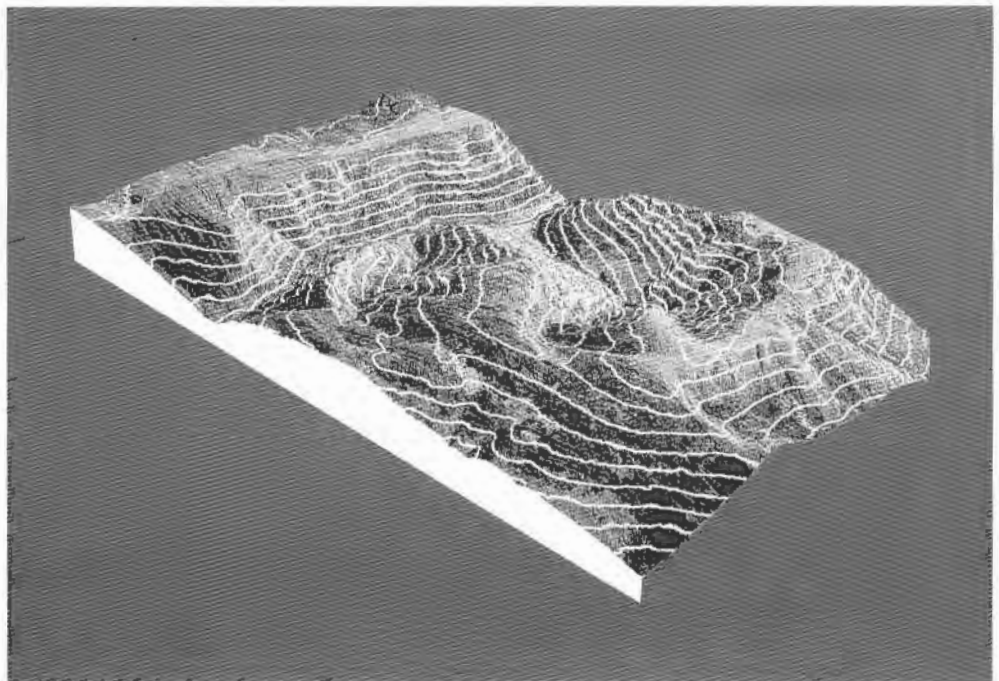
Aunque en el apartado anterior ya se han explicado algunas de las posibilidades de la metodología, a continuación se dan, a modo de ejemplo, algunas aplicaciones:

- *Altimetría y planimetría en falso color.* Asignando a cada altura del terreno un color diferente, se obtiene una imagen en la cual, dependiendo de los colores de las diversas zonas y su variación, se conoce la forma del terreno. En muchos casos es de gran utilidad ya que resulta más intuitiva esta representación del terreno. Es posible también superponer las curvas de nivel sobre esta imagen.

- *Ortofotografía.* Imagen genera-



Hoja 459 del MTN
a escala 1:50.000
(Área de
Tamajón). Textura
sobre modelo
digital del terreno.



Representación
tridimensional en
modo imagen
fotográfica con
curvas de nivel.

da a partir de fotografías aéreas originales y del modelo digital que de ellas se obtiene. Este proceso, realizado punto a punto y no sobre base de franjas más o menos optimizadas, produce una resolución igual o mejor que la de digitalización.

- *Mosaico digital de imágenes.* El sistema desarrollado dispone de las herramientas necesarias para solapar ortoimágenes, generando por tanto mosaicos digitales de imágenes que pueden ser continuos. empleando técnicas de filtrado de señal se ajusta el

contraste y el nivel medio de grises, de forma que el mosaico tenga unos niveles similares en todas las zonas, sin que se note la transición de un par al siguiente.

- *Altimetría y planimetría.* A partir del modelo se generan mapas de isolíneas del terreno. Dado el nivel de detalle del MDT, se procede a un suavizado de las curvas de nivel obtenidas a fin de que su apariencia final sea similar a las convencionales. Es posible superponer sobre las ortoimágenes las curvas de nivel.

- *Representaciones tridimensionales en modo malla.* Una vez en disposición del MDT es posible hacer una representación tridimensional en perspectiva del terreno, con la ventaja de que esta representación puede ser realizada desde cualquier punto de vista. Cuando se dispone de equipos informáticos con la potencia de cálculo adecuada, se genera la representación tridimensional desde diferentes vistas a velocidad tal que permite simular movimientos en tiempo real.

- *Representaciones tridimensionales en modo imagen fotográfica.* A partir de la IDT apoyada sobre la malla tridimensional, se obtiene una visualización del terreno en tres dimensiones. Como en el caso anterior, esta perspectiva puede ser obtenida desde cualquier punto de vista, pudiéndose igualmente simular, con los medios adecuados, movimiento en tiempo real.

- *Presentación de imágenes con información integrada.* Al estar disponible el ortomosaico digital de la zona de interés, las posibilidades de integración de la información de tipo imagen con cualquier otra clase son muy variadas. A modo de ejemplo citaremos:

- *Altimetría sobre ortomágenes.* Superposición de las curvas de nivel sobre las ortofotografías.

- *Planimetría selectiva sobre ortomágenes.*

- *Perspectivas tridimensionales de la imagen digital del terreno.* Representación de la apariencia real del terreno en tres dimensiones, pudiéndose obtener esta imagen desde cualquier punto de vista, con y sin sombreados.

- *Combinaciones de imágenes digitales/vectoriales/alfanuméricas.* Representaciones del terreno en tres dimensiones, combinando imagen digital con otras informaciones, tipo vector y/o alfanumérica.

Además de estas aplicaciones de tipo general, existen otras aplicaciones específicas para:

- *Análisis y clasificación de suelo.* Si en lugar de imágenes de espectro visible, se parte de placas multiespectrales (fotografías LANSAT o SPOT), es posible clasificar y analizar áreas fotográficas según su firma espectral, lo que permite identificar diferentes clases de suelo, de vegetación, distinguir formaciones geológicas, etc., y todo esto referenciado a la altimetría.

- *Elaboración de mapas temáticos.* La cartografía temática es de amplia aplicación, tanto en el ámbito técnico como para actividades de difusión cultural. La introducción de la característica altimétrica y tridimensional es importante pa-

ra aplicaciones del tipo:

- de usos del suelo
- de equipamiento urbano y rural
- de comunicaciones, tráfico
- de recursos naturales del suelo
- de recursos hidrográficos
- de localización y parámetros industriales

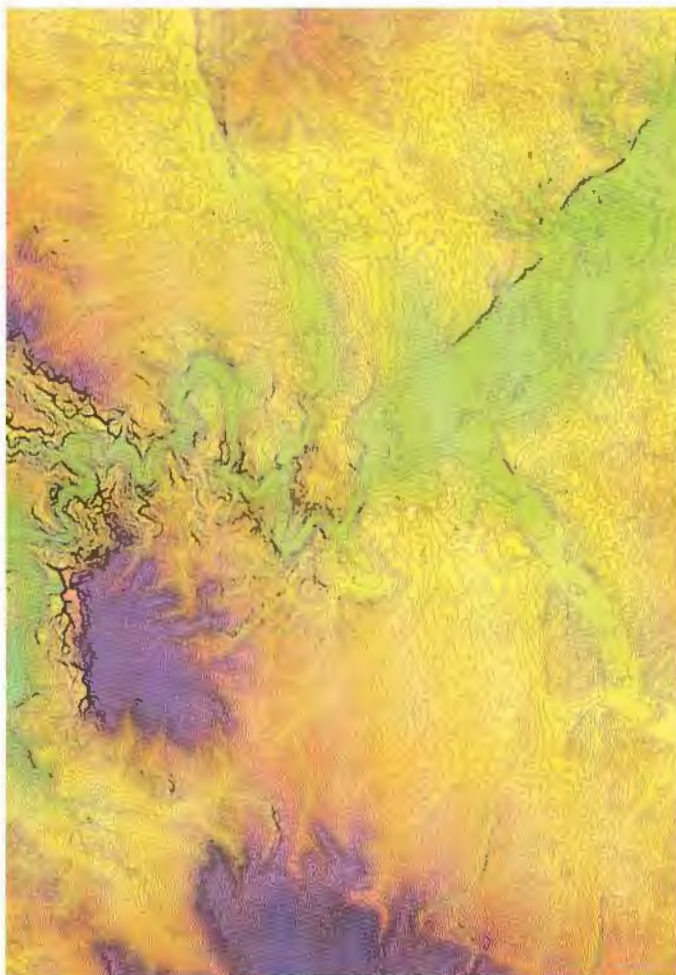
- escolar
- turístico
- de estudios sociales y de población

- *Digitalización y reticulado de fotografía aérea.* Si se necesita ampliar o modificar la base de datos de imágenes, es posible digitalizar y enmarcar en la cuadrícula existente las nuevas imágenes. También se puede digitalizar con mayor resolución, siempre hasta un máximo determinado por el tamaño del grano de la película, alguna placa ya almacenada.

- *Simulación.* En base a las características ya descritas, se adivina las posibilidades que el sistema ofrece para tareas de simulación. Son de especial

utilidad la posibilidad de visión estereoscópica, la imagen real de terreno, el MDT, y la posibilidad de realización de restitución de detalles. A modo de ejemplo diremos que el sistema dispone de las herramientas necesarias para definir una trayectoria sobre el terreno, y posteriormente visualizar el aspecto tridimensional en visión estereoscópica que se tendría si siguiéramos la trayectoria definida. Dado que existe la posibilidad de realizar una restitución en detalle de las zonas de la trayectoria, se podría tener una simulación con un gran grado de realismo.

- *Impacto ambiental.* Las visualizaciones en tres dimensiones desde cualquier ángulo y a cualquier distancia, la posibilidad de visualizar diferentes tipos de información (raster, vectorial, imágenes), unido incluso a la posibilidad de edición tanto vectorial como raster, hace que ésta sea la herramienta idónea para aplicaciones relacionadas con el estudio del impacto ambiental.



Curvas de nivel y altimetría en falso color.