

TELEDETECCION Y S.I.G.: ¿TECNICAS PARALELAS O CONVERGENTES?

Emilio CHUVIECO

**Departamento de Geografía
Universidad de Alcalá de Henares
Calle Colegios, 2
E-28801 Alcalá de Henares-Madrid**

1. INTRODUCCION

Los problemas medio-ambientales que sufre nuestro Planeta se muestran cada día más cercanos al hombre de la calle. Se busca con ahínco un modelo de desarrollo más armónico, donde la Naturaleza sea, a la vez, fuente de recursos y lugar de esparcimiento, donde la Humanidad aprenda lecciones de equilibrio y amor a lo Bello. Fenómenos como la lluvia ácida, la destrucción del bosque tropical o los procesos de desertización amenazan esta nueva consideración ecológica pero, al mismo tiempo, están catalizando buena parte de la investigación aplicada en las ciencias de la Tierra.

Este esfuerzo pasa por una renovación técnica y metodológica. Las nuevas herramientas que brinda la denominada 'revolución informática', exigen un gran esfuerzo de dinamismo e integración, que nos permita aprovechar la vasta cantidad de información que recibimos, asumirla correctamente y volcarla en un diagnóstico y previsión más certeros.

Entre estas nuevas herramientas, la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica surgen como alternativas, casi imprescindibles, a los métodos tradicionales de recogida y proceso de información

espacial. La primera técnica brinda una rápida evaluación de fenómenos medio-ambientales de gran radio de cobertura, desde problemas de contaminación marina, hasta detección de yacimientos o inventario de incendios forestales. En cuanto a los S.I.G., permiten abordar la tarea de integración entre muy diversas variables de componente espacial. Se pretende en este texto reflexionar sobre los puntos particulares y comunes de ambas técnicas, mostrando el interés de un uso combinado para obtener un beneficio mutuo.

2. PARALELISMO y CONVERGENCIA

Podemos afirmar que el origen de la Teledetección y los S.I.G. es paralelo. En otras palabras, ambas técnicas surgen como disciplinas independientes, sólo unidas por su orientación medio-ambiental (fig. 1a). El primer S.I.G., diseñado en Canadá en los años 60, pretendía facilitar la labor de conservación de los ingentes recursos de que dispone ese país. Sin embargo, se dirigía más hacia el análisis que hacia la recogida de información espacial, que se suponía disponibles por otras fuentes convencionales. Esta dimensión cartográfica de los S.I.G. se refuerza en los años setenta, especialmente a través del trabajo del *Laboratory for Computer Graphics* de la Universidad de Harvard, que pretendía resolver los problemas de geometría computacional implicados en el proceso de esta información cartográfica.

Por otro lado, la Teledetección se considera en los años sesenta como una fuente más de información medio-ambiental, considerada en sí misma y no en su conexión con otras variables espaciales. Se pretendía facilitar una cartografía e inventario de algún fenómeno de interés, culminando el trabajo con la obtención de dichos resultados. En gran medida esta actitud se explica por la gran complejidad de los procesos de

obtención y tratamiento de las imágenes, que requiere una dedicación intensa y, en consecuencia, una creciente especialización.

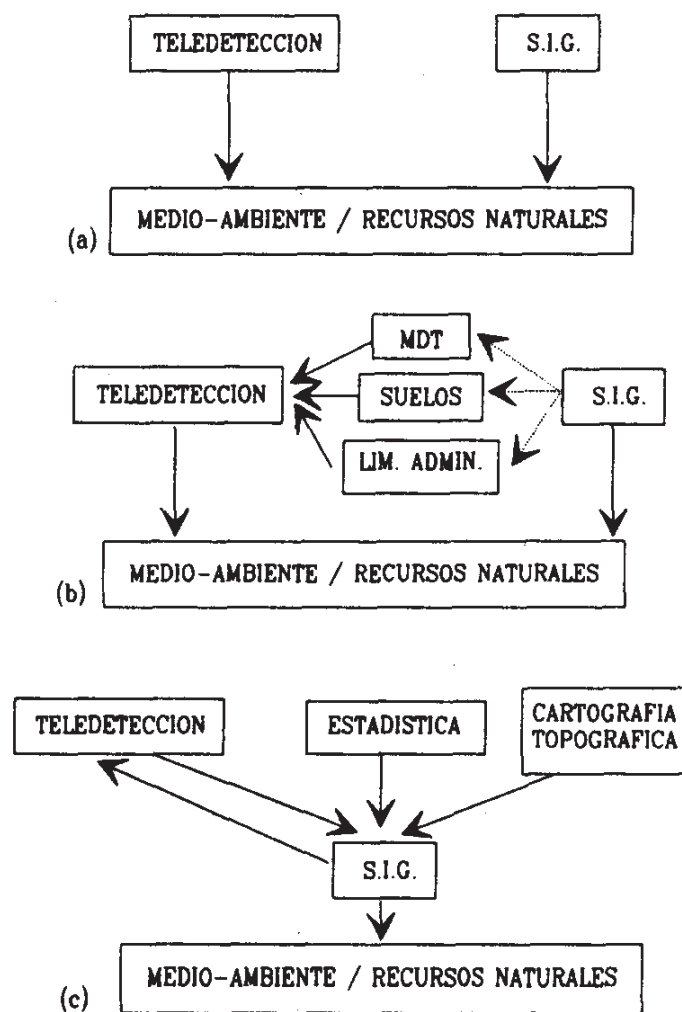


Fig. 1 - Relaciones entre Teledetección y S.I.G.

Ahora bien, el propio desarrollo de esas técnicas de interpretación, especialmente a partir de 1972 cuando se comienzan a difundir imágenes digitales (del satélite Landsat), permite ampliar ese planteamiento. El análisis visual de la fotografía aérea resultaba un fin en sí mismo, puesto que el documento final se presentaba en un soporte rígido. Con el creciente empleo de los ordenadores, el proceso digital de imágenes permitió abordar la convergencia con otras variables (fig. 1b). En un primer momento, esta integración se contempla como apoyo a la clasificación digital (Strahler y Logan, 1978), por lo que se acude a variables temáticas que complementen la dimensión espectral incluida en las imágenes.

Un paso más allá vendría dado por considerar la teledetección como auxiliar de un S.I.G., sirviendo como una fuente mas de información para un estudio integrado sobre el territorio (fig. 1c). Algunas áreas de aplicación donde este planteamiento es más evidente son el manejo de recursos forestales (Martin, 1985), agrarios (Wheeler y Ridd, 1985), y los sistemas de prevención de incendios forestales (Cosentino et al, 1981; Chuvieco y Congalton, 1989).

En definitiva, se produce una creciente convergencia entre las dos técnicas, justificada, entre otras, por las siguientes razones: (i) ambas poseen una clara orientación espacial, en el sentido más amplio del término, (ii) cuentan con similares requerimientos, tanto en *hardware* como en *software*, y (iii) se desarrollan por y para el mismo tipo de profesionales. A continuación se exploran con más detalle estos puntos de convergencia.

3. REQUISITOS TECNICOS COMUNES

Tanto la teledetección como los S.I.G. requieren unos equipos físicos especializados en el manejo de información espacial, así como una serie de programas que, conectados con aquellos, permitan realizar múltiples transformaciones de datos.

Las piezas básicas de este esquema son tres (fig. 2): (i) ordenador soporte, (ii) unidades de almacenamiento y (iii) periféricos de entrada y salida. El primero de ellos es común al proceso de datos en teledetección y S.I.G., recomendándose que sea suficientemente potente como para procesar la gran cantidad de información que ambas técnicas manejan. De igual forma, éstas requieren una amplia capacidad de almacenamiento, principalmente en discos magnéticos y ópticos. En cuanto al tercer aspecto, los periféricos, admitan una mayor peculiaridad. Si el S.I.G. almacena y procesa los datos en formato teselar o raster (Cebrián y Mark, 1987), los periféricos son comunes al tratamiento digital de imágenes: rastreador electrónico (*scanner*), digitizador, ratón o *joystick*, e impresoras "de barrido" (matriciales, de inyección de tinta o electrostáticas). Por el contrario, si el S.I.G. procesa información vectorial, se requiere un instrumento de salida que sea capaz de recorrer automáticamente líneas, caso del trazador gráfico (*plotter*), que no tiene aplicación en tratamiento de imágenes.

Respecto al *software*, las diferencias son mayores que las afinidades, en función del tipo de procesos que ambas técnicas persiguen. De nuevo conviene matizar entre los S.I.G. vectoriales y raster. Ambos cuentan con procesos muy similares a los aplicados en teledetección: visualización, correcciones geométricas, superposición de capas, operaciones aritméticas o filtrajes. Ahora

bien, la forma concreta de resolver estos procesos es muy distinta si se aborda un sistema vectorial o raster. El primero requiere una geometría computacional bastante compleja, ya que precisa una definición topológica de cada una de las transformaciones. Por su parte el sistema raster está muy cercano a la estructura de una imagen digital, con la sólo variante de que ésta es una variable de tono continuo, mientras las almacenadas en un S.I.G. son normalmente nominales (información categorizada). Por esta razón, algunos procesos son muy particulares de cada técnica, como es el caso de la clasificación, aplicable sólo a variables de intervalo.

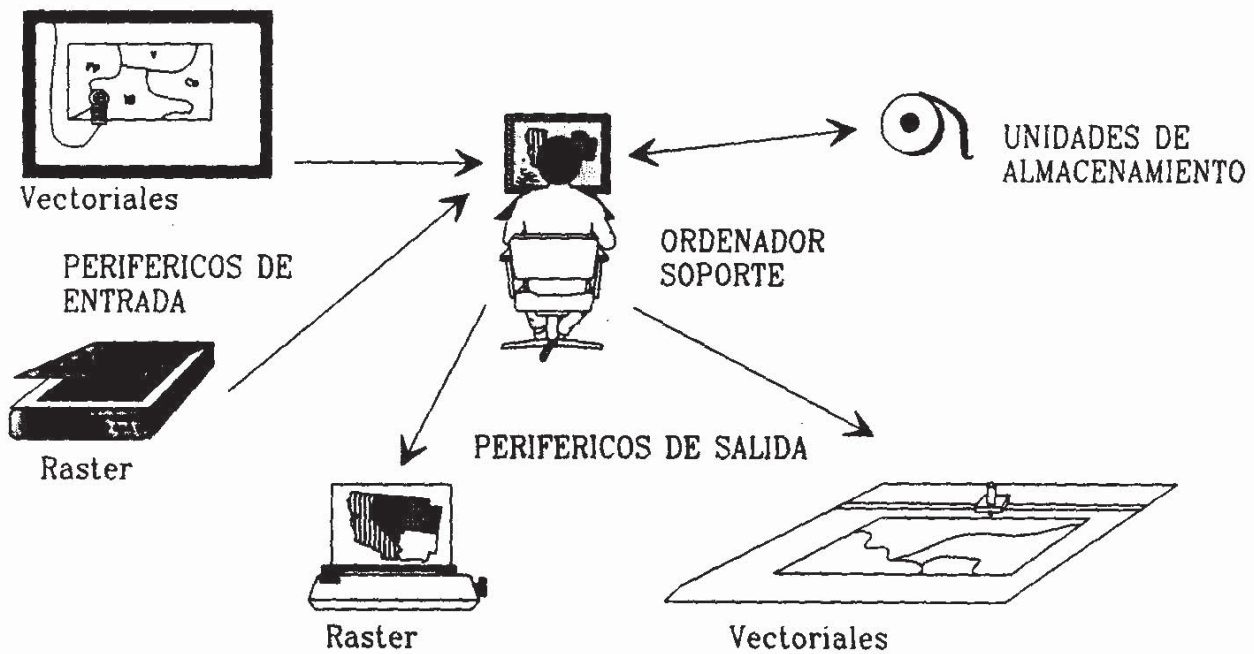


Fig. 2 - Componentes de un equipo de Teledetección y S.I.G.

4. LA TELEDETECCION AL SERVICIO DE LOS S.I.G.

Resulta generalmente admitido que la fase más lenta y costosa en el diseño de un S.I.G. es la introducción de datos. La calidad de uno de estos sistemas no depende, obviamente, de la potencia de los algoritmos y equipos que lo sustentan, sino fundamentalmente de la exactitud y variedad de la información que contiene. De nada serviría un S.I.G. muy sofisticado si no incorporara información precisa y actualizada. Esto requiere una ingente labor de introducción de datos, que pasa por la búsqueda-recopilación, conversión a formato digital, corrección de errores, y registro a un sistema de referencia común.

En este punto, conviene considerar que la mayor parte de los países del mundo no cuentan con cartografía digital: toda la información geográfica disponible está constituida por mapas en papel, de distintas escalas y proyecciones. La digitización de esta cartografía es una labor ardua y no exenta de problemas, tanto técnicos como económicos. Existen diversos métodos para convertir estos mapas a formato numérico, pero ninguno, hoy por hoy, es completamente satisfactorio. La codificación manual es lenta y tediosa; prácticamente nunca representa una solución operativa. El empleo de una mesa de digitización facilita la obtención automática de coordenadas, pero también resulta un proceso lento y laborioso, que requiere una detallada depuración de errores. La digitización automática mediante *scanner*, es el recurso más habitual para organismos cartográficos de gran calibre. Sin embargo, precisa un importante trabajo de edición para pulir posibles errores en la codificación de líneas o en la formación de la topología del mapa. Por último, las cámaras de video o los

restituidores digitales, pueden cumplir misiones específicas, por ejemplo en la obtención del modelo digital del terreno, pero no resuelven otros problemas.

Además de la lentitud y elevado coste del proceso, la entrada de información en un S.I.G. no está exenta de errores. Las causas más importantes de estos defectos son: (i) el desfase temporal entre la fecha de obtención del documento y su almacenamiento en el sistema, (ii) las inexactitudes en la digitización (polígonos mal etiquetados, desplazamiento de líneas, generalización de elementos), y (iii) la falta de criterios homogéneos entre las personas que compilan la información base.

En consecuencia, no se trata de introducir indiscriminadamente la cartografía disponible, sino de seleccionar la más precisa y duradera, confiando a otros métodos la obtención de nuevas variables o la actualización de las existentes. En este contexto puede enmarcarse el aporte que la teledetección brinda a esta nueva tecnología. La capacidad de obtener documentos temáticos, a bajo coste y en un período de tiempo bastante cercano a la obtención de la imagen, contribuye a paliar dos problemas claves en cualquier S.I.G.: la entrada y la actualización de datos. Obvia decir que el mapa obtenido a través de teledetección no está exento de errores, y que, por tanto, éstos deben tenerse en cuenta para análisis posteriores con esa información. Ahora bien, cualquier tipo de cartografía incluye también errores, ya sean debidos a la interpretación, ya al desfase temporal entre la fecha de referencia y la de publicación del trabajo. Por ello, cualquier documento a introducir en un SIG debe incluir un proceso de depuración previo, que evite, o al menos reduzca, la entrada de información espúrea.

Esta conexión entre la teledetección y los SIG

puede llevarse a cabo de distintas formas (Campbell, 1987; fig. 3):

(i) Digitización de un mapa temático obtenido a partir de la interpretación visual de la imagen,

(ii) Digitización de un mapa temático obtenido a partir de la clasificación digital de la imagen.

(iii) Incorporar directamente el fichero generado por la clasificación digital de la imagen.

(iv) Incorporar al SIG los ND correspondientes a las bandas originales.

Resulta obvio que la tercera opción es la más conveniente, puesto que proporciona una variable temática al S.I.G. obviando la tarea de digitización. La clasificación digital de imágenes en teledetección permite generar un fichero numérico, en donde cada elemento de información (denominado pixel) cuenta con un valor entero que indica la categoría en la cual se incluyó. Por tratarse de una información digital, la integración en un S.I.G. no resulta muy problemática. No obstante, la forma concreta de llevar a cabo esta integración depende, primordialmente, de la estructura de almacenamiento del S.I.G. En el caso de una clasificación digital de las imágenes, el pixel puede considerarse como la unidad teselar, por lo que una imagen clasificada ofrece los mismos rasgos de un formato raster. En caso de contar con un sistema de estas características, la entrada de datos es inmediata, una vez que la imagen clasificada se ajusta al sistema de referencia elegido para el sistema (tipo de proyección y tamaño de la celdilla). En caso de trabajar con un S.I.G. de tipo vectorial es preciso abordar la conversión raster-vector. Algunos sistemas de tratamiento digital de imágenes incorporan este tipo de algoritmos, si bien,

suele tratarse de los equipos más costosos por la complejidad de los cálculos que esta operación implica. También existen algunos sistemas que incluyen este tipo de programas. En cualquier caso, previamente a la conversión de formato, conviene generalizar severamente la clasificación digital, suprimiendo unidades temáticas de muy pocos pixels.

En este supuesto, la teledetección se utilizaría para obtener una de las capas temáticas del S.I.G. También puede emplearse para actualizar información ya contenida en el sistema. Este es el caso, por ejemplo, de la puesta al día de la cartografía urbana, frecuentemente desfasada por el dinamismo de estas áreas. Alguno de los sistemas más recientes incluyen la posibilidad de superponer vectores incluidos en un S.I.G. sobre una imagen de satélite, lo que permite al operador actualizar las líneas que definan cualquier modificación directamente sobre el monitor gráfico.

5. LOS S.I.G. COMO APOYO A LA TELEDETECCION

Además de considerar el aporte de la teledetección a un S.I.G., resulta de especial interés analizar cómo las variables almacenadas en éste pueden mejorar la interpretación de la imagen.

Habitualmente la asignación de los pixels de una imagen se realiza sobre sus valores numéricos en cada una de las bandas sobre las que se esté trabajando. Por cuanto esos valores son una traducción digital de la intensidad de energía que recibió el sensor, para esa banda del espectro, esto equivale a clasificar únicamente sobre el tono de la imagen, dejando a un lado otros criterios de clasificación comunes en el análisis visual (Chuvienco, 1990). En muchas ocasiones esa limitación impide obtener resultados suficientemente

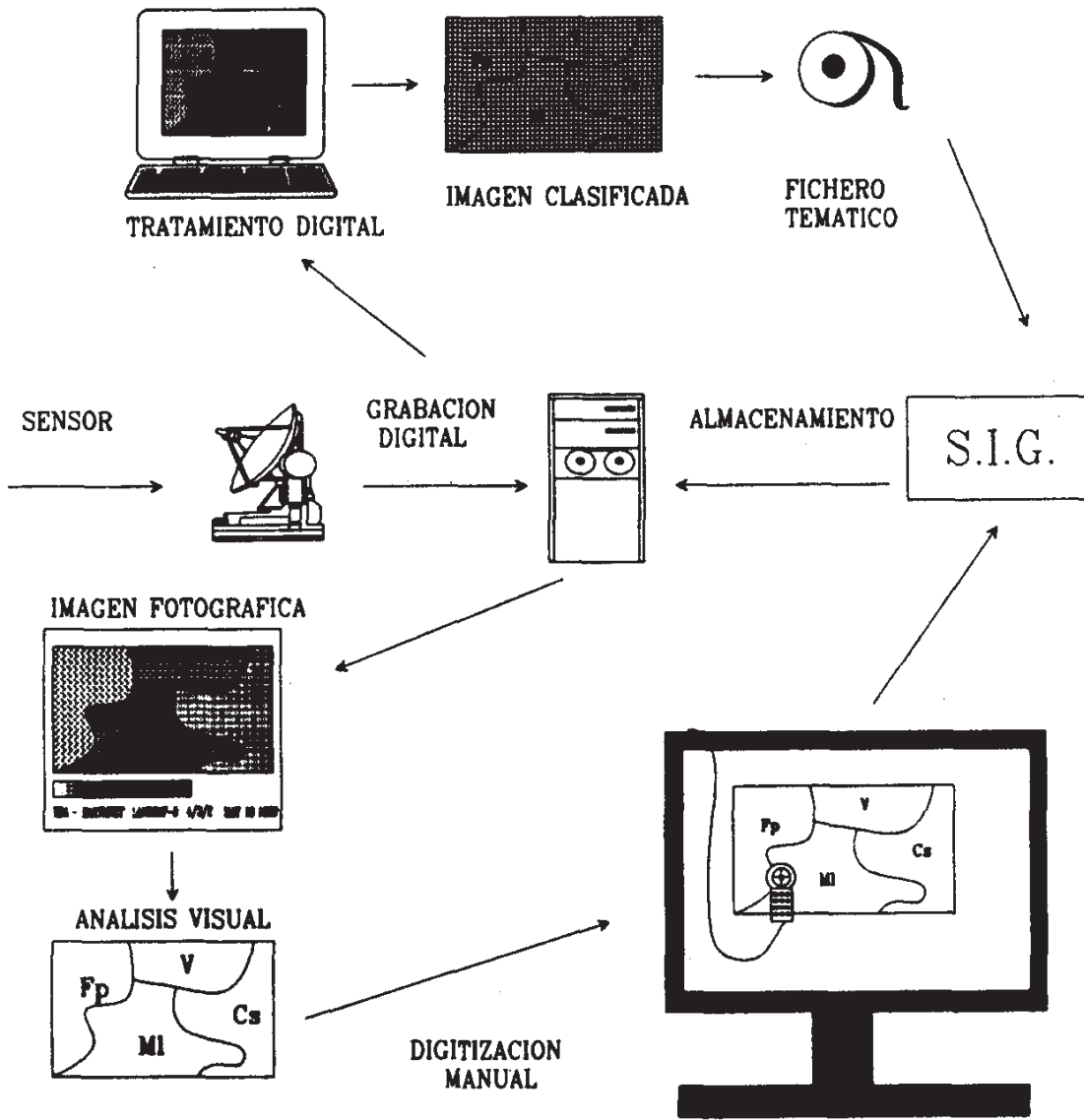


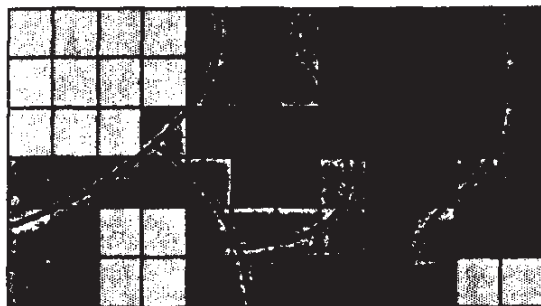
Fig. 3 - Conexión entre la Teledetección y los S.I.G.

certeros, por lo que tiende a completarse con otro tipo de información auxiliar. Una opción sería contar con imágenes adquiridas en otras fechas (dimensión multi-temporal); otra, contar con variables auxiliares, no adquiridas mediante teledetección. Por ejemplo, para discriminar olivares y viñedo resulta conveniente contar con información sobre el tipo de suelos donde se asientan, pues éstos serán un elemento clave en la señal detectada por el sensor. En el caso de las coníferas, su situación topográfica puede ser crucial para distinguir distintas especies, difícilmente discriminables sólo a partir de la información espectral que proporciona el sensor.

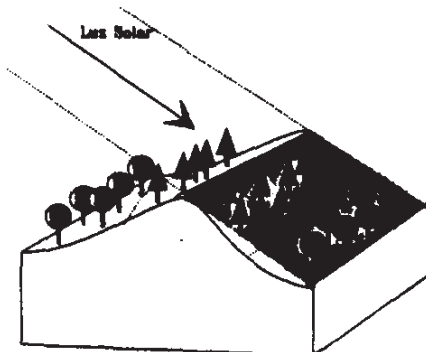
Esta información auxiliar, proveniente de un S.I.G., puede beneficiar a la clasificación de imágenes en varios contextos (fig. 4):

(i) Previamente a la clasificación, para estratificar la imagen, de acuerdo a rasgos fisiográficos homogéneos. Esto permite reducir la varianza espectral de las categorías que pretenden discriminarse, facilitando así su identificación (Núñez et al, 1983).

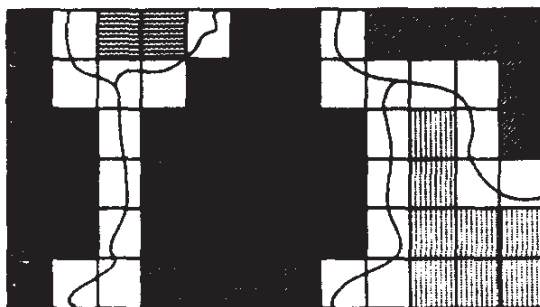
(ii) Dentro de la clasificación, también pueden introducirse variables auxiliares, combinadas con las imágenes originales, con objeto de aportar una dimensión no-espectral a la discriminación de cubiertas. El caso más evidente atañe a las características morfológicas del terreno, que introducen una modificación importante en la respuesta espectral característica de cada cubierta: pendiente y exposición. Gracias a los modelos digitales del terreno puede corregirse buena parte de esta influencia, obteniéndose resultados mucho más precisos que sobre el tratamiento único de la imagen (Franklin et al, 1986).



ESTRATIFICACION DE LA IMAGEN



EFFECTOS DE ILUMINACION



PIXELS DE BORDE

Fig. 4 - Aportación de los S.I.G. a la interpretación de imágenes

(iii) Después de la clasificación, las variables auxiliares pueden servir para re-clasificar algunas categorías en caso de que no sean discriminables sólo a partir de información espectral (Hutchinson, 1982). Por ejemplo, si pretenden discriminarse parques urbanos de superficies regadas, o árboles de ribera, es preciso acudir al criterio de emplazamiento, ya que espectralmente ambas categorías son muy similares puesto que de hecho están compuestas por las mismas o similares especies. Basta, en este sentido, introducir una variable auxiliar -perímetro de las áreas edificadas- para que la identificación sea certera. Otro aspecto de gran interés hace referencia al error de frontera, frecuentemente encontrado en áreas de transición en donde la definición de un pixel puede resultar ambigua, ya que, de hecho, corresponde a la respuesta espectral de dos o más cubiertas distintas. Un procedimiento para reducir la influencia de este error sería incluir, desde un S.I.G., los bordes que definen las distintas parcelas, modificando la pertenencia de los pixels situados en esos límites (Mather, 1990).

(iv) Un último aspecto que puede considerarse hace referencia a la visualización de resultados. La integración de la teledetección y los S.I.G., permite ampliar notablemente las posibilidades gráficas de la cartografía convencional, facilitando su análisis visual al público profano. Algunas experiencias en esta línea son la realización de perspectivas tri-dimensionales, a partir de una imagen original o clasificada y de un modelo digital del terreno, o la animación informática de paisajes.

6. UNA CONEXION NECESARIA

La principal conclusión que puede desprenderse de estos comentarios, hace referencia al uso combinado de la teledetección y los S.I.G. Independientemente de los

problemas que pueda traer consigo, la conexión entre ambas técnicas supone beneficios comunes para un mejor conocimiento y conservación de nuestro medio-ambiente. La teledetección, por un lado, aporta una información muy valiosa a un S.I.G., por cuanto está actualizada y en formato fácilmente conectable con el sistema. Por su parte, un S.I.G. permite refinar los resultados de la interpretación de imágenes o de la visualización de resultados.

7. REFERENCIAS

CAMPBELL, J.B. (1987): *Introduction to Remote Sensing*, The Guilford Press, New York.

CEBRIAN, J.A. Y MARK, D. (1987): Gestión y perspectivas de desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica, *Estudios Geográficos*, vol. 48, pp. 359-378.

CHUVIECO, E. Y CONGALTON, R.G. (1989): Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping, *Remote Sensing of Environment*, vol. 29, pp. 147-159.

CHUVIECO, E. (1990): *Fundamentos de Teledetección Espacial*, Rialp, Madrid.

COSENTINO, M.J., WOODCOCK, C.E. Y FRANKLIN, J. (1981): Scene analysis for wildland fire-fuel characteristics in a Mediterranean climate, en *Proc. 15th Inter. Symp. on Remote Sensing of Environment*, Ann Arbor, pp. 635-646.

FRANKLIN, J. (1986): Coniferous forest classification and inventory using Landsat and digital terrain data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. GE24, pp. 139-149.

HUTCHINSON, C.F. (1982): Techniques for combining Landsat and ancillary data for digital classification improvement, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 48, pp. 123-130.

MARTIN, F.C. (1985): Using a geographic information system for forest land mapping and management, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 51, pp. 1753-1759.

MATHER, P.M. (1990): Remote Sensing and G.I.S.: A necessary connection, en *Aplicación de Nuevas Tecnologías al Tratamiento de Información Geográfica*, Curso de Verano - Universidad de Alcalá, Sigüenza.

NUÑEZ, R., E.CHUVIECO, J.SANCHO, F.PALOU Y J.M.CASAS (1983): Mapa de Usos del Suelo de la Región Central. Estudio piloto sobre la aplicación del tratamiento digital de imágenes Landsat a la confección de mapas de usos del suelo, *Geographica*, vol. 25, pp. 61-78.

STRAHLER, A.H. Y LOGAN, T.L. (1978): Improving forest cover classification accuracy from Landsat by incorporating topographic information, en *Proc. 12th Intern. Symp. Rem. Sens. and Environment*, Ann Arbor, pp. 927-942.

WHEELER, D.J. Y RIDD, M.K. (1985): A geographic information system for resource managers based on multi-level remote sensing data, *ASP 51st Annual Meeting. Technical Papers*, vol. 2, pp. 528-537.