

SOFTWARE DE BAJO COSTE PARA LA ENSEÑANZA DEL TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Emilio Chuvieco Salinero¹

RESUMEN: Se evalúan en este artículo algunos programas de tratamiento digital de imágenes de bajo coste, que pueden resultar idóneos para el contexto docente. Los criterios de selección han sido el coste, con un límite económico de 100.000 pts., y los requisitos en *hardware*, garantizando una plena compatibilidad con los componentes básicos de los ordenadores personales. Entre los programas evaluados, DRAGON ofrece las mejores aptitudes para la docencia, con una amplia funcionalidad y buena interacción con el usuario. IDRISI es el más aventajado en funciones de proceso y exportación/importación de ficheros, con un magnífico coste aunque presenta limitaciones en la visualización y documentación. RSVGA presenta un coste intermedio, pero cuenta con algunas carencias en su facilidad de manejo e integración con otros programas. Por su parte, BILKO y LANDSAT, ambos de dominio público, resultan idóneos para la enseñanza introductoria.

LOW COST SOFTWARE FOR TEACHING DIGITAL IMAGE PROCESSING

ABSTRACT: *This paper evaluates several image processing programs from an educational perspective. Only low cost software, under 1000 \$, and MS-DOS compatible has been selected for reviewing. After the evaluation of these programs, DRAGON is considered the best one for teaching purposes, because of its wide functionality and user friendliness. IDRISI is the most cost-effective, offering most of the processing functions, but it has some limitations in display and documentation facilities. RSVGA has many processing and display capabilities but it presents and awkward user interface, along with severe limitations in import-export options. BILKO and LANDSAT are in the public domain. Both are very useful for a basic teaching, but they have important limitations for more specific courses in digital image processing.*

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las técnicas de interpretación digital de imágenes se ha visto tradicionalmente limitada por las fuertes inversiones que exigían los equipos de tratamiento. A lo largo de los

últimos años se han desarrollado distintos sistemas de bajo coste, como parte de proyectos de investigación o como soporte didáctico de algunos programas universitarios (Kiefer y Gunther, 1983; Harrington et al, 1986; Hoey et al, 1991). Además, las notables mejoras en las capacidades de visualización y proceso de los ordenadores personales, junto a sus reducidos costes, permiten ahora disponer de herramientas idóneas para la docencia del tratamiento digital de imágenes.

Este artículo pretende aportar una evaluación crítica de algunos programas de bajo coste, diseñados para la enseñanza del tratamiento digital de imágenes, completando y actualizando la revisión que realizamos previamente (Chuvieco, 1991). Hemos intentado adoptar un enfoque realista, limitando nuestra revisión a aquellos programas soportados por un ordenador personal que no requieren componentes físicos especializados (tarjetas gráficas o monitores, por ejemplo). La incorporación de disco fijo o coprocesador matemático no se ha contemplado como excluyente, ya que sus costes resultan hoy muy asequibles. Debido a su generalizada extensión en los departamentos universitarios, hemos considerado únicamente los programas basados sobre el sistema operativo MS-DOS. En resumen, la configuración más habitual para los paquetes informáticos que se incluyen en esta revisión sería:

- Ordenador personal PC compatible:
 - . procesador 80286 ó 80386 (recomendable este último)
 - . memoria RAM: 640 Kb

¹ Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, Colegios 2, 28801 Alcalá de Henares.

- . disco fijo: mínimo 30 Mb
- . unidades de disquete: 5,25" = 1,2 Mb (recomendable añadir otra de 3,5" = 1,44 Mb)
- . tarjeta y monitor gráfico VGA (640 x 400 pixels x 16 colores), recomendable SVGA (600 x 400 x 256 colores)
- . coprocesador matemático 80287 ó 80387
- Impresora matricial 9 agujas (recomendable 24 agujas)
- Impresora Láser HP compatible (recomendable)
- Impresora de inyección de tinta HP Painjet (recomendable)

Con los precios actuales del mercado (1992), la configuración básica arriba mencionada puede adquirirse a partir de 120.000 pts (excluyendo impresoras). Se encuentra, por tanto, en el marco de un presupuesto docente bastante realista.

Respecto al *software*, hemos mantenido como criterio selectivo el coste, con objeto de seguir ajustando la propuesta a un presupuesto modesto. Se ha fijado como tope la cantidad de 100.000 pts., precio para la primera copia y teniendo en cuenta los descuentos académicos.

Ambos criterios, el aplicado al *hardware* y al *software* limitan la evaluación a un conjunto de programas que consideramos de suficiente entidad para abordar una enseñanza de los conceptos más destacados en la interpretación digital de imágenes espaciales. Quedan relegados otros paquetes informáticos que pueden facilitar, obviamente, un mayor y más refinado rango de posibilidades: ERDAS, GRASS, ILWIS, JARS, GEMS, etc. Su empleo se acomoda, a nuestro juicio, más a labores de investigación -o enseñanza de postgrado en grupos muy reducidos- que a tareas docentes propiamente dichas.

También se han rechazado aquellos programas que aún no cuentan con un desarrollo suficientemente extendido, o que no ofrecen una documentación asequible al estudiante no iniciado en

estas técnicas. Este es el caso de la adaptación del programa VICAR (originario del *Jet Propulsion Laboratory*) que ha realizado la Universidad de Dundee (Vaughan, 1991), o el programa MIPS que ha desarrollado el Prof. Paul M. Mather de la Universidad de Nottingham.

Con estos antecedentes, los programas incluidos en la revisión son los siguientes:

- **DRAGON** (versión 3.05). Goldin-Rudahl Systems, Inc. Six University Drive, Suite 213, Amherst, MA 01002 (USA). Precio: 995 dólares USA (para entidades educativas) por la primera copia, 4.000 dólares para 10 copias. Protegido por una llave instalada en la puerta paralelo.

- **RSVGA** (versión 5.0), Eidetic Imaging Ltd., 1210 Marin Park Drive, Brentwood Bay, British Columbia, Canada, V0S 1A0. Precio: 425 dólares USA. Protegido por una llave instalada en la puerta paralelo.

- **IDRISI** (versión 4.0), J. Ronald Eastman, Clark University, Graduate School of Geography, 950 Main St., Worcester, MA 01610 (USA). Precio: 200 dólares USA (para entidades educativas). No está protegido.

- **BILKO** (versión 1.3), UNESCO, Marine Science Training and Education Programme (TREDMAR), 7 Place de Foutenoy, 75700 Paris (Francia). Precio: distribución gratuita. No está protegido.

- **LANDSAT** (versión 4.4) Mj. Scot A. Loomer, 94-037 Kuahelani Avenue #117, Mililani, Hawaii 96789. Precio: Dominio público, gastos de copia y correo. No está protegido.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Al tratarse de un perspectiva docente, hemos establecido una jerarquía de criterios valorativos que permitiera juzgar la idoneidad de los distintos programas para facilitar la asimilación de los conceptos más destacados en el tratamiento digi-

tal (Bishop, 1989). En este sentido, la evaluación docente de un programa no tiene por qué coincidir con la que se realiza para otros objetivos (Kovalik et al, 1987), como, por ejemplo, para la investigación en un determinado campo, que presupone una previa formación de los futuros usuarios.

En consecuencia, y con un enfoque docente, los criterios de evaluación finalmente seleccionados son, en orden de importancia: (1) funciones de proceso incluidas, (2) facilidad de manejo, (3) calidad de la visualización, (4) capacidad de exportación-importación de archivos a otros programas, (5) calidad de las salidas en papel, (6) limitaciones en el número de bandas y de categorías para la clasificación, y (7) limitaciones en el tamaño de la imagen analizada. Obsérvese que en esta relación no se menciona la rapidez de cálculo, pues consideramos que no es un criterio trascendental en la enseñanza. Por la misma razón, se ha relegado al último lugar el volumen de la imagen procesada, ya que la extensión del tratamiento a espacios más amplios no conlleva, habitualmente, una mejor comprensión de los conceptos. En cuanto al coste, se entiende que todos los programas analizados están en un precio suficientemente accesible a la comunidad universitaria.

Funciones de proceso

Las opciones para la interpretación digital que brindan estos programas estarán adaptadas, lógicamente, a los modestos recursos informáticos sobre los que se apoyan, si bien resultan cada vez más amplias las posibilidades de análisis facilitadas por los ordenadores personales. Entre las operaciones digitales más habituales, hemos establecido una clasificación en tres niveles, de acuerdo a su importancia para la docencia de los conceptos clave en la interpretación digital de

imágenes. Así, hemos dividido las técnicas de análisis en: (i) operaciones **básicas**, las imprescindibles en el tratamiento digital -y por tanto de obligada presencia en cualquier sistema-; (ii) **periféricas**, referidas a técnicas auxiliares a la docencia, y (iii) **acesorias**, que introducen conceptos novedosos en la interpretación. En la tabla 1 se indica el rango de funciones ofrecido por cada uno de los programa revisados.

(i) Operaciones básicas

La mayor parte de las técnicas que hemos denominado básicas están incluidas en los cinco programas evaluados (tabla 1). Las excepciones son LANDSAT y BILKO, que carecen de corrección geométrica de la imagen. El primero, tampoco permite la búsqueda de coordenadas con ayuda del cursor, así como cocientes y filtrados, mientras que el segundo no incorpora una opción para la clasificación multispectral. Es preciso tener en cuenta que este programa se ha desarrollado exclusivamente para aplicaciones oceanográficas, por lo que no considera algunas operaciones, como ésta, bastante comunes en aplicaciones terrestres.

La visualización es bastante curiosa en el caso del programa RSVGA, que contempla la posibilidad de definir hasta 15 pantallas gráficas (con un máximo de cuatro simultáneas), aplicando distintos niveles de resolución espacial y radiométrica. Tanto éste como el programa DRAGON ofrecen hasta 64 niveles de gris para una banda sobre una zona de 320 x 200 pixels. Para sectores más grandes (640 x 400 pixels), sólo se admiten 16 niveles, al igual que en el caso de IDRISI. El programa LANDSAT está diseñado para una tarjeta EGA, por lo que sólo admite 13 niveles de gris. En lo que se refiere a visualizaciones multibanda, LANDSAT facilita 132 tonos, DRAGON y RSVGA, un máximo de 256, lo que permite obtener imágenes en pantalla de

Tabla 1
Funciones básicas ofrecidas por los programas

	DRAGON	RSVGA	IDRISI	LANDSAT	BILKO
Visualización de una banda	S	S	S	S	S
Visualización de tres bandas	S	S	S	S	S
Realización de histogramas	S	S	S	S	S
Expansión lineal del contraste	S	S	S	S	S
Búsqueda de coordenadas y ND	S	S	S	N	S
Zoom	S	N	S	N	S
Filtrajes aritméticos	S	S	S	N	S
Cocientes entre bandas	S	S	S	N	S
Selección áreas de entrenamiento	S	S	S	S	N
Obtención de estadísticas	S	S	S	S	N
Asignación/Clasificación	S	S	S	S	N
Corrección geométrica	S	S	S	N	N

buena calidad visual. Todos ellos sobre zonas pequeñas (320 x 200 pixels). La más reciente versión de IDRISI, ha incorporado la visualización multibanda mediante un paso intermedio que genera un solo fichero por agrupamiento colorimétrico de tres bandas, al que se le asigna una paleta de colores que emula la composición en color.

Pueden obtenerse histogramas gráficos y numéricos con todos los programas. Esta información se emplea para realizar la expansión del contraste, a partir de los valores mínimo y máximo, o de otros que elija el intérprete.

La búsqueda de coordenadas se facilita para DRAGON e IDRISI con el empleo de un ratón electrónico, incorporando asimismo un zoom interactivo. RSVGA y BILKO sólo utilizan las teclas del cursor. Los cuatro pueden también

ofrecer información sobre el nivel digital de cada pixel explorado, aunque sólo DRAGON lo hace para tres bandas simultáneamente.

En lo que se refiere al realce de la imagen, todos los programas permiten el realce del contraste con distintas variantes, lo cual resulta muy didáctico para comprobar en pantalla el efecto de esta operación. DRAGON, RSVGA, IDRISI y BILKO incluyen distintas opciones de filtraje, de paso bajo y alto, así como la posibilidad de que el usuario diseñe sus propios coeficientes de filtrado. La rapidez de cálculo es muy inferior en el caso de IDRISI, ya que no trabaja sobre la memoria gráfica, sino sobre el disco. En consecuencia, este programa precisa generar un nuevo fichero en cada filtrado, que se visualiza posteriormente. El resto realizan el filtrado en memoria y el resultado se dirige al monitor, desde el

que puede salvarse o no en función de los intereses del usuario.

El diseño de campos de entrenamiento se contempla en todos los programas salvo, como ya hemos indicado antes, en BILKO. DRAGON y LANDSAT sólo admiten campos geométricos: círculos en el primer caso y cuadrados en el segundo, mientras en RSVGA e IDRISI pueden tener cualquier forma y tamaño. Estos cuatro programas ofrecen los valores estadísticos elementales de cada clase (media, desviación típica, y, salvo LANDSAT, la matriz de varianza-covarianza). Estos valores estadísticos pueden ser visualizados y editados.

Los algoritmos de clasificación que se incorporan son los más usuales. LANDSAT utiliza una variante del criterio de máxima verosimilitud, que le permite agilizar notablemente los cálculos. El resto permiten trabajar con los de mínima distancia, paralelepípedos y máxima verosimilitud, si bien este criterio resulta extremadamente lento.

IDRISI, DRAGON y RSVGA son los únicos que facilitan la corrección geométrica de la imagen. En el caso del primero, no se recoge ninguna opción especial para la toma de coordenadas de los puntos de control y resulta preciso editar al margen del programa un fichero (en ASCII) para calcular la ecuación de ajuste entre mapa e imagen, y proceder al remuestreo de la misma. Por el contrario, DRAGON ofrece, en este punto, la mejor interacción con el usuario, puesto que permite visualizar dos imágenes (origen y referencia) simultáneamente. RSVGA ofrece la opción de calcular interactivamente la ecuación de regresión, estimando los residuales para que el usuario decida si quiere eliminar alguno de los puntos seleccionados. DRAGON procede en forma similar, aunque sólo permite al usuario señalar el error máximo permitido (RMS), encargándose el programa de eliminar iterativamente los puntos con mayor error hasta que no se supere el

umbral de error previamente fijado. IDRISI realiza el ajuste inmediatamente antes de la interpolación de la imagen, sin permitir al usuario modificar los puntos dudosos. Los tres programas ofrecen la posibilidad de calcular ajustes de hasta tercer grado.

(ii) Operaciones periféricas

En lo que se refiere a las operaciones que aquí hemos denominado 'periféricas', las carencias de los programas revisados son más frecuentes que las incluidas en el anterior epígrafe (tabla 2). La generación de tablas de color es el único rasgo, de los aquí analizados, que se recoge en todos los programas. En el otro extremo, la opción menos común es la recodificación de categorías, una vez que se obtiene la clasificación, que sólo se incluye en DRAGON e IDRISI.

Desde el punto de vista docente, resulta de especial interés poder visualizar varias imágenes simultáneamente. Esto permite apreciar las diferencias entre distintas regiones del espectro, o entre distintos realces aplicados a la misma banda. Esta opción se recoge en los programas DRAGON y RSVGA. En el primero, el usuario señala el origen, en coordenadas de la pantalla, donde se visualiza la imagen, por lo que pueden aparecer simultáneamente tantas imágenes como se estime oportuno, con la limitación de su tamaño, sin superar el área total de la pantalla (640 x 400 pixels para tarjetas VGA estándar). Por su parte, el programa RSVGA admite una modalidad gráfica de 4 imágenes simultáneas.

También de gran interés docente es la posibilidad de realizar diagramas de dispersión entre dos bandas, lo que permite explorar las relaciones entre dos bandas del espectro, para distintas cubiertas. DRAGON y BILKO ofrecen una visualización gráfica, con la frecuencia bivariada en tonos de color. IDRISI, además calcula la ecuación de regresión entre bandas, lo que tam-

Tabla 2
Funciones periféricas ofrecidas por los programas

	DRAGON	RSVGA	IDRISI	LANDSAT	BILKO
Visualización múltiple	S	S	N	N	N
Generación de tablas de color	S	S	S	S	S
Ecuación del histograma	S	S	S	N	S
Correlación gráfica entre bandas	S	S	S	N	S
Separabilidad entre clases	N	S	S	N	N
Análisis no supervisado	S	S	S	N	N
Recodificación de clases	S	N	S	N	N
Anotaciones y leyenda temática	S	N	S	S	N
Producción de salidas en papel	S	S	S	S	N
Verificación de clasificaciones	S	S	S	N	N

bién resulta de gran interés como técnica de análisis multitemporal.

Los cinco programas analizados permiten generar una tabla de color (LUT), lo que facilita al usuario controlar mejor la visualización de una imagen clasificada o de un índice de vegetación. En este punto, el más versátil es DRAGON, ya que los colores pueden seleccionarse interactivamente con ayuda de una paleta en pantalla. En el otro extremo se encuentra IDRISI, que precisa introducir un código numérico de tres cifras, para expresar la cantidad de rojo, verde y azul que se aplicará a un determinado color. También puede aumentarse esa cantidad mediante el teclado, interactivamente. El mecanismo para obtener la LUT, resulta en ocasiones engorroso pero sí muy conveniente para introducir algunas ideas sobre el proceso aditivo de formación del color.

En cuanto a utilidades para la clasificación, con la excepción de LANDSAT -además de BILKO que, insistimos, no cuenta con métodos de clasificación-, todos ofrecen apoyo gráfico a

la edición de estadísticas de entrenamiento. IDRISI permite realizar gráficos de separabilidad, mientras DRAGON facilita histogramas y admite la edición interactiva.

El análisis no supervisado aparece en IDRISI, RSVGA y DRAGON. Este último es el más versátil en lo que se refiere a parámetros de control, ofreciendo una variante del algoritmo ISODATA (Duda y Hart, 1973). Por su parte, RSVGA sólo admite la clasificación no supervisada sobre dos bandas, requiriendo del usuario la introducción de los centros de agrupamiento a partir de la visualización del diagrama bivariado.

Una vez obtenida la clasificación, resulta necesario generar una leyenda temática, con los colores apropiados al significado de cada categoría. Sólo DRAGON e IDRISI facilitan esta tarea. El primero, permite al usuario colocar la leyenda en el lugar más recomendable del mapa. El segundo, así como LANDSAT, sólo admite una posición fija para la leyenda.

La generación de salidas en papel, de cara a la

verificación de campo, resulta bastante versátil en el caso del programa DRAGON, que cuenta con una utilidad auxiliar para capturar las imágenes residentes en la memoria gráfica. Los ficheros resultado, con un formato gráfico estándar (.TIF) pueden imprimirse en cualquier impresora, bien directamente -a través de un programa auxiliar incluido con el software básico-, bien a través de otros programas gráficos de uso común en el mercado. Por su parte, IDRISI y RSVGA cuentan con opciones para imprimir en tonos de gris y en color, con apoyo de una HP Painjet. LANDSAT, sólo ofrece salidas con impresoras matriciales de bajo coste y calidad.

Un último aspecto de interés didáctico, recientemente incorporado a los equipos de tratamiento digital, es el que atañe a la verificación de las clasificaciones. RSVGA, IDRISI y DRAGON proporcionan herramientas para esta operación, generándose campos test de cobertura conocida en el terreno para elaborar posteriormente la matriz de confusión. En el caso de los dos últimos, los mismos programas facilitan la generación de dicha matriz, así como algunos estadísticos de asociación comunes en este campo (Kappa).

(iii) Operaciones accesorias

Identificamos aquí algunos procesos que pueden considerarse, en cierto modo, auxiliares del tratamiento de imagen en teledetección. El término refiere a algunas operaciones todavía poco empleadas en la interpretación: componentes principales, transformación IHS o análisis de textura, así como la conexión con información vectorial o con otros programas, como los de digitización o los S.I.G.

En este tipo de funciones, IDRISI resulta el programa más completo, pues incluye todas las operaciones menos el análisis de textura (tabla 3). Interesante, desde el punto de vista docente, es la capacidad de realizar perfiles radiométricos, a partir de vectores previamente digitizados sobre la imagen. DRAGON y BILKO también ofrecen esta posibilidad. Otra virtualidad de IDRISI es la introducción de correcciones radiométricas de la imagen (concretamente la corrección del bandeo) y la posibilidad de convertir la imagen a valores de radiancia. Resulta, asimismo, el más destacado en lo que se refiere al intercambio de información con otros programas.

Tabla 3
Funciones accesorias ofrecidas por los programas

	DRAGON	RSVGA	IDRISI	LANDSAT	BILKO
Análisis de Comp. Principales	S	S	S	N	N
Transformación IHS	N	N	S	N	N
Análisis de textura	N	N	N	N	S
Perfiles radiométricos	S	N	S	N	S
Polígonos/máscaras	S	N	S	N	S
Correcciones radiométricas	N	N	S	N	N
Filtros modales y medianos	N	N	S	N	S
Análisis de regresión	N	N	S	N	N

El único de los sistemas revisados que incorpora análisis de textura es BILKO, dentro de su menú de filtraje. Este programa resulta también bastante destacado en filtros no aritméticos, como modales o medianos, de gran interés en el tratamiento de imágenes rádar.

En resumen, en lo que atañe a las funciones que incorporan, los dos programas más sobresalientes son DRAGON e IDRISI. El primero destaca en todo lo que se refiere a calidad de visualización, mientras el segundo reúne algunas funciones de proceso bastante innovadoras, aunque presenta limitaciones para la visualización multibanda. RSVGA está a medio camino entre ambos, con buena calidad gráfica y abundantes operaciones de proceso, pero ofrece un entorno excesivamente cerrado. BILKO resulta idóneo para el tipo de aplicaciones para las que se ha diseñado, mientras LANDSAT, por su parte, se

limita a las operaciones más importantes en tratamiento de imagen.

Facilidad de manejo

Este término se refiere a la transparencia del programa ante el usuario novicio. Esto implica recoger una serie de rasgos que simplifiquen su utilización, de tal forma que el alumno pueda volcar más atención en los conceptos que en el manejo de los comandos. En este contexto pueden incluirse los procedimientos que emplea el programa para introducir los parámetros de cada opción, las ayudas que facilita, o la organización jerárquica de las funciones (tabla 4).

En lo que a estos aspectos se refiere, DRAGON resulta el programa más completo de los revisados. Incorpora un sistema jerárquico de menús, que facilita notablemente el desplaza-

Tabla 4
Criterios para evaluar la facilidad de manejo

	DRAGON	RSVGA	IDRISI	LANDSAT	BILKO
Sistema de menús	S	S	S	S	S
Ayudas en 'vivo'	S	N	N	S	S
Mensajes en español	S	N	N	N	N
Directorio de ficheros disponibles	S	N	N	S	N
Documentación de ficheros	S	S	S	S	N
Soporte del ratón electrónico	S	N	S	S	N
Mensajes de error	S	S	S	S	S
Comandos MS-DOS disponibles	S	N	S	N	S
Registro de los comandos usados	S	N	N	N	N
Calidad del manual	M.Buena	Discreta	Buena	Buena	Buena
Uso en modo comando	S	N	S	N	N

miento entre las distintas funciones, además de agruparlas en estructuras lógicas (menú de visualización, de realce, de clasificación, geométrico, y de manipulación de ficheros). Dentro de cada opción, se ofrece al usuario un panel con los argumentos que tiene que completar. La tecla F4 facilita ayuda sobre cada uno de ellos, así como una relación de los ficheros requeridos por ese programa que estén disponibles en el directorio activo. Esta ayuda también puede obtenerse en español. Por su parte, el programa LANDSAT resulta también de muy fácil manejo. El menú principal incluye diez opciones, accesibles con las teclas de función (F1 a F10), además de ofrecer unas instrucciones de empleo en cada una de ellas. Asimismo BILKO se encuentra estructurado en un sistema sencillo de menús, que cuentan en todo momento con una opción de ayuda.

En el extremo contrario, en cuanto a facilidad de manejo, se sitúa el programa RSVGA, diseñado también con un sistema de menús, pero muy poco intuitivo y con pocos mensajes de ayuda. IDRISI está programado como un conjunto de programas independientes. En las últimas versiones se ha añadido un menú central, aunque no bien estructurado. En el caso de ambos programas, no se indican ayudas 'en directo' para las distintas opciones, y no está bien resuelta la resolución de los frecuentes errores que puede cometer un usuario poco experimentado.

Para los intérpretes más avezados, DRAGON e IDRISI ofrecen la posibilidad de ejecutar algunas tareas en modo comando, lo cual simplifica el proceso en caso de requerirse operaciones repetitivas. En el marco docente, esta opción resulta de interés para que el profesor pueda preparar sesiones de demostración y ejercicios prácticos. Estos dos programas también soportan el uso del ratón electrónico, lo que facilita notablemente la obtención de coordenadas y valores digitales en pantalla, así como la digitización de

vectores de referencia o de campos de entrenamiento. El resto de los programas utilizan las teclas del cursor para estas funciones.

La documentación que acompaña a estos programas es muy desigual. El mejor manual, sin duda, es el de DRAGON, que explica con detalle los fundamentos de las diversas operaciones y los distintos modos de abordarlas. Asimismo, facilita información sobre la estructura de los ficheros a los que accede el programa. Los manuales de IDRISI o RSVGA dan más cosas por supuestas, y se limitan a explicar el modo de operación de cada comando. Los correspondientes a BILKO y LANDSAT son bastante reducidos; el primero, mas que un manual propiamente dicho, es un cuaderno de ejercicios sobre aplicaciones oceanográficas realizadas con este programa.

Calidad de la visualización

Como antes indicamos, todos los programas se apoyan sobre tarjetas gráficas de bajo coste. Esto implica, necesariamente, una visualización de discreta calidad (tabla 5), especialmente si lo comparamos con los sistemas de tratamiento digital más tradicionales.

No obstante, el gran desarrollo de los algoritmos de compactación está facilitando visualizaciones de gran calidad, reduciendo los 24 bits de una composición multibanda a un rango máximo de 8 bits (Muller, 1988; Baudot, 1990). Sobre este tipo de procesos puede obtenerse una visualización bastante digna a partir de tarjetas gráficas VGA, utilizando técnicas de dithering, que permiten visualizar hasta 320 x 200 pixels con 256 colores.

Estos principios se han empleado por los diseñadores de los programas DRAGON y RSVGA, que ofrecen composiciones multispectrales de buena apariencia visual. Debido a limitación de

Tabla 5
Opciones para la visualización

	DRAGON	RSVGA	IDRISI	LANDSAT	BILKO
1 Banda (alta resol.)	640 x 400 x 16	512 x 512 x 16	640 x 400 x 16	320 x 160 x 13	640 x 400 x 16
1 Banda (baja resol.)	320 x 200 x 64	320 x 200 x 64	ND	ND	ND
3 Bandas (alta resol.)	640 x 400 x 16	320 x 200 x 64	640 x 400 x 16	320 x 160 x 132	ND
3 Bandas (baja resol.)	320 x 200 x 256	ND	ND	ND	ND

la memoria gráfica, el programa RSVGA no admite la visualización multibanda cuando se realiza alguna otra operación sobre la imagen, como tomar coordenadas o delimitar campos de entrenamiento. Esto reduce notablemente su aplicación práctica. Por su parte, LANDSAT presenta una visualización multibanda para un área muy limitada (320 x 160 pixels y 132 colores), mientras IDRISI no permite una verdadera composición de tres bandas, realizándose la visualización en dos fases: en la primera se compactan las tres bandas a una sola mediante algoritmos de *clustering*, y en la segunda se genera una paleta de color que, en dieciséis tonalidades intenta aproximarse a la variación original de las tres bandas.

En lo que se refiere a imágenes monobanda, DRAGON, BILKO y RSVGA presentan un máximo de 64 niveles de gris (para visualizar un área de 320 x 200 pixels), o 16 niveles sobre áreas más grandes (640 x 400). Esta es la única opción disponible en IDRISI.

Calidad de las salidas en papel

Si bien en un contexto docente la obtención de copias en papel no resulta tan vital como en otros marcos, su presencia es de gran ayuda a la enseñanza de estas técnicas, especialmente en lo que se refiere a las tareas de comprobación en el

campo. Al tratarse de periféricos de bajo coste, la calidad de estos productos es bastante discreta.

LANDSAT sólo admite volcar la imagen a una impresora matricial. Pueden obtenerse imágenes en tonos de gris (13) o clasificaciones; éstas con una trama arbitraria.

IDRISI y RSVGA también soportan una impresora de inyección de tinta (HP Painjet), tanto en visualizaciones multibanda como en clasificaciones. El primero también puede volcar la información a diversas impresoras matriciales o láser.

De nuevo, el más versátil en este terreno es el programa DRAGON, que permite obtener copias en papel para impresoras matriciales, láser y de inyección de tinta. La impresión no es directa, sino que se basa en dos programas de utilidades: uno para la captura de la imagen visualizada y otro para su impresión. Al generar el primero un fichero en formato TIF, puede incorporarse a otros programas (como Pagemaker, Ventura o Wordperfect), aprovechando las opciones de impresión que éstos brinden.

Limitaciones en la clasificación

En función de la memoria disponible los programas presentan una serie de limitaciones en la clasificación de una imagen multibanda. Los máximos son:

- . 16 clases sobre 4 bandas para el programa DRAGON,

- . 15 clases y 8 bandas para el RSVGA,

- . 6 clases, 7 bandas para el LANDSAT,

- . IDRISI no limita el número de clases ni el de bandas.

En la clasificación no supervisada, RSVGA sólo puede trabajar con dos bandas y DRAGON con un máximo de cuatro, también sobre 16 clases.

La explicación de estas diferencias, bien puede explicarse por la 'filosofía' presente en el diseño de estos programas. Mientras IDRISI es un software ideado para procesar distintos tipos de información geográfica, DRAGON o RSVGA están pensados exclusivamente para tratamiento de imagen. En consecuencia, el primero realiza la mayor parte de las operaciones en disco, siendo mucho más flexible para trabajar sobre volúmenes amplios de datos. Por su parte, DRAGON y RSVGA están limitados por la memoria gráfica disponible. Esta limitación puede resultar más severa en el caso del DRAGON, al permitir sólo el proceso sobre cuatro bandas. En lo que se refiere al número de clases, el máximo de seis en el LANDSAT resulta muy reducido, al menos en enseñanza especializada, mientras el resto no ofrece grandes inconvenientes.

Exportación/importación de archivos

Los programas IDRISI y DRAGON son los más versátiles en este aspecto. El primero cuenta con una serie de rutinas para importar y exportar ficheros a programas muy diversos (ERDAS, GRASS, MAP, Arc/Info, Autocad, Odyssey, etc.). Recoge, asimismo, rutinas para transformar el formato de almacenamiento de los datos: admite ficheros ASCII, binarios, y binarios empaquetados, mientras los valores pueden expresarse

en byte, enteros y reales. Esto último resulta de bastante interés para una mejor comprensión de los índices de vegetación, ya que almacena los resultados brutos, sin necesidad de convertirlos a un código entero entre 0 y 255.

DRAGON, por su parte, incluye un programa de utilidades, denominado FCONVERT que permite importar imágenes en diversos formatos: ERDAS, IDRISI, NOAA, Binario y TIF, éste último para la lectura por *scanner*. La exportación de los resultados puede hacerse a partir de una serie de utilidades accesorias, no incluidas en el precio base. No obstante, los autores facilitan la estructura de los ficheros, por lo que su acceso a otros programas no resulta muy complicado.

LANDSAT acepta imágenes en formato byte/binario, y requiere editar un fichero en ASCII para su identificación. Por último, RSVGA también admite este formato, además del que utiliza EOSAT para la distribución de sus imágenes en disquete. Las posibilidades de exportación son muy reducidas.

De estos programas, el único que incluye funciones propias de un Sistema de Información Geográfica (superposición, cálculo de distancias, superposiciones, tabulaciones cruzadas, etc.) es el programa IDRISI. De hecho, éste es su principal papel, quedando en un segundo plano el tratamiento digital de imágenes.

Limitaciones en el tamaño de la imagen

En este aspecto, el programa más limitado es DRAGON, que sólo admite áreas de 512 x 512 ó 640 x 400 pixels, ya que todo el proceso se realiza en la memoria gráfica de la tarjeta. Por su parte LANDSAT, BILKO. RSVGA e IDRISI pueden trabajar con imágenes tan grandes como permita el espacio disponible en disco, aunque los tres primeros limitan el área visualizada a la

resolución de la pantalla, pues no cuentan con posibilidades de muestrear la información.

CONCLUSIONES

Tras la revisión de estos cinco programas, queda patente la posibilidad e interés de utilizar ordenadores personales en la enseñanza del tratamiento de imágenes en teledetección. Los programas desarrollados para este tipo de sistemas proporcionan, a bajo coste, una amplia gama de operaciones, además de ser de fácil manejo. Entre los programas revisados, DRAGON ofrece las mejores prestaciones, si bien al mayor coste. LANDSAT es el más económico y fácil de utilizar. BILKO resulta idóneo para la enseñanza en el contexto oceanográfico, pero está bastante limitado en otro tipo de aplicaciones. IDRISI implica una magnífica relación entre calidad y precio, con perfecta conexión con los S.I.G. RSVGA, por su parte, ocupa una posición intermedia, en coste y posibilidades, con algunas carencias importantes en cuanto a documentación y manejo de ficheros.

AGRADECIMIENTOS

Los programas VICAR y MIPS fueron remitidos al autor de este trabajo por sus respectivos autores. Agradezco sinceramente la atención de los profesores Vaughan y Mather, respectivamente.

REFERENCIAS

Baudot, Y. (1990): «Integration of high-quality remote sensing images with low-cost geographical information systems», en *I European Conference on Geographical Information Systems*, Utrecht, 40-46.

Bishop, M.P. (1989): «Software integration in remote sensing education», en *Current Trends in Remote Sensing Education*, M.D. Nellis, R. Lougeay y K. Lulla (Eds), Hong-Kong, Geocarto International Centre, 47-54.

Chuvienco, E. (1991): «Software de bajo coste para el tratamiento de imágenes en un contexto docente», *IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*, Sevilla (en prensa).

Duda, R.D. y Hart, P.E. (1973): *Pattern Classification and Scene Analysis*, New York, John Wiley and Sons.

Ferns, D.C. y Press, N.P. (1988): «Microcomputers and mass storages devices for image processing», en *Digital Image Processing in Remote Sensing*, J.P.Muller (Ed.), London, Taylor and Francis, 105-121.

Gómez, L. y Lago, A. (1986): «Parámetros a evaluar en un sistema de procesado digital de imágenes», en *I Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección*, Barcelona, 427-438.

Harrington, J.A. (1986): «The Digital Image Analysis System DIAS. Microcomputer software for remote sensing education», *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52, 545-550.

Hoey, M., Whelan, D. y Folving, S. (1991): «A PC based Geographical Information System than integrates data, map data and attribute data», en *II European Conference on Geographical Information Systems*, Brussels, 469-476.

Kiefer, R.W. y Gunther, F.J. (1983): «Digital image processing using the Apple II microcomputer», *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49, 1167-74.

Kovalick, W.M., Newcomer, J.A. y Wharton, S.W. (1987): «A methodology for evaluation of an interactive multispectral image processing system», *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53, 1087-92.

Muller, J.P. (1988): «Computing issues in digital image processing in remote sensing», en *Digital Image Processing in Remote Sensing*, J.P.Muller (Ed.), London, Taylor and Francis, 1-20.

Vaughan, R.A. (1991): «Educational image processing packages», *International Journal of Remote Sensing*, 12, 611-620.