

# APLICACIONES DE LA TELEDETECCION EN ARQUEOLOGIA. UNA REVISION CRITICA

Remote sensing in Archaeology. A critical review

ANTONIO M. MONTUFO MARTIN \*

BIBLID [0211-3228(1991-92); 16-17; 425-451]

**RESUMEN** El objetivo de este trabajo es presentar las principales líneas de aplicación de la teledetección en arqueología, para lo cual se exponen los fundamentos de la teledetección y el análisis digital de imágenes así como una revisión de las principales aplicaciones desarrolladas hasta el momento, para concluir planteando las limitaciones, posibilidades y estrategias de empleo de las diversas técnicas de teledetección en arqueología. Las técnicas de teledetección más tradicionales como la fotografía aérea se emplean de forma común en arqueología, mientras que la aplicación de otras más novedosas como la teledetección multispectral, la teledetección mediante satélites y el análisis digital de imágenes están siendo desarrolladas desde finales de los años 70 y fundamentalmente los 80. Las diversas técnicas de teledetección permiten la obtención de imágenes aplicables a investigaciones arqueológicas que van desde las escalas micro y semi-micro a escalas regionales.

**Palabras clave:** Teledetección, espectro electro-magnético, análisis digital de imágenes, escala micro, escala macro, áreas fisiográficas, matriz ambiental, Arqueología territorial.

**ABSTRACT** The aim of this survey focuses on the main outlines about remote sensing applications in Archaeology. The basis of remote sensing and digital image processing are presented as well as a review about the main applications developed up to now. It concludes setting up the limitations, possibilities and strategies using the different remote sensing techniques in Archaeology. The more traditional remote sensing techniques such as aerial photography are more commonly used in Archaeology while the application of other newer ones such as multispectral remote sensing, satellite remote sensing and digital image processing are being developed since the late 70's and mainly during the 80's. The different remote sensing techniques, allow obtaining images applicable to archaeological research from micro and semi-micro scale to regional scale.

**Key words:** Remote Sensing, Electromagnetic Spectrum, Digital Image Processing, Micro and Macro Scales, Physiographic Areas, Environmental Matrix, Territorial Archaeology.

---

\* Dep. de Prehistoria y Arqueología. Grupo de Investigación 5.100 (GEPRAN). Universidad de Granada.

Aunque ya se habían venido desarrollando trabajos de carácter espacial en arqueología desde los años 20, fue el cambio paradigmático que supuso la *New Archaeology* americana el responsable del auge que cobraron los estudios espaciales a partir de los años 70. La organización espacial de las sociedades del pasado, plasmada en unos determinados patrones de asentamiento, pasó a concebirse como uno de los indicadores más claros e importantes a la hora de evaluar el nivel de desarrollo socio-económico y de integración política de esas sociedades. La importancia concedida a los estudios de arqueología territorial quedó plasmada en la aparición de una abundante bibliografía dedicada al tema (por citar las dos obras generales más difundidas: Hodder y Orton, 1976; Clarke, 1977). En gran parte se tomaban las técnicas de análisis desarrolladas por la geografía locacional (Hagget, 1976), otras fueron diseñadas específicamente para resolver problemáticas arqueológicas (*Site Catchment Analysis*: Vita-Finzi y Higgs, 1970).

El progresivo desarrollo de esta línea de investigación vio cómo se incorporaban nuevas técnicas entre las que se encontraba la teledetección. Las aplicaciones de la teledetección en arqueología han experimentado un notable auge en los años 80, sobre todo en Estados Unidos, donde en el campo de la arqueología de gestión se han desarrollado numerosos ejemplos que enfatizan el potencial que presenta la teledetección en la arqueología territorial; asimismo, la teledetección comienza a ser un tema de debate en la arqueología española, de forma que ya se han celebrado diversas ediciones de las *Jornadas sobre Teledetección y Geofísica aplicadas en Arqueología* (Madrid, 1986, Mérida, 1987, Aveiro, 1989 y Huelva, 1991), aunque por el momento los trabajos dedicados a teledetección suponen sólo la mínima parte de las comunicaciones presentadas a dichas jornadas (por ejemplo, de los 26 trabajos publicados hasta ahora sólo 4 corresponden a teledetección y se limitan a una aplicación clásica de la fotografía aérea: Hernández, 1992).

El objetivo de este trabajo es el de llenar en parte ese vacío repasando las posibilidades que presenta la aplicación de la teledetección en arqueología, para lo cual presentaremos los fundamentos de esta técnica así como una revisión de las principales aplicaciones arqueológicas desarrolladas hasta ahora.

## FUNDAMENTOS DE TELEDETECCION

El término *teledetección* (el único manual en castellano es Chuvieco, 1990) es la traducción latina del concepto inglés de *remote sensing* (entre los manuales: Campbell, 1987; Colwell, 1983; Lillesand & Kiefer, 1987), ideado a principios de los 60 para designar un conjunto de técnicas y métodos de observación remota que permiten la obtención de información sobre fenómenos a través de sensores que no están en contacto directo con aquéllos.

De una forma más concreta, podríamos decir que la teledetección implica el registro de la interacción entre la superficie terrestre y la energía electromagnética y el procesamiento de dicha interacción para obtener información sobre objetos o fenómenos de la superficie terrestre. La forma más común de teledetección es la fotografía aérea, cuya resolución espectral está limitada a la radiación electromagnética visible, pero se han desarrollado toda una serie de sensores que permiten registrar dicha radiación en las regiones no

visibles del espectro. Paralelamente, dichos sensores se han situado en plataformas orbitales alrededor del planeta, consiguiéndose incrementar de esta forma el campo visual cubierto por los sensores.

La metodología de análisis de los datos de teledetección tiene que incluir una serie de etapas (fig. 1) que incluyen la adquisición de las imágenes y de toda la información adicional no proporcionada por teledetección que sea útil para identificar las cubiertas observadas, el tratamiento y análisis de las imágenes, tanto de forma manual como digital, la fase de interpretación y clasificación y finalmente la presentación.

### Bases físicas de la teledetección. Adquisición de imágenes

La base para la generación de imágenes mediante teledetección es la energía electromagnética y su interacción con las cubiertas objeto de estudio. La energía electromagnética se genera por diversos procesos físicos entre los que destacan las reacciones nucleares que tienen lugar en el Sol y que generan la gran mayoría de energía que recibe la Tierra. Dicha energía se transmite en forma de radiación que se describe según sus

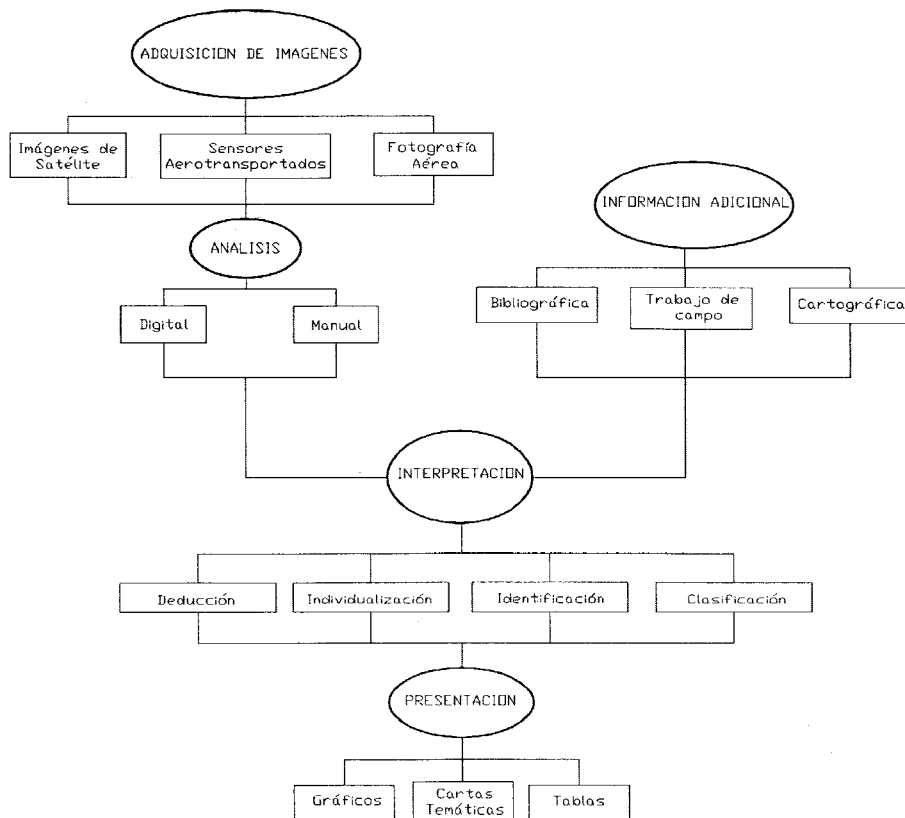


Fig. 1.—Metodología para el análisis de los datos de teledetección.

características de longitud de onda (distancia entre dos pulsos sucesivos), frecuencia (número de pulsos por unidad de tiempo) y amplitud (altura de los pulsos), siendo la primera de éstas la más empleada.

La sucesión de valores de longitud de onda es continua desde las radiaciones más cortas, como los rayos cósmicos que presentan magnitudes del orden de  $10^{-16}$  m. hasta las más largas como las ondas de audio que alcanzan longitudes de onda de hasta  $10^7$  m.

A pesar de esta continuidad se distinguen una serie de regiones o bandas en las que la radiación electromagnética presenta un comportamiento similar; esta organización en bandas es lo que se conoce como espectro electro-magnético (fig. 2). Sólo algunas de estas bandas son empleadas para generar imágenes mediante teledetección, entre otras se trata de las siguientes:

El *espectro visible* es la única radiación perceptible con nuestros ojos y abarca las radiaciones comprendidas entre 0.4 y 0.7  $\mu\text{m}$  (1 micra =  $10^{-6}$  m.). Dentro de esta región se distinguen 3 bandas elementales denominadas azul (entre los 0.4 y 0.5  $\mu\text{m}$ ), verde (0.5-0.6  $\mu\text{m}$ ) y roja (0.6-0.7  $\mu\text{m}$ ) en función de los colores a ellas asociados.

El *infrarrojo próximo* se refiere a la radiación no visible con longitudes de onda inmediatamente superiores a las visibles, abarcando las comprendidas entre 0.7 y 1.3  $\mu\text{m}$ . Estas radiaciones pueden ser registradas empleando emulsiones fotográficas especiales.

El *infrarrojo medio* abarca las radiaciones comprendidas entre los 1.3 y 8  $\mu\text{m}$ , tratándose también de radiación reflejada por la superficie terrestre.

El *infrarrojo térmico* o lejano se refiere a las longitudes de onda comprendidas entre 8 y 14  $\mu\text{m}$ , siendo su principal característica el que se trata de energía emitida por la Tierra en contraste con las anteriores que son energía reflejada por la superficie terrestre.

Otro factor clave para entender la generación de imágenes mediante teledetección es la interacción de la energía incidente con las cubiertas terrestres. La energía incidente

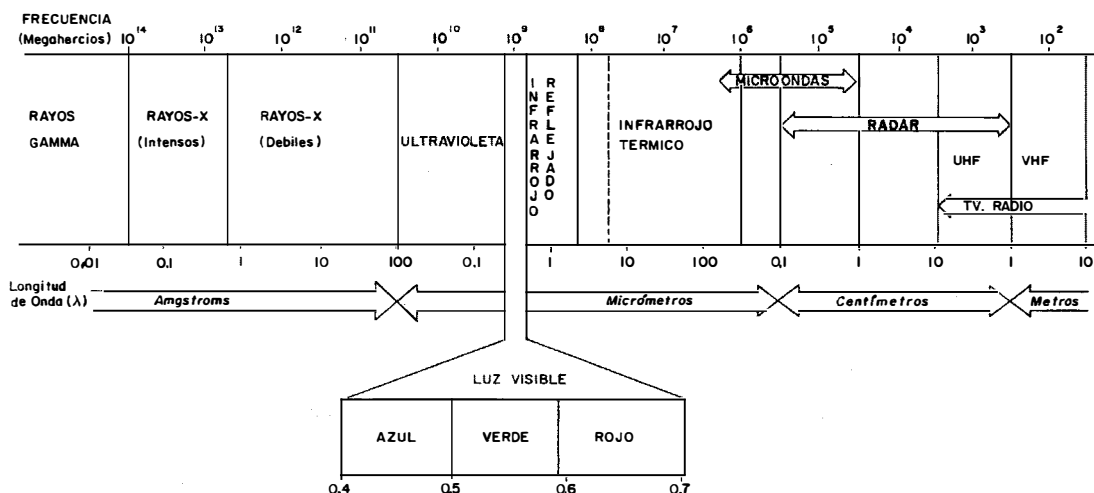


Fig. 2.—El espectro electro-magnético (Fuente: Chuvieco, 1990).

puede ser absorbida, transmitida o reflejada, y sólo en este último caso dicha energía podrá ser detectada por un sensor generando una imagen. Por lo tanto resulta muy interesante conocer la reflectividad de las cubiertas, o sea, el porcentaje de energía incidente que es reflejado por las cubiertas. La reflectividad viene dada por las características físicas de la cubierta y varía en función de la longitud de onda considerada; las cubiertas serán distinguibles en la medida en que presenten distintas firmas espectrales (la reflectancia de una cubierta en las distintas longitudes de onda).

Junto a estos dos factores existen otros que condicionan el proceso de adquisición de imágenes por teledetección, entre los que podemos citar las interacciones de la energía con la atmósfera (absorción, refracción, etc.), ya que ésta actúa como filtro en determinadas longitudes de onda, y las características físicas de la cubierta observada (situación, pendiente, orientación, densidad, homogeneidad), ya que éstas determinarán, junto con la reflectancia de la cubierta y el nivel de energía incidente, la respuesta que registrará el sensor y que por tanto generará la imagen.

### **Tipos de sensores empleados en teledetección**

Los sensores empleados en teledetección pueden clasificarse en activos, cuando generan su propia energía, o pasivos, cuando se limitan a registrar la energía reflejada por la superficie procedente de un foco exterior. Entre los sensores activos podemos citar el radar, mientras que entre los pasivos se encuentran los sensores fotográficos y los sensores electro-ópticos (equipos de barrido multiespectral y de empuje).

El sensor más empleado en teledetección es la cámara fotográfica, cuyo funcionamiento es bastante conocido en general. Las cámaras pueden operar bien sea a bordo de plataformas aéreas o a bordo de satélites, empleando películas pancromáticas, en color o infrarrojas.

Los sensores electro-ópticos, también denominados *scanners*, se caracterizan por registrar información en las regiones no visibles del espectro, proporcionando imágenes multiespectrales en formato digital. Estos sensores captan la energía procedente de la Tierra y la convierten en un valor numérico que representa la radiancia recibida por el sensor de una parcela de la superficie observada (el tamaño de esta parcela es lo que conocemos como resolución espacial del sensor).

Los sensores electro-ópticos (tanto los *linescanners* como los *pushbroom scanners*) presentan ventajas sobre los sensores fotográficos ya que permiten recoger información en bandas del espectro no visibles (p. ej., en el infrarrojo cercano, medio y térmico), permiten una mayor calibración y precisión radiométrica de los datos, pueden realizar coberturas sistemáticas de grandes espacios (p. ej., una imagen Landsat TM cubre un área de 185 por 170 km.) y transmitir datos en tiempo real, ya que no dependen de un soporte físico como sucede con la fotografía; además, proporcionan datos en formato digital, lo que facilita su posterior tratamiento y análisis asistido por ordenador. En cuanto a sus inconvenientes respecto a la fotografía destaca la exigencia de contar con equipos de tratamiento muy sofisticados y un mayor nivel de formación del intérprete.

Las características anteriormente citadas han hecho que satélites de observación de la Tierra dispongan mayoritariamente de sensores electro-ópticos. También se han desa-

rollado equipos similares para ser empleados en aviones, proporcionando una mejor resolución espacial a cambio de un campo de observación más reducido.

Aunque hay varias series de satélites dedicados a la observación de la Tierra, los más empleados en teledetección son los LANDSAT y SPOT, mientras que otros satélites muy conocidos como los METEOSAT están dedicados a misiones meteorológicas y proporcionan resoluciones espaciales muy inferiores.

La serie LANDSAT ha sido y es la más empleada desde que en 1972 la NASA estadounidense pusiera en órbita el primer satélite de la serie. La serie actualmente en órbita va equipada con dos sensores electro-ópticos multispectrales, el MSS o *Multi-Spectral Scanner*, que ya equipaba los primeros satélites, y el TM o *Thematic Mapper*.

TABLA 1  
CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES A BORDO DE LOS LANDSAT Y SPOT

<i>Sensor</i>	<i>Satélites que lo portan</i>	<i>Bandas espectrales</i>	<i>Resolución espacial</i>
MULTIESPECTRAL SCANNER (MSS)	LANDSAT 1 - 5	MSS 4: 0,5-0,6 $\mu\text{m}$ .	79 m.
		MSS 5: 0,6-0,7 $\mu\text{m}$ .	79 m.
		MSS 6: 0,7-0,8 $\mu\text{m}$ .	79 m.
		MSS 7: 0,8-1,1 $\mu\text{m}$ .	79 m.
THEMATIC MAPPER (TM)	LANDSAT 4 - 5	TM 1: 0,45-0,52 $\mu\text{m}$ .	30 m.
		TM 2: 0,52-0,60 $\mu\text{m}$ .	30 m.
		TM 3: 0,63-0,69 $\mu\text{m}$ .	30 m.
		TM 4: 0,76-0,90 $\mu\text{m}$ .	30 m.
		TM 5: 1,55-1,75 $\mu\text{m}$ .	30 m.
		TM 6: 10,4-12,5 $\mu\text{m}$ .	120 m.
		TM 7: 2,08-2,35 $\mu\text{m}$ .	30 m.
HAUTE RESOLUTION VISIBLE (HRV)	SPOT 1 - 2	XS 1: 0,50-0,59 $\mu\text{m}$ .	20 m.
		XS 2: 0,61-0,68 $\mu\text{m}$ .	20 m.
		XS 3: 0,79-0,89 $\mu\text{m}$ .	20 m.
		P: 0,51-0,73 $\mu\text{m}$ .	10 m.

En cuanto al SPOT, se trata de una serie francesa cuyo primer satélite fue lanzado en 1986, estando equipados con un *pushbroom scanner* (HRV o *Haute Resolution Visible*) capaz de obtener imágenes pancromáticas (modo P) o multispectrales (modo XS). La tabla 1 recoge las principales características de los sensores instalados a bordo de estos satélites, que son los empleados de forma mayoritaria en proyectos de teledetección.

Junto a los datos proporcionados por los satélites se pueden citar finalmente los proporcionados por sensores electro-ópticos aerotransportados. Estos equipos son mucho más variados y numerosos, de forma que sus características no están estandarizadas como sucede con los sensores instalados en satélites. La ventaja que presentan los sensores aerotransportados es fundamentalmente la mejora en la resolución espacial,

aunque a costa de una disminución del campo de cobertura del sensor y un incremento de las distorsiones geométricas presentes en las imágenes.

### El tratamiento digital de imágenes

Como ya hemos afirmado anteriormente, las imágenes obtenidas por teledetección pueden interpretarse de forma manual o mediante ordenadores. En el caso de las imágenes multispectrales, especialmente las obtenidas por satélites, la gran cantidad de información que contienen hace especialmente aconsejable su tratamiento y análisis asistido por ordenador. El análisis digital de imágenes (junto a los citados anteriormente: Jensen, 1986; Mather, 1987; Erdas, 1990; Segarra y Meliá, 1991) se convierte así en un componente esencial de los estudios mediante teledetección.

Se han desarrollado programas específicamente dedicados al tratamiento digital de imágenes soportados tanto en plataforma PC como en plataforma *workstation*. Dichas plataformas deben contar con una serie de periféricos específicos tanto para la entrada de datos (lectores de cintas CCT en las que son proporcionadas las imágenes originales, tabletas de digitización, scanners) como de salida (monitores específicos para imágenes, plotters, impresoras...).

Las imágenes en formato digital se adaptan al esquema presentado en la figura 3. Se trata de matrices numéricas, cada una de las cuales se refiere a una banda espectral; dichas matrices están compuestas por píxeles, definidos por un número entero, denomi-

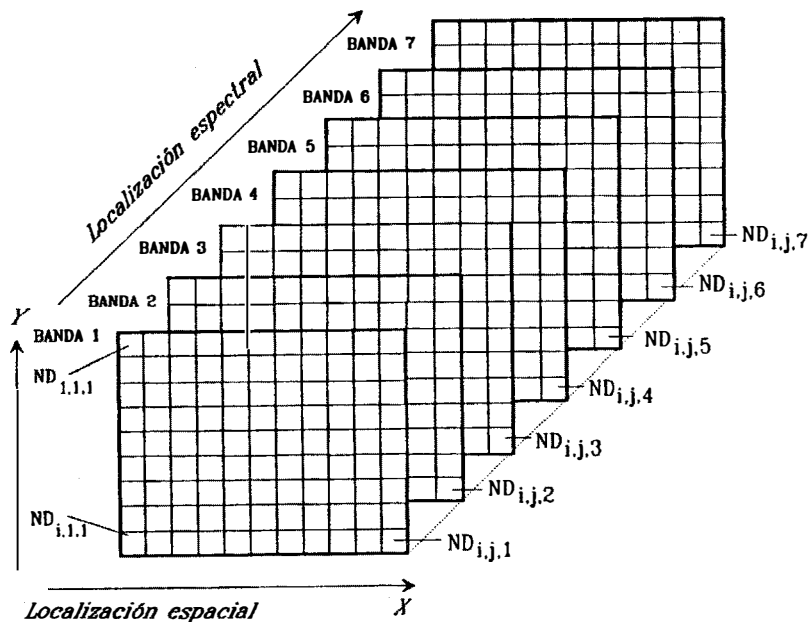


Fig. 3.—Organización de una imagen digital (Fuente: Chuvieco, 1990).

nado en castellano *nivel digital (ND)*, que corresponde a la energía proveniente de una parcela de terreno recibida por el sensor. Cada píxel o ND se identifica por sus coordenadas (línea X, columna Y, o en el caso de la ilustración  $i, j$ ), teniendo en cuenta que en estas matrices el origen de coordenadas se sitúa en la esquina superior-izquierda debido a que la secuencia de adquisición de las imágenes es de norte a sur por la trayectoria del satélite.

Las funciones que cumplen los programas de análisis digital cubren todas las fases del estudio e interpretación de imágenes obtenidas mediante teledetección. En general, todos proporcionan la posibilidad de realizar las operaciones que se detallan a continuación.

Un módulo de presentación en pantalla nos permite seleccionar la imagen a analizar, realizar composiciones multispectrales combinando diversas bandas o examinar solamente una de ellas, ampliar o reducir la imagen, aislar la zona de interés extrayéndola de la imagen original y obtener información sobre los valores numéricos de los píxeles mediante el empleo interactivo de un puntero o ratón. Una fase importante en el reconocimiento inicial de la imagen es el cálculo de las estadísticas descriptivas de las distintas bandas, el estudio del histograma de la imagen, que nos informará sobre la distribución de los valores de los píxeles y el cálculo de matrices de correlación entre las bandas que permitirá seleccionar aquellas que proporcionen mayor información diferenciada.

Otra serie de operaciones tienden a eliminar las anomalías que pudieran presentarse en la imagen. Se trata de la fase de correcciones de la imagen cuyo objetivo es el disponer los datos en la forma más cercana a la que se hubiera producido en caso de una adquisición ideal; gran parte de estas correcciones son ya aplicadas directamente en las estaciones receptoras. Las imágenes obtenidas por teledetección presentan una serie de anomalías sistemáticas producidas por el sistema de adquisición de imágenes; las correcciones tienden a eliminar dichas anomalías mediante la restauración de líneas y píxeles perdidos, la eliminación de los efectos de la atmósfera (absorción y dispersión selectiva de ciertas longitudes de onda) sobre la señal recibida por el sensor o la corrección geométrica de la imagen, eliminando las distorsiones sistemáticas debidas a los movimientos de la plataforma y convirtiéndola en una imagen planimétricamente correcta, con coordenadas cartográficas (georreferenciación).

Otro módulo se encarga de las operaciones de realce y mejoras de la imagen, mejorando la apariencia visual de la imagen. Entre estas operaciones destacan el ajuste del contraste (ecualización del histograma, expansión y compresión del contraste), la composición de imágenes multispectrales y en falso color, los filtrajes ópticos destinados a suavizar o reforzar los contrastes espaciales en la imagen o a detectar y resaltar alineaciones en una determinada dirección.

El módulo de transformaciones de la imagen incluye aquellas operaciones destinadas a la creación de bandas artificiales mediante la combinación de las bandas originales; dichas bandas enfatizan determinada información ocultando la restante o concentran la información presente en varias bandas en una sola. Entre estas operaciones destacan el Análisis de Componentes Principales, y los índices y cocientes de vegetación (NDVI).

El módulo de clasificación viene a ser en muchos casos la concreción de todos los análisis anteriores ya que en esta fase la imagen se clasifica en una serie de categorías especificadas por el intérprete en función del objeto de estudio. Esta modalidad se



denomina *clasificación supervisada* y se define porque el intérprete especifica las categorías informacionales, estando basada en un proceso de selección de píxeles (denominados áreas de entrenamiento o *training areas*) perfectamente identificados y representativos de cada una de las categorías de forma que en una fase posterior el ordenador analice la totalidad de los píxeles de la imagen y asigne cada uno de ellos a una de las categorías en función de los valores numéricos de dichas áreas. Además de esta modalidad existe un proceso de clasificación automática denominado *clasificación no supervisada* en la que el ordenador reconoce los clusters o categorías espectrales que aparecen en la imagen al considerar los valores numéricos de los píxeles que componen la imagen.

Junto a estos módulos básicos existen otra serie de funciones que permiten generar salidas (mediante impresión, plotter o directamente en pantalla) y presentaciones de los datos mediante la realización de anotaciones, leyendas y símbolos en la imagen original o ya tratada.

## LAS APLICACIONES DE LA TELEDETECCION EN ARQUEOLOGIA

Como ya hemos visto, el concepto de teledetección abarca una diversidad de técnicas de adquisición de imágenes, técnicas que van desde el simple empleo de la fotografía aérea pancromática al uso de datos multispectrales proporcionados por satélites y su procesamiento mediante ordenador. En consecuencia, a la hora de revisar las aplicaciones de la teledetección en arqueología vamos a especificar unas líneas de investigación en función de las imágenes y materiales empleados y de la finalidad de estos estudios.

Sin embargo, debemos hacer una primera consideración a la hora de afrontar las posibilidades de la aplicación de la teledetección en arqueología. Los datos de interés para la arqueología pueden clasificarse en dos categorías según su dimensión espacial: de un lado, tendríamos los datos referidos a los yacimientos considerados individualmente y que no superan el ámbito semi-micro y microespacial representado por el yacimiento individual, mientras que de otro tendríamos aquellos datos relacionados con un enfoque más global que toma la región como principal punto de referencia, englobando los yacimientos individuales en conjuntos regionales definidos por la asociación de determinadas características (sobre esta división Allan, 1985).

La teledetección sólo puede proporcionar datos de la primera categoría cuando se emplean sensores, generalmente instalados en aviones, que proporcionan una resolución espacial muy alta. Tradicionalmente, la fotografía aérea se ha empleado para estudiar o localizar yacimientos con notable éxito en ciertas áreas.

Los datos de la segunda categoría empezaron a ser relevantes a partir de los años 60, cuando la arqueología empezó a preocuparse por los patrones espaciales y la disposición de los asentamientos en el territorio. La teledetección mediante sensores multispectrales en satélites o en aviones proporciona una serie de datos importantes a la hora de evaluar la matriz geocológica y ambiental en que se insertan los yacimientos. Esta capacidad de la teledetección ha motivado que en EE.UU. y en otras zonas del mundo se hayan multiplicado los proyectos arqueológicos que emplean la teledetección con un ámbito de estudio regional.

Esta consideración nos permite entender por qué la teledetección se ha aplicado en arqueología de una forma determinada y con unos objetivos concretos así como las limitaciones de estas aplicaciones.

### **La aplicación tradicional de la fotografía aérea**

La fotografía aérea ha sido la única técnica de teledetección empleada por los arqueólogos hasta los años 70. Se ha señalado la existencia de dos tradiciones distintas a la hora de emplear la fotografía aérea, éstas son la escuela europea y la norteamericana (Ebert, 1989).

En Europa, la teledetección aplicada a la arqueología era conocida como *Aerial archaeology*. Su desarrollo tuvo lugar desde los años 20, con pioneros como Poidebard y Crawford (Crawford, 1929). La técnica empleada era volar sobre los campos buscando trazas de yacimientos, principalmente fortificaciones y villas romanas y recintos prehistóricos. Dichas trazas consisten en marcas visibles en el suelo, diferencias en crecimiento y color en los cultivos, sombras causadas por pequeñas diferencias de nivel, anomalías térmicas, etc. Todas estas trazas están causadas por la presencia de restos arqueológicos (muros y fosas) que alteran las condiciones normales del suelo y la vegetación (hay abundante bibliografía sobre los mecanismos de formación de estas marcas y su interpretación, quizás la visión más novedosa sea la aportada por Wilson, 1989).

La arqueología aérea experimentó un notable desarrollo durante y después de la Segunda Guerra Mundial. Las necesidades bélicas provocaron desarrollos técnicos y grandes áreas fueron sistemáticamente fotografiadas con propósitos militares, proporcionando una ingente cantidad de material para el análisis arqueológico. Asimismo, fue durante este período cuando la mayoría de las técnicas y principios de interpretación usados aún hoy día fueron descritos por Riley (Riley, 1944).

Después de la Segunda Guerra Mundial se sucedieron intensas investigaciones en distintos lugares del Viejo Mundo: en Italia Bradford localizó numerosos recintos prehistóricos (Bradford, 1949), Baradez descubrió el rico poblamiento romano en las áreas desérticas del Norte e Africa (Baradez, 1949), mientras que Chevalier impulsaba el desarrollo de la arqueología aérea en Francia (Chevallier, 1961). Estos estudios variaban en sus objetivos, que iban desde la localización de yacimientos inéditos hasta el estudio de los parcelarios romanos.

La fotografía aérea se ha empleado a menudo para el estudio de estructuras regionales como redes de comunicación (Lyons y Hitchcock, 1977; Ebert y Hitchcock, 1980; Ebert, 1987) y sobre todo parcelarios (en este caso la bibliografía es muy numerosa y suficientemente conocida, por lo que nos limitamos a señalar la obra de un pionero como Baradez, 1949).

La fotografía aérea ha continuado empleándose desde entonces, principalmente en áreas como Reino Unido y Centroeuropa, permitiendo la localización de numerosos yacimientos inéditos (entre las numerosas aplicaciones Wilson, 1982; Frere y St. Joseph, 1983; Platt, 1984; Kennedy, 1989). En el caso concreto de España nos encontramos con una escasa literatura que recoge diversos estudios basados en esta línea clásica de aplicación de la fotografía aérea, entre los que destacan los desarrollados por investiga-

dores franceses de la Casa de Velázquez (Bazzana y Humbert, 1983; Cressier *et al.*, 1992; además ver Sánchez-Palencia y Fernández-Posse, 1992).

Los últimos desarrollos en esta línea de investigación incluyen el empleo de películas sensibles en el infrarrojo cercano, que facilitan más información que aquellas sensibles únicamente en el espectro visible y que permiten registrar de forma más precisa las diferencias de humedad en el subsuelo causadas por la presencia de estructuras enterradas. A otro nivel, la fotografía aérea oblicua se ha empleado junto con datos de campo e imágenes infrarrojas en sistemas integrados de información arqueológica enfocados principalmente a la producción cartográfica (Scollar, 1987).

En Estados Unidos las aplicaciones de la teledetección en arqueología se conocen bajo el nombre *cultural resources remote sensing* o *archaeological remote sensing*. Los inicios de su desarrollo siguieron la línea que hemos esbozado para Europa, pudiéndose destacar el papel jugado por Lindbergh (Lindbergh, 1929) que sobrevoló México y Yucatán descubriendo yacimientos inéditos. Sin embargo su desarrollo estuvo estancado hasta los años 60 cuando se desarrollaron nuevas perspectivas de aplicación de la fotografía aérea que iban más allá de la simple localización de yacimientos inéditos.

### **La fotografía aérea en el análisis de los territorios arqueológicos**

Bajo este epígrafe vamos a referirnos a un campo de aplicaciones de la teledetección (en los primeros momentos limitado a la fotografía aérea pero posteriormente empleando también las imágenes obtenidas por satélite) totalmente nuevo que empezó a emerger en los años 60. Los cambios en la teoría arqueológica vinculados a la *New Archaeology* hacían hincapié en la concepción de los grupos humanos entendidos en el marco de su contexto ecológico, se prestaba gran atención a las reconstrucciones socio-económicas y al análisis espacial. En este contexto comenzó a gestarse una línea de investigación que empleaba la fotografía aérea para el análisis de las prácticas de subsistencia y el análisis espacial desde una perspectiva macroespacial (Hoffman, 1982; Ebert, 1984).

Subyace en este tipo de estudios una asunción funcionalista que entiende la cultura como un mecanismo extrasomático de adaptación: "*culture... our subject matter is defined as an adaptive system*" (Ebert y Lyons, 1976:5); por lo tanto se asume que una sociedad puede ser "leída" mediante el estudio de su patrón de asentamiento: el asentamiento humano es determinado así por las posibilidades ofrecidas por el medio ambiente. Son numerosas las objeciones teóricas que se pueden hacer a este planteamiento; de hecho, los errores del funcionalismo y el determinismo ambiental han sido notados por numerosos autores; sin embargo, no es el objetivo de este trabajo una discusión teórica, sino que nos importa el presentar y debatir las técnicas de teledetección empleadas en estos análisis.

Esta aproximación a los territorios arqueológicos se basa en el estudio de numerosas variables del medioambiente y su correlación con el poblamiento humano para entender y modelar los patrones espaciales de las sociedades del pasado. Se asume que los grupos humanos se establecen de forma consciente en determinadas áreas en las que el medio proporciona determinados recursos, siendo dicha asunción la clave que facilita el estudio

de los patrones espaciales y que permite incluso la formulación de modelos predictivos. Ebert ha definido esta aserción: *“different features of the landscape and the opportunities they offer are the “keys” which have been used by individuals and groups from the earliest hunting and gathering societies until the present to determine the most efficient and pleasing location for living or carrying out other activities”* (Ebert y Gutiérrez, 1979:69).

Los datos obtenidos mediante la interpretación, ya sea manual o digital, son empleados para “estratificar” la zona a prospectar, de forma que la prospección no se realiza según un muestreo aleatorio sino en función de un muestreo selectivo que, a su vez, se ha diseñado en función de las hipótesis previas del investigador sobre los patrones de asentamiento de las comunidades estudiadas, de forma que la interpretación de las imágenes obtenidas mediante teledetección permiten identificar las áreas que se consideraran más “atravesadas” para el asentamiento humano en el pasado. La estratificación se basa, en los casos que comentamos, en la identificación de áreas fisiográficas en la zona a estudiar, áreas que pueden considerarse como el producto de una interpretación multivariante en el sentido de que cada una de ellas define una combinación específica de variables medioambientales como suelos, litología, geología, pendientes, vegetación, hidrografía, etc.

El objetivo final de estos análisis es la elaboración de modelos predictivos del asentamiento humano. El método generalmente empleado se basa en la proyección de las distribuciones conocidas de material arqueológico teniendo en cuenta su distribución diferencial con respecto a las distintas áreas ambientales (Ebert, 1989). Asumiendo los planteamientos funcionalistas ya mencionados, se considera que el patrón de asentamiento viene determinado por la adaptación al medio ambiente y, por lo tanto, las variables ecosistémicas, descriptivas del medio ambiente, serán las variables independientes que se integran en el modelo mientras que las variables dependientes serán las relacionadas con el asentamiento.

Esta línea de trabajo se ha aplicado desde los años 70 empleando tanto fotografía aérea como imágenes obtenidas por satélite, aunque en este epígrafe nos limitaremos a comentar aplicaciones que emplearon fotografía aérea. Las aplicaciones se han centrado en el campo de la arqueología de gestión, principalmente para evaluar la presencia de yacimientos arqueológicos en los grandes parques y reservas naturales de EE.UU.

El ejemplo clásico de esta línea de trabajo es el trabajo realizado por Ebert y Gutiérrez en el parque nacional de Shenandoah, EE.UU. (Ebert y Gutiérrez, 1979). Su estudio se basó en el análisis de fotografías aéreas a escala 1:12000 sobre las que se definieron una serie de variables medioambientales: pendiente, orientación del relieve, cubierta vegetal, tipo y grosor de los suelos, proximidad a fallas geológicas, etc. Los yacimientos previamente conocidos en la zona fueron situados en las fotografías y las variables anteriormente indicadas se estudiaron en un radio de 76 m. alrededor de cada yacimiento. Los resultados de este análisis fueron tabulados definiéndose las características que definían las áreas con mayor probabilidad de presentar yacimientos desconocidos. Finalmente se llevaron a cabo prospecciones para contrastar los resultados, localizándose yacimientos en el 45% de los lugares predichos.

Desde otra perspectiva, la fotografía aérea se ha empleado para estudiar la geología

de la zona con vistas a evaluar aquellos factores ligados a la geomorfología que podían afectar la visibilidad y conservación de los yacimientos, comprobándose que en aquellas unidades estructurales con una gran nivel de erosión o sedimentación sólo aparecían los yacimientos más modernos (Ebert y Gutiérrez, 1981).

En la bibliografía española se ha publicado recientemente un estudio que emplea la fotografía aérea desde una perspectiva, no limitada al estudio del yacimiento individual sino enfocada al estudio del paisaje entendido como el resultado de la integración de un medio físico y ambiental y la actuación de las comunidades humanas sobre él (Sánchez Palencia y Orejas, 1991).

### **La teledetección en las regiones no visibles del espectro**

Bajo este epígrafe vamos a referirnos a aquellas modalidades de teledetección que registran exclusivamente longitudes de onda no visibles, por lo tanto, no incluiremos otras formas de teledetección multispectral que registran tanto longitudes de onda visibles como no visibles. Las formas de teledetección en las regiones no visibles del espectro incluyen el empleo de equipos de barrido en el infrarrojo (*thermal scanners*) y del radar.

El empleo de la teledetección en el infrarrojo para la localización de restos arqueológicos se basa en que la presencia de restos arqueológicos en el subsuelo causa una serie de anomalías térmicas que pueden ser detectadas por equipos de barrido infrarrojo (Perisset y Tabbagh, 1981). Una aplicación de este tipo se llevó a cabo en Francia usando un equipo de barrido infrarrojo aerotransportado que proporcionaba una resolución espacial inferior a 1 m. y que permitió la localización de numerosos yacimientos previamente desconocidos (Tabbagh, 1984 y 1992). Un experimento similar se ha desarrollado en Italia (Baggio *et al.*, 1987), empleado un *scanner* operando en el infrarrojo térmico (8-14  $\mu\text{m}$ .) para localizar estructuras arqueológicas ocultas entre las que se incluían alineamientos que se relacionaron con un antiguo parcelario.

El empleo del radar difiere porque, como ya hemos explicado, se trata de un sistema que genera su propia energía. Esta característica hace que el radar sea definido como un equipo todo-tiempo, con independencia de las condiciones meteorológicas (p. ej., cubierta de nubes) o de iluminación (empleo en horas nocturnas), lo que facilita su empleo en áreas vedadas a los sensores pasivos. Además, el radar tiene la capacidad de penetrar densas cubiertas vegetales como las que se encuentran en las zonas tropicales (p. ej., Yucatán), y en zonas áridas puede penetrar en el subsuelo. Estas capacidades facilitan su empleo en determinadas áreas geográficas casi permanentemente cubiertas de nubes. Por ejemplo, en el Yucatán, imágenes obtenidas por radares aerotransportados se emplearon para investigar los medios de subsistencia durante el período maya: se localizaron redes de canales para irrigación asociados a campos de cultivo, lo que venía a indicar una agricultura intensiva; asimismo el radar permitió localizar nuevos asentamientos y proporcionó datos que facilitaban el análisis espacial de los grandes centros urbanos y el estudio de la red de comunicaciones (Adams *et al.*, 1981).

Una aplicación especialmente interesante empleó datos proporcionados por el SIR-A (*Shuttle Imaging Radar*), un radar que fue transportado por la lanzadera espacial

americana *Columbia* en 1981, para estudiar la geoarqueología en la zona del Sahara egipcio (McHugh *et al.*, 1988). Las imágenes radar, gracias a su capacidad para penetrar hasta 3 m en el subsuelo, permitieron descubrir la red de canales del Paleógeno, actualmente sepultados por sedimentos cuaternarios; posteriores investigaciones arqueológicas descubrieron un denso asentamiento humano asociado a estos paleocanales.

### La teledetección por satélite en arqueología

El desarrollo, en los años 70, de una serie de satélites enfocados a estudios medioambientales y de prospección de recursos que proporcionaban una resolución espacial mucho más reducida que los satélites meteorológicos empleados hasta entonces (nos referimos a la serie ERTS, posteriormente conocida como LANDSAT), permitió los primeros intentos de aplicar la teledetección por satélite en la investigación arqueológica. Hasta el lanzamiento en 1982 del satélite LANDSAT 3, equipado con el sensor *Thematic Mapper* capaz de proporcionar imágenes con una resolución espacial nominal de 30 m., las imágenes disponibles que presentaban la mejor resolución espacial eran las proporcionadas por el sensor MSS (*Multi-Spectral Scanner*) a bordo de los LANDSAT 1 y 2, imágenes cuya resolución espacial era de 79 m. Esta pobre resolución constituía la limitación más evidente para el empleo de estas imágenes en arqueología.

A pesar de este factor, la administración espacial americana realizó los primeros experimentos para determinar la posible utilidad de las imágenes de satélite en arqueología (Cook y Stringer, 1975). Los resultados de este experimento indicaban que la resolución proporcionada por las imágenes MSS impedía su empleo para la localización “directa” de yacimientos arqueológicos, pero que sí eran de utilidad en estudios “indirectos” mediante el análisis del medioambiente y la identificación de las áreas fisiográficas propicias para el asentamiento humano y que, por tanto, tenían más posibilidades de haber estado ocupadas en épocas pre e históricas. Los datos de satélite podían ser empleados en esa línea de trabajo tan del gusto de los arqueólogos americanos conocida como *Predictive modelling*, aunque hay que matizar que las imágenes de satélite no eran empleadas de forma exclusiva para la estratificación de las zonas de estudio, sino que también se empleaba fotografía aérea, trabajo de campo y cartografía, integrándose todas estas fuentes de datos en una aproximación “multi-escala” (*multi-stage stratification*: Ebert, 1980).

Para ilustrar estas aplicaciones podemos revisar el trabajo de Wells *et al.*, (1981): una imagen del Landsat MSS fue analizada con la finalidad de producir un mapa de aquellas zonas con alta probabilidad de contener yacimientos prehistóricos. La metodología empleada se basaba en la selección de variables medioambientales que se consideraban claves para los patrones de asentamiento prehistóricos, seguidamente se comprobaba mediante análisis estadístico la relación entre estas variables y los yacimientos conocidos, estableciéndose una serie de mapas predictivos en función de estas variables. Trabajos similares fueron desarrollados por diversos equipos en áreas geográficas tan distantes como Alaska (Brown y Ebert, 1978; Ebert, 1980) o Nuevo México (Camilli, 1983).

Otros proyectos han empleado datos Landsat MSS con objetivos similares, pero introduciendo las técnicas de análisis digital de imágenes; entre éstos podemos citar el

trabajo de Findlow y Confeld (Findlow y Confeld, 1980) que analizó las reflectancias de los píxeles correspondientes a las áreas de captación de recursos de yacimientos conocidos comparándolas con las reflectancias de píxeles escogidos al azar. Los resultados demostraron que había una ligera diferencia entre las reflectancias de las áreas de captación de recursos y las áreas escogidas al azar. Sin embargo, los resultados fueron vagos y poco concluyentes como para fundamentar el desarrollo de esta línea de investigación y, de hecho, no hay trabajos que presenten resultados consistentes en este sentido, aunque el desarrollo de sensores más precisos puede hacer viable la localización de yacimientos a través del estudio de las respuestas espectrales.

En el Viejo Mundo también se realizaron proyectos que emplearon imágenes MSS con fines arqueológicos. Por ejemplo, Allan y Richards analizaron manualmente una imagen Landsat MSS de la región de Mizda (Libia) para realizar una estratificación ecológica (fig. 4) de la zona que permitió concentrar la investigación arqueológica de campo en aquellas áreas que se consideraron más propicias (Allan y Richards, 1982). Una aproximación multi-escala fue desarrollada por Barisano *et al.* mediante la integración de imágenes Landsat MSS y fotografía aérea a diversa escala; estos datos fueron interpretados manualmente basándose en las características de textura, tonalidad y estructura para identificar los elementos fisiográficos de la región del Véneto occidental (fig. 5), así como reconstruir la paleogeografía de la zona, en especial la evolución de la red hidrográfica (Barisano *et al.*, 1988).

Finalmente, podríamos citar el trabajo de Dorsett y Graham (Dorsett y Graham, 1988), que emplearon el análisis digital de imágenes Landsat MSS así como la fotografía aérea para estudiar la ecología en el valle del río Mures (Rumanía). Los datos proporcionados por el análisis digital se emplearon para definir la fisiografía de la región, también se realizaron clasificaciones temáticas que recogían los recursos naturales (pastos, agua, suelo cultivable, depósitos minerales) disponibles y se elaboró un modelo digital del terreno que permitió estimar factores como la altitud, pendiente y orientación de los yacimientos. La integración de todos estos datos permitió estudiar la relación de los yacimientos con sus territorios y su funcionalidad.

Junto a esta línea de investigación centrada en el territorio y los patrones de asentamiento aparecieron otras entre las que destaca el empleo de las imágenes de satélite para estudiar estructuras regionales, como redes de irrigación y comunicaciones o parcelarios. Las imágenes de satélite son especialmente adecuadas para estos estudios ya que proporcionan campos de visión muy amplios, muy superiores a los proporcionados por la fotografía aérea de pequeña escala (Bartholome, 1988). Incluso fotografías tomadas por la estación orbital americana Skylab han revelado su utilidad a la hora de desvelar estructuras regionales, sobre todo en regiones subdesérticas: así, la red de irrigación del período Hohokan en la región de Phoenix (EE.UU.) fue localizada mediante el análisis de las imágenes adquiridas por el Skylab y por imágenes MSS (Ebert y Lyons, 1980). En la India septentrional, el análisis digital mediante filtros de una imagen MSS desveló la presencia de redes de irrigación prehistóricas (Debaine *et al.*, 1989) imágenes de este tipo han sido empleadas para estudiar los parcelarios medievales asociados a las abadías cistercienses en Francia (Coudoux, 1988) o las centuriaciones romanas en la llanura del Véneto (Marcolongo, 1987).

Finalmente, y desde una perspectiva más restringida, se realizaron diferentes expe-

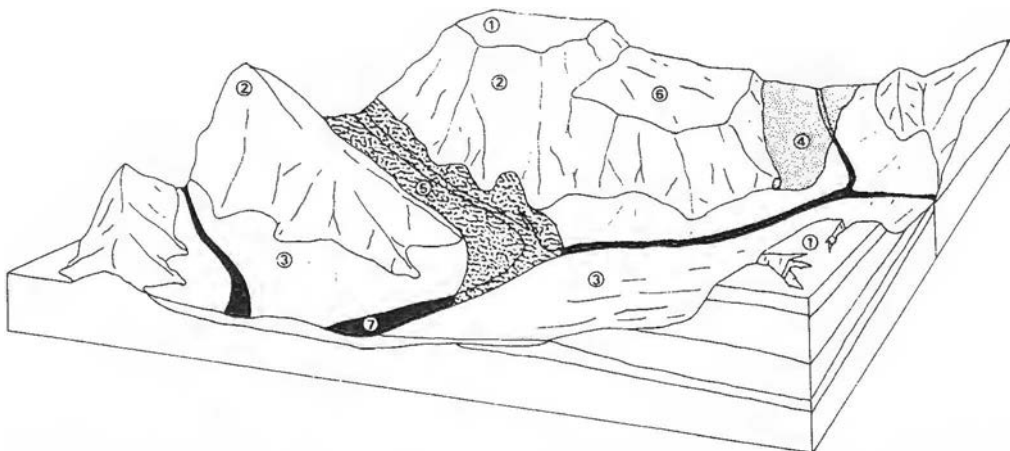
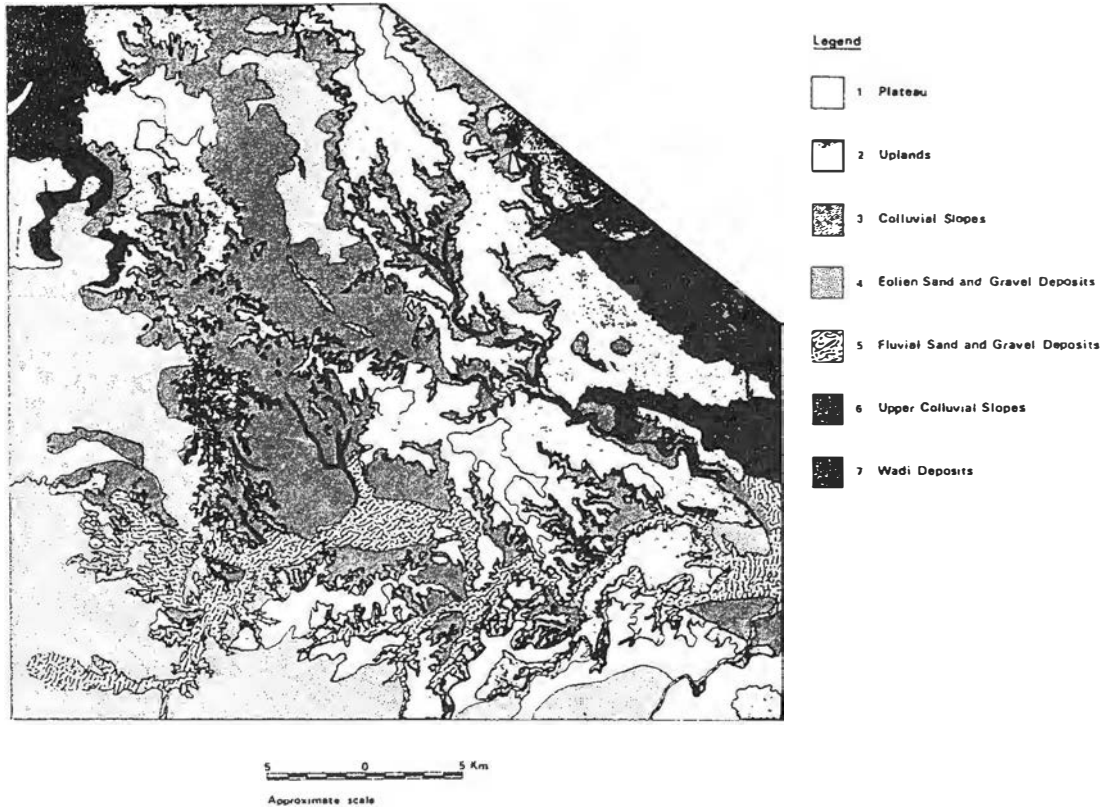


Fig. 4.—Estratificación ecológica de la región de Mizda (Libia) a partir del análisis manual de una imagen MSS (Fuente: Allan y Richards, 1982).





empleo de las técnicas de análisis digital de imágenes, que proporcionan un amplio rango de posibilidades a la hora de estudiar las imágenes en formato digital (específicamente sobre análisis digital de imágenes de teledetección en arqueología: Haigh, 1989; Haigh e Ipson, 1989). Finalmente, el creciente desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) (Allen *et al.*, 1990), en el que se integran los datos obtenidos mediante teledetección, proporciona una herramienta potente y flexible tanto a la hora de almacenar toda la información referida al territorio y al asentamiento como para analizar de forma computarizada las relaciones entre ambos.

Los datos proporcionados por el satélite francés SPOT se caracterizan por su mejor resolución espacial respecto tanto a los sensores del LANDSAT como a la cámara LFC. Ya durante la fase de diseño del satélite se prestó atención a sus posibles aplicaciones arqueológicas, se apuntaba, por ejemplo, la posibilidad de estudiar la geomorfología mediante la restitución estereoscópica de las imágenes mientras que como aplicaciones directas en arqueología se citaban los estudios de territorio y cartografía a escala del orden de 1:50000 y la detección de estructuras enterradas a través de los cambios en el comportamiento espectral de la vegetación (Veillas, 1988; Bartholome, 1988). En Nuevo México (EE.UU.), una imagen simulación SPOT multiespectral fue sometida a una clasificación no supervisada que produjo un total de 27 clases espectrales, comprobándose que 2 de estas clases, que suponían el 25% del área estudiada, albergaban el 45% de los yacimientos conocidos (Inglis *et al.*, 1984). Desde otra perspectiva, los datos SPOT han sido analizados de forma digital, principalmente mediante filtros, para la detección de antiguos parcelarios en Teotihuacán, México (Guy, 1987) y en Ning Xia, China (Delezir y Guy, 1992). Finalmente, se están empleando imágenes SPOT para el estudio de los orígenes del urbanismo en Africa Oriental (Sinclair *et al.*, 1992).

Las fotografías adquiridas por la cámara *Large Format Camera* han sido empleadas para localizar yacimientos en la zona de Israel y Líbano (Valiga *et al.*, 1987), aunque al tratarse de fotografías pancromáticas que proporcionan información en una sola banda espectral su potencial uso para estudios de carácter regional y cartografías temáticas es más limitado que en el caso de las imágenes multiespectrales.

La identificación de las áreas fisiográficas y el estudio del asentamiento humano en función de dichas áreas sigue siendo la metodología más aplicada, pudiéndose citar ejemplos en Libia (Dorsett *et al.*, 1984), Francia (Madry *et al.*, 1990). Grecia (Joyce *et al.*, 1992) o en el desierto del Sáhara (Ammerman, 1989).

En el panorama arqueológico español apenas se han divulgado aplicaciones que combinen la teledetección mediante satélite y el análisis digital de imágenes. Una de las escasas investigaciones en esta línea de trabajo es el proyecto actualmente en curso de ejecución por el autor durante su estancia en el *Centre for Remote Sensing and Mapping Science* (Aberdeen, Escocia). Dicho trabajo (Montufo, en preparación) tiene como fin analizar las posibilidades de las imágenes Landsat TM para el estudio de centuriaciones, para lo cual se ha investigado la zona Sureste de la isla de Mallorca.

El estudio preliminar ha comprobado la utilidad de las imágenes de satélite como primera aproximación al territorio desde una perspectiva ecológica y ambiental, así como la validez de este tipo de imágenes para observar los patrones rurales a un nivel general, aunque con unas ciertas limitaciones derivadas de la resolución espacial. En la lámina Ia se presenta una imagen multiespectral (bandas infrarroja media, próxima y azul) general

de la zona investigada en la que podemos apreciar la distribución de los principales núcleos de población así como las masas forestales, las parcelas cultivadas y los suelos desnudos, en resumen presenta una imagen de cuál es el paisaje actual en la zona.

Para detectar los restos de centuriaciones fosilizados en el patrón rural actual se ha recurrido a la técnica del filtrado digital y direccional, que permite resaltar únicamente las alineaciones, límites parcelarios y estructuras lineales que presentan una determinada orientación, eliminando otra información no relevante. En la lámina Ib se presenta el resultado de una operación de filtrado direccional que ha permitido identificar los límites del parcelario orientados en dirección NW-SE y NE-SW, ocultando la restante información de forma que en la imagen aparece un fondo negro y unas líneas correspondientes a las delimitaciones del parcelario. Algunas de las características de este parcelario podrían reflejar la conservación de la antigua centuriación romana, aunque la continua ocupación humana en la zona habría enmascarado notablemente los restos. En cualquier caso, sería necesaria una investigación histórica y arqueológica más exhaustiva así como el empleo de la fotografía aérea para determinar la pervivencia de la centuriación romana (recordemos que este trabajo se centra únicamente en los aspectos de teledetección).

## **CONSIDERACIONES FINALES. POSIBILIDADES Y LIMITES DE LA TELEDETECCION**

La intención de las páginas precedentes ha sido la de resumir las principales líneas de aplicación de la teledetección en arqueología. La revisión de éstas permite distinguir dos niveles de actuación: un nivel de actuación restringido al yacimiento y otro mucho más amplio, de escala regional.

La fotografía aérea a gran escala y los sensores electro-ópticos aerotransportados permiten actuar a un nivel micro y semi-micro, posibilitando la localización de yacimientos inéditos, la delimitación de las principales estructuras enterradas y el estudio de los alrededores del yacimiento.

A otro nivel, la fotografía aérea a pequeña escala y las imágenes adquiridas por satélite permiten actuar a un nivel macroespacial con una cobertura regional. Dentro de este nivel macroespacial podemos distinguir distintas líneas de investigación, desde las que intentan la elaboración de modelos predictivos del asentamiento hasta las que se centran en estudiar la geomorfología para evaluar los fenómenos post-deposicionales que afectan a la visibilidad y conservación del registro arqueológico o las que se plantean el análisis de estructuras regionales como parcelarios o redes de irrigación. En cualquier caso, si podemos señalar que a este nivel operativo, los datos proporcionados mediante teledetección son empleados de una forma "indirecta", no se trata de la localización directa de yacimientos sino del estudio de la matriz geológica, ambiental y ecológica en la que se insertan los yacimientos, bien sea para estratificar una zona con vistas a su prospección o para la delimitación de áreas que se consideran que fueron ocupadas de forma preferencial.

Es evidente el potencial de los datos obtenidos mediante teledetección para estudios de este tipo, especialmente si se adopta una aproximación multi-escala que asegure la

correcta identificación e interpretación de los distintos elementos de estudio. Ahora bien, ¿cuáles son los límites y las posibilidades de aplicación de la teledetección en nuestro ámbito geográfico?, y por otro lado ¿cuál es el papel de la teledetección a la hora de realizar una arqueología del territorio?, trataremos de responder brevemente a ambos interrogantes.

A la hora de delimitar las limitaciones que presenta la aplicación directa de la teledetección en arqueología, habría que distinguir dos grupos de factores que condicionan dicha aplicación: en primer lugar nos encontramos con los problemas vinculados a la adopción de metodologías diseñadas originalmente para su empleo en otras disciplinas y los debidos a la correspondencia e idoneidad entre los datos y los objetivos del proyecto y en segundo lugar hay que considerar aquellos factores referidos a las evidencias arqueológicas a estudiar.

Una primera limitación es la problemática teórica y de aplicación que supone la adopción de una metodología desarrollada en el seno de otra disciplina, ya que la metodología se diseña en función de unos datos y unos objetivos que no suelen concordar con los de la disciplina que adopta a posteriori dicha metodología. Para el caso concreto de la arqueología son conocidos los problemas teóricos que ha suscitado el empleo de las técnicas de la geografía locacional para estudiar la distribución espacial de las sociedades prehistóricas. Cuando se plantea la posibilidad de aplicar técnicas de teledetección a problemáticas arqueológicas encontramos problemas a la hora de definir la escala a la que se trabaja y la adecuación de las técnicas de teledetección que se emplean a dicha escala; efectivamente, la teledetección abarca técnicas variadas, cada una de las cuales es adecuada a una determinada escala de trabajo y a unos determinados objetivos. El diseño del proyecto de trabajo, incluyendo la determinación de la escala de trabajo, la variables que se pretenden registrar y los objetivos, es el paso previo ineludible para seleccionar el proceso de análisis y adquisición de datos, siendo la teledetección una más de las posibles fuentes de datos.

Un segundo grupo de factores que limitan el campo de aplicación de la teledetección a la arqueología son los relacionados con la naturaleza de los datos empleados, dentro de los cuales distinguiríamos los estrictamente arqueológicos, o sea, los referidos directamente al registro arqueológico y los que interesan de forma "indirecta" a la arqueología, o sea, los referidos a la matriz geológica, ecológica y ambiental en la que se insertan los yacimientos.

Respecto a la primera categoría, la utilidad de la teledetección está determinada por la resolución espacial de los datos empleados, en otras palabras, sólo los sensores aerotransportados, ya sean cámaras fotográficas o sensores electro-ópticos, tienen la suficiente resolución espacial para proporcionar imágenes en las que encontremos datos referidos a estructuras enterradas. Los datos proporcionados por satélite carecen hasta ahora de la necesaria resolución espacial para ser de utilidad a este nivel: aunque ciertos experimentos apuntan la posibilidad de que los datos proporcionados por el SPOT podrían ser útiles a la hora de localizar estructuras enterradas, la realidad es que los resultados proporcionados no han sido lo suficientemente consistentes para permitir su empleo sistemático con esta finalidad.

En cuanto a la segunda categoría, la teledetección, especialmente las imágenes multispectrales obtenidas por satélites, permiten estudiar la matriz ambiental en la que

se insertan los yacimientos desde una perspectiva regional (recordemos que una imagen MSS o TM equivale a 185 por 170 km.) con una resolución espacial (30 m. en el caso del TM) adecuada a los objetivos y a la escala de trabajo.

El carácter de las evidencias arqueológicas que se desean registrar es una limitación evidente. La continua ocupación humana en regiones como Andalucía ha provocado que las evidencias arqueológicas sean más limitadas que en zonas más aisladas o marginales (p. ej., Norte de Africa), en las que la ocupación humana ha presentado un carácter más discontinuo y poco denso, lo que ha permitido una conservación a mayor escala de dichas evidencias. El carácter más fragmentario de las evidencias arqueológicas en regiones con una densa y continua ocupación humana dificulta su registro mediante la teledetección.

Tras repasar limitaciones que presenta la aplicación de las técnicas de teledetección en arqueología, cabe preguntarse por cuáles son sus usos potenciales y cómo se debe afrontar el empleo de imágenes adquiridas mediante teledetección para proyectos arqueológicos.

La revisión bibliográfica que hemos efectuado en las páginas precedentes subraya la utilidad de los datos adquiridos mediante teledetección para el desarrollo de actuaciones arqueológicas a diferentes ámbitos espaciales, desde la detección y localización de elementos del registro arqueológico a escalas micro y semi-micro a la evaluación y registro de los datos referidos a la matriz ambiental y al contexto ecológico en el que se insertan los yacimientos, pasando por la localización de estructuras regionales.

En el nivel más reducido de actuación nos encontramos con aquellas actuaciones enfocadas al estudio de los yacimientos a un nivel micro y semi-micro. La fotografía aérea se ha venido empleando de forma exitosa desde los años 20, y sobre todo a partir de los años 40, para la localización de yacimientos inéditos así como la definición de las estructuras que los componen y el estudio de su localización a un nivel local. El empleo de técnicas de teledetección que registran información en otras bandas espectrales más allá de las visibles supone un notable avance; así, el empleo de la fotografía infrarroja y, a un nivel más avanzado, de los sensores electro-ópticos multispectrales y los equipos de barrido infrarrojos constituye una notable mejora que permite una mejor localización de las estructuras enterradas, ya que las alteraciones que éstas provocan son más evidentes en bandas no visibles como la infrarroja térmica.

A un nivel de actuación más amplio, la teledetección proporciona datos de gran interés para evaluar el contexto ambiental en el que se integraron los yacimientos. Desde esta perspectiva se ha empleado tanto la fotografía aérea como imágenes multispectrales de satélite para una diversidad de objetivos como el producir cartografías temáticas de recursos naturales, diferenciar las áreas fisiográficas presentes en una región y relacionarlas con el asentamiento humano, identificar las unidades geomorfológicas que hayan afectado la visibilidad y conservación del registro arqueológico, estratificar una región con vistas a su posterior prospección y estudio de campo, etc. Dentro de este nivel de actuación se integran también aquellas investigaciones dirigidas a localizar la presencia de estructuras regionales como parcelarios y redes de irrigación y comunicación.

La teledetección abarca una variada serie de técnicas que posibilitan escalas de trabajo en ámbitos que van desde escalas 1:5.000 (fotografía aérea a gran escala) a 1:200.000 (imágenes MSS). La utilidad de los datos obtenidos mediante teledetección

para estudios arqueológicos que pueden ir desde el análisis de un yacimiento previo a su excavación para decidir las áreas de excavación hasta el estudio de los patrones de asentamiento en una amplia región ha sido puesta de manifiesto por toda una serie de trabajos que han sido revisados en las páginas precedentes. El factor más importante para que los datos proporcionados mediante teledetección puedan ser relevantes en una investigación arqueológica es que haya una concordancia entre la escala de trabajo y la resolución de las imágenes empleadas; por lo tanto, el primer paso fundamental es diseñar el proyecto de investigación, la escala de trabajo y los objetivos, para seleccionar en función de éstos los datos, las técnicas y las analíticas a emplear.

La selección de la técnica de teledetección vendrá dada por la escala de trabajo, objetivos del proyecto y datos que se precisan en función de aquéllos; así, la fotografía aérea, los sensores electro-ópticos y los radiómetros de microondas instalados en aviones proporcionarán datos de utilidad a la hora de realizar estudios sobre yacimientos y localización de estructuras enterradas, mientras que el empleo de imágenes de satélite para estos fines será vano, ya que la resolución espacial de dichas imágenes es demasiado reducida; por el contrario, estas imágenes adquiridas por satélite son más adecuadas a la hora de afrontar estudios regionales de carácter medioambiental. La interpretación conjunta de imágenes de satélite y fotografía aérea en una aproximación multi-escala sería otra posibilidad a tener en cuenta a la hora de considerar una aproximación al estudio de los territorios y los paisajes arqueológicos.

Finalmente, habría que referirse a la integración de las imágenes y las cartografías temáticas obtenidas por teledetección en los Sistemas de Información Geográfica (GIS). En el contexto actual, los GIS están experimentando un fulgurante desarrollo en el que también se ha visto involucrada la arqueología, ya que éstos están siendo empleados para realizar estudios de arqueología territorial, formular modelos predictivos o mantener catálogos de yacimientos actualizados para la conservación y gestión del patrimonio arqueológico. Los datos obtenidos mediante teledetección puede integrarse en un GIS enfocado a la arqueología, en el que además se incluirían los datos proporcionados por los trabajos arqueológicos de campo, y los obtenidos en la cartografía y en la bibliografía, de forma que la información abarque no sólo las evidencias arqueológicas sino el máximo de información referido al territorio entendido como la matriz ambiental en la que se asientan las comunidades humanas.

El desarrollo a nivel teórico de líneas de investigación como la arqueología del paisaje y los desarrollos a nivel técnico y metodológico, en concreto la integración en un GIS de los datos obtenidos mediante teledetección, trabajos arqueológicos de campo, prospecciones y excavaciones así como de las cartografías existentes abren nuevas posibilidades para el desarrollo de una arqueología del territorio que supere la perspectiva locacionista tradicional hasta ahora en los estudios arqueológicos espaciales y abogue por una reconstrucción de los paisajes arqueológicos.

**BIBLIOGRAFIA**

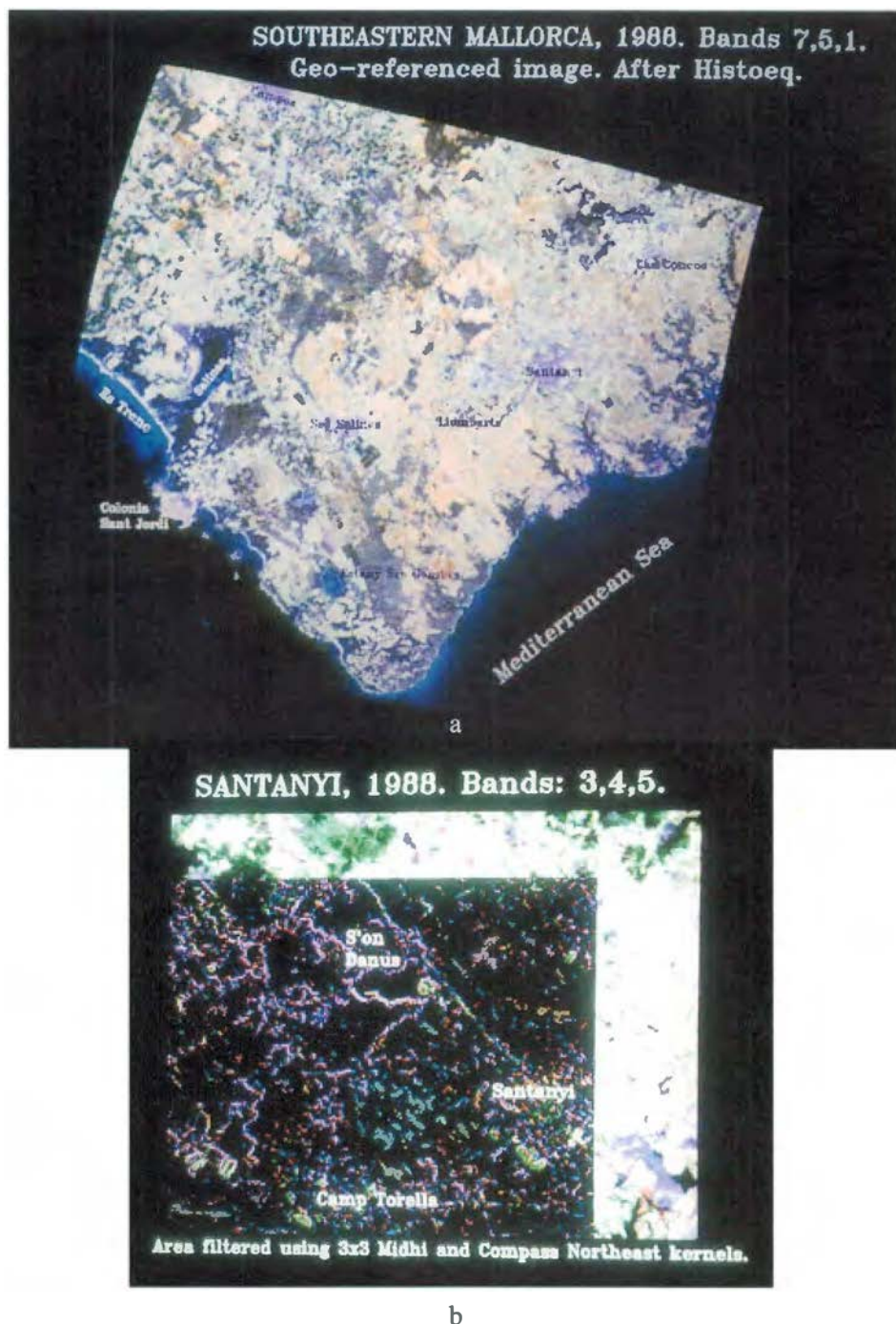
- ADAMS, R., BROWN, W. y CULBERT, T. (1981): "Radar mapping, archaeology and ancient Maya land use", *Science* 213:4515, pp. 1457-1463.
- ALLAN, J. A. (1985): "Remote sensing in archaeological survey: current and potential applications in North-West Libya", *Town and County in Roman Tripolitania: Papers in Honour of O.Hackett* (D. J. Buck and D. J. Mattingly, Eds.), B.A.R. International Series 274, Oxford, pp. 191-200.
- ALLAN, J. A. y RICHARDS, T. S. (1982): "Use of satellite imagery in archaeological surveys", *Libyan Studies* 14, pp. 4-8.
- ALLEN, K. M. S., GREEN, S. W. y ZUBROW, E. B. W. (Eds.) (1990): *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, Taylor & Francis, London.
- AMMERMAN, A. (1989): "The use of Landsat imagery for reconnaissance work in the Sahara", *Late Prehistory on the Nile and the Sahara Bassin* (L. Krzyzaniak y M. Kobusiewick, (Eds.), Poznan, pp. 19-25.
- BAGGIO, P., DALLAPORTA, G., GASPARI, A., GRINZATO, E., MAZZOLDI, A. y PERUZZO, G. (1988): "Applicazioni del termico da vicino per la conoscenza di strutture antropiche nel sottosuolo: l'esperienza di Eretum (Lazio-Italia)", *Téledétection et Cartographie Thematique en Archéologie* (E. Barisano, Ed.), Notes et Monographies Techniques n.º 18, CNRS, Paris, pp. 139-151.
- BARADEZ, J. (1949): *Fossatum Africae. Recherches Aériennes sur l'Organization des Confins Sahariennes à l'Epoque Romaine*, Paris.
- BARISANO, E. (Ed.) (1988): *Téledétection et Cartographie Thematique en Archéologie*, Notes et Monographies Techniques n.º 18, CNRS, Paris.
- BARISANO, E., BARTHOLOME, E. y MARCOLONGO, B. (1988): "Interpretation intégré d'images du satellite Landsat et de photos aériennes verticales pour le déduction de paramètres physiographiques et archéologiques, valle de L'Adige-Italie du Nord", *Téledétection et Cartographie Thematique en Archéologie* (E. Barisano, Ed.), Notes et Monographies Techniques n.º 18, CNRS, Paris, pp. 151-169.
- BARTHOLOME, E. (1988): "Observations de structures archéologiques par téledétection spatiale: possibilités et limites", *Téledétection et Cartographie Thematique en Archéologie* (E. Barisano, Ed.), Notes et Monographies Techniques, n.º 18, CNRS, Paris, pp. 89-105.
- BAZZANA, A. y HUMBERT, A. (1983): *Prospections Aériennes. Les Paysages et Leur Histoire. Cinq Campagnes de la Casa de Velázquez en Espagne*, Publications de la Casa de Velázquez, Serie Recherches en Sciences Sociales Fasc. VII, Paris.
- BRADFORD, J. S. P. (1949): "Buried landscapes in southern Italy", *Antiquity* 23, Cambridge, pp. 58-72.
- BROWN, G. N. y EBERT, J. I. (1978): "Ecological mapping for purposes of sample stratification in large-scale cultural resources assessment: the National Petroleum Reserve in Alaska", *Remote Sensing and Non-Destructive Archaeology* (T. R. Lyons and J. I. Ebert, Eds.), Washington, pp. 53-63.
- CAMILLI, E. L. (1983): "An ecological cover type map of the San Juan Basin, Northwestern Mexico", *Remote Sensing in Cultural Resource Management: The San Juan Basin Project* (D. L. Drager and T. R. Lyons, Eds.), Remote Sensing Division, Southwest Cultural Resources Center, Albuquerque, pp. 39-56.
- CAMPBELL, J. B. (1988): *Introduction to Remote Sensing*, The Guilford Press, London.
- CHEVALLIER, R. (1961): "Document fondamental pour l'histoire et la géographie agraires: la photographie aérienne", *Etudes Rurals* 1, pp. 70-80.
- CHUVIECO, E. (1990): *Fundamentos de Teledetección Espacial*, Rialp, Madrid.
- CLARKE, D. L. (1977): *Spatial Archaeology*, London.
- COLWELL, R. N., ed. (1983): *Manual of Remote Sensing*, 2nd Edition, Falls Church VA, American Society of Photogrammetry.
- COOK, J. P. y STRINGER, W. J. (1975): *Feasibility Study for Locational Archaeological Villages Sites by Satellite Remote Sensing*, Final report for contract NS5-21833, ERTS Project 110-n, prepared for NASA Godard Space Flight Center, Maryland.
- COUDOUX, J. (1988): "Archéologie des paysages en France du Nord à partir d'images Landsat 1 et 2", *Téledétection et Cartographie Thematique en Archéologie* (E. Barisano, Ed.), Notes et Monographies Techniques n.º 18, CNRS, Paris, pp. 79-88.
- CRAWFORD, O. G. S. (1929): *Aerial Photograph for Archaeologists*, Southampton.
- CRESSIER, P., CARBONERO, M. A., EGEE, J. J., FRANCO, J. A., MONTORO, I. y OSUNA, M. (1992): "Aportación de la fotografía aérea a la reconstrucción de los paisajes agrarios medievales. Caso de

- Andalucía oriental”, *Jornadas sobre Teledetección y Geofísica Aplicadas a la Arqueología (Madrid, 7-10 de mayo de 1986. Mérida, 1-3 de octubre de 1987)* (M. C. Hernández, Coord.), Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Madrid, pp. 137-148.
- DEBAINE, F., MERING, C. y POU CET, Y. (1989): “Traitements d’image spatiale appliqués à la recherche archéologique: mise en évidence de réseaux en Inde du Nord”, *Cahiers ORSTOM*, serie Sciences Humaines 24:3, Paris, pp. 417-426.
- DELEZIR, J. y GUY, M. (1992): “Spectre et filtrages en direction pour l’étude des parcellaires anciens”, *Photo Interpretation: Images Aériennes et Spatiales* 30, Paris, pp. 138-147.
- DONOGHUE, D. (1989): “Remote sensing and wetland archaeology”, *The Archaeology of Rural Wetlands in England* (J. M. Coles y B. Coles, Eds.), Exeter, pp. 42-45.
- DORSETT, J., GILBERTSON, D., HUNT, C. y BARKER, G. (1984): “The UNESCO Libyan Valleys Survey VIII: image analysis of Landsat satellite data for archaeological and environmental surveys”, *Libyan Studies* 15, pp. 71-80.
- DORSETT, J. E. y GRAHAM, G. (1988): “An examination of Rumanian Iron Age ecology using Landsat”, *Téledétection et Cartographie Thématique en Archéologie* (E. Barisano, Ed.), Notes et Monographies Techniques n.º 18, CNRS, Paris, pp. 125-137.
- DRAGER, D. L. (1980): “Vegetative stratifications from aerial imagery”, *Cultural Resources Remote Sensing* (T. R. Lyons and F. J. Mathien, Eds.), Remote Sensing Division, Southwest Cultural Resources Center, Albuquerque, pp. 79-86.
- EBERT, J. I. (1980): “Remote sensing in large-scale cultural resources survey: a case study from the Arctic”, *Cultural Resources Remote Sensing* (T. R. Lyons and F. J. Mathien, Eds.), Remote Sensing Division, Southwest Cultural Resources Center, Albuquerque, pp. 7-54.
- (1984): “Remote sensing applications in archaeology”, *Advances in Archaeological Method and Theory* 7 (M. Schiffer, Ed.), London, pp. 86-100.
- (1987): “A prehistoric/historic native American irrigation system near Palm Springs (California, USA)”, *Photo Intépretation: Images Aériennes et Spatiales* 6, Paris, pp. 31-40.
- (1989): “Techniques, methods and theoretical goals in American archaeological remote sensing: “Predictive modelling” as an example”, *Into the Sun* (D. Kenedy, Ed.), Southampton, pp. 86-101.
- EBERT, J. I. y LYONS, T. R. (1976): “The role of remote sensing in a regional archaeological research dessign: a case study”, *Remote Sensing Experiments in Cultural Resource Studies. Non-Destructive Methods of Archaeological Exploration, Survey and Analysis* (T. R. Lyons, Ed.), Reports of the Chaco Center 1, Albuquerque, pp. 5-11.
- EBERT, J. I. y GUTIERREZ, A. A. (1979): “Relationships between landsacapes and archaeological sites in Shenandoah National Park: a remote sensing approach”, *ATP (Bulletin of the Association for Preservation Technology)* XI: 4, pp. 69-87.
- EBERT, J. I. y HITCHCOCK, R. J. (1980): “Locational modelling in the analysis of the prehistoric roadway system at and around Chaco Canyon, New Mexico”, *Cultural Resources Remote Sensing* (T. R. Lyons and F. J. Mathien, Eds.), Remote Sensing Division, Southwest Cultural Resources Center, Albuquerque, pp. 169-207.
- EBERT, J. I. y LYONS, T. R. (1980): “Prehistoric irrigation canals identified from SKYLAB III and LANDSAT imagery in Phoenix, Arizona”, *Cultural Resources Remote Sensing* (T. R. Lyons and F. J. Mathien, Eds.), Remote Sensing Division, Southwest Cultural Resources Center, Albuquerque, pp. 209-228.
- EBERT, J. I. y GUTIERREZ, A. (1981): “Remote sensing of geomorphological factors affecting the visibility of archaeological materials”, *Technical Papers of the American Society of Photogrammetry*, 47th Annual Meeting, Washington, pp. 226-236.
- EARTH RESOURCES DATA ANALYSIS SYSTEM (1990): *ERDAS Field Guide. Revision 7.5*, Atlanta.
- FINDLOW, F. y CONFELD, L. (1980): “Landsat imagery and the analysis of archaeological catchment territories”, *Catchment Analysis. Essays on Prehistoric Resource Space*, Anthropology UCLA 10:1-2, pp. 31-52.
- FRERE, S. S. y ST. JOSEPH, J. K. (1983): *Roman Britain from the Air*, Cambridge University Press.
- GUY, M. (1987): “Anciens parcellaires quadrillés de la region de Teotihuacán (Mexique)”, *Photo Intépretation: Images Aériennes et Spatiales* 87:6, Paris, pp. 57-64.
- HAGGET, D. (1976): *Análisis Locacional en Geografía Humana*, Gustavo Gili, Barcelona.
- HAIGH, J. G. B. (1989): “Rectificación of aerial photographs by means of desk-top systems”, *Computer*



- Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1989* (S. Rahtz y J. Richards, Eds.), B.A.R. International Series 548, Oxford, pp. 99-109.
- HERNANDEZ, M. C. (Coord.) (1992): *Jornadas sobre Teledetección y Geofísica Aplicadas a la Arqueología (Madrid, 7-10 de mayo de 1986. Mérida, 1-3 de octubre de 1987)*, Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Madrid.
- HODDER, I. y ORTON, C. (1976): *Spatial Analysis in Archaeology*, Cambridge University Press.
- HOFFMAN, M. A. (1982): "The archaeological use and potential of remote sensing in arid and semi-arid lands", *Proceedings of International Symposium on Remote Sensing. First Thematic Conference: "Remote Sensing in Arid and Semi-arid Lands"* vol. 1, El Cairo, pp. 463-464.
- INGLIS, M., BUDGE, T. K. y EBERT, J. I. (1984): "Preliminary evaluation of simulated SPOT data for cultural resources assessment: an experiment at Bandelier National Monument, New Mexico", *Proceedings of SPOT Symposium, Scottsdale, Arizona, May 22-23*, American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia, pp. 73-82.
- JENSEN, J. R. (1986): *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*, Prentice-Hall, New Jersey.
- JOYCE, C., FULLER, D. y NOEL, M. (1992): "Archaeology takes to the skies", *New Scientist* vol. 133:1805 (25th January 1992), pp. 42-45.
- KENEDY, D. (Ed.) (1989): *Into the Sun. Essays in Air Photography in Archaeology in Honour of Derrick Riley*, Sheffield.
- LILLESAND, T. M. y KIEFER, R. W. (1987): *Remote Sensing and Image Interpretation*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York.
- LYONS, T. R. y HITCHCOCK, R. K. (1977): "Remote sensing interpretation of an Anasazi land route system", *Aerial Remote Sensing Techniques in Archaeology* (T. R. Lyons and R. K. Hitchcock, Eds.), Reports of the Chaco Center 2, Albuquerque, pp. 111-135.
- MADRY, S. L. H. (1984): "A multiscale application of remote sensing for regional archaeological survey", *Technical Papers of the American Society of Photogrammetry*, 50th Annual Meeting, Washington, pp. 113-121.
- MADRY, S. L. H. y CRUMLEY, C. L. (1990): "An application of remote sensing and GIS in a regional archaeological settlement pattern analysis: the Arroux river valley, Burgundy, France", *Interpreting Space: GIS and Archaeology* (K. Allen et al., Eds.), London, pp. 264-380.
- MATHER, P. (1987): *Computer Processing of Remotely Sensed Images*, John Wiley, Chichester.
- McHUGH, W., McCAULEY, J., HAYNES, C., BREED, C. y SCHABER, G. (1988): "Paleorivers and geoarchaeology in the southern Egyptian Sahara", *Geoarchaeology* 3:1, New York, pp. 1-40.
- MONTUFO MARTIN, A. M. (en preparación): *An Investigation into the Role of Satellite Remote Sensing and Digital Image Processing in Archaeology. The Example of Centuriation*, Thesis to be submitted for the degree of Master of Science in Environmental Remote Sensing, Department of Geography, University of Aberdeen (Scotland, U. K.).
- PERISSET, M. C. y TABBAGH, A. (1981): "Interpretation of thermal prospection on bare soils", *Archaeometry* 23, Cambridge, pp. 169-188.
- PINSONNEAULT, M., DUBOIS, J. M. y EBERT, J. I. (1987): "La télédétection archéologique en Amérique du Nord", *Photo Interprétation: Images Aériennes et Spatiales* 87:5, Paris, pp. 1-20.
- PLATT, C. (1984): *Medieval Britain from the Air*, Guilford Publishing, London.
- RILEY, D. (1944): "The technique of air-archaeology", *Archaeological Journal* 101, pp. 1-16.
- SANCHEZ PALENCIA, F. J. y FERNANDEZ-POSSE, M. D. (1992): "Fotointerpretación aplicada a la prospección arqueológica: los castros de La Valderia y La Cabrera (León)", *Jornadas sobre Teledetección y Geofísica Aplicadas a la Arqueología (Madrid, 7-10 de mayo de 1986. Mérida, 1-3 de octubre de 1987)* (M. C. Hernández, Coord.), Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Madrid, pp. 175-188.
- SANCHEZ PALENCIA, F. J. y OREJAS, A. (1991): "Fotointerpretación y prospección arqueológica: ocupación y explotación del territorio", *Arqueología. Nuevas Tendencias* (A. Vilá, Coord.), CSIC, Madrid, pp. 1-22.
- SCOLLAR, I. (1987): "Un système intégré pour une cartographie numérique à grande échelle basé sur des photographies aériennes obliques et une banque des données", *Archéologie et Aménagement*, Patrimoine Architectural, Rapports et études 5, Strasbourg, pp. 11-19.

- SEGARRA, D. y MELIA, J. (1991): "La utilización del ordenador personal en el tratamiento digital de imágenes en Teledetección", *Teledetección y Medio Ambiente. IV Reunión Científica Asociación Española de Teledetección* (J. M. Moreira, Ed.), Sevilla, pp. 26-34.
- SINCLAIR, P., KOKONYA, M., MENESES, M. y RAKATOARISOA, J. A. (1992): "The impact of information technology on the archaeology of southern and eastern Africa. The first decades", *Archaeology and the Information Age. A Global Perspective* (P. Reilly y S. Rahtz, Eds.), Routledge, pp. 28-40.
- TABBAGH, A. (1984): "An evaluation of the use of thermal airborne prospection for archaeology during the last ten years", *Proceedings of IGARSS '84 Symposium*, Strasbourg, pp. 205-208.
- (1992): "Bilan des prospections thermiques aéroportées réalisées en France entre 1975 et 1985", *Jornadas sobre Teledetección y Geofísica Aplicadas a la Arqueología (Madrid, 7-10 de mayo de 1986. Mérida, 1-3 de octubre de 1987)* (M. C. Hernández, Coord.), Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Madrid, pp. 49-52.
- VALIGA, J. P., HERIG, M. y REBORCHICK, F. (1989): "Use of Large Format Camera photography for archaeological studies in Jordan, Lebanon and Israel", *Technical Papers ASPRS/ACSM. Annual Convention 1989* vol. 3, pp. 419-424.
- VEILLAS, C. (1988): "SPOT and remote sensing examples of applications, interest in archaeology", *Téledétection et Cartographie Thématique en Archéologie* (E. Barisano, Ed.), Notes et Monographies Techniques n.º 18, CNRS, Paris, pp. 49-57.
- VITA-FINZI, C. y HIGGS, E. S. (1970): "Prehistoric economy in the Mount Carmel area of Palestine: Site Catchment Analysis", *Proceeding of the Prehistoric Society* 36, pp. 1-37.
- WELLS, I., CUSTER, J. y KLEMAS, V. (1981): "Locating prehistoric archaeological sites using Landsat data", *Fifteenth International Conference on Remote Sensing of the Environment (Michigan 1981)*, Michigan, pp. 456-462.
- WILSON, D. R. (1982): *Air Photo Interpretation for Archaeologists*, London.
- (1989): "The formation and appearance of archaeological soil marks", *Into the Sun* (D. Kennedy, Ed.), Southampton, pp. 48-65.



Lám. I.—a) Imagen multispectral (bandas TM 7, TM 5, TM 1) georeferenciada del Sureste de Mallorca.  
b) Área de Santanyí (Mallorca). Resultado de una operación de filtrado digital direccional.