

APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN EN ARQUEOLOGÍA. NUEVAS PERSPECTIVAS.

T. Chapa (*), S. Ormeño (**), J. M. Vicent (***), A. R.odríguez (***) y A. Uriarte (*).

tchapa@eucmax.sim.ucm.es

(*) *Departamento de Prehistoria, Facultad de Historia, Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitari, s/n, 28040 Madrid.*

(**) *EUITT, Universidad Politécnica de Madrid. Carretera de Valencia km. 7,5, 28031 Madrid.*

(***) *Centro de Estudios Históricos, CSIC. Serrano 13, 28001 Madrid.*

ABSTRACT: This paper is intended to show the advantages of new techniques as Remote Sensing, Global Positioning Systems and Geographic Information Systems on the desing of research projects directed toward the aims of Landscape Archaeology. Centered on the recognition of Iberian Iron Age settlement patterns on the lower valley of the river Guadiana Menor, we describe new approaches to the exploitation of remote sensing technics in the contexto of archaeological research.

RESUMEN: El presente trabajo pretende mostrar las ventajas de nuevas técnicas como la Teledetección Espacial, GPS y Sistemas de Información Geográfica en el diseño y gestión de proyectos enfocados desde la Arqueología del Paisaje. Centrándonos en el conocimiento del poblamiento ibérico en el bajo valle del Guadiana Menor, se describen las nuevas perspectivas para la explotación de técnicas de Teledetección en el contexto de la investigación arqueológica.

KEY WORDS: landscape archaeology, remote sensing, geographic information systems, iberian culture.

PALABRAS CLAVE: arqueología del paisaje, teledetección, sistemas de información geográfica, cultura ibérica.

El objetivo de la presente comunicación es presentar las líneas de investigación desarrolladas dentro del proyecto DGICYT PB95-0375, La sociedad Ibérica en el Sureste Peninsular: una perspectiva espacial (investigadora principal T. Chapa Brunet, UCM) en relación con las aplicaciones arqueológicas de la Teledetección espacial. Este proyecto se inscribe dentro de una línea de investigación desarrollada por investigadores de la UCM, la UPM y el CSIC en el contexto del Laboratorio de Proceso Digital de Imagen y Teledetección del Departamento De Prehistoria del Centro de Estudios Históricos del CSIC, cuyo planteamiento general es proponer nuevos campos de aplicación para la Teledetección en la Arqueología y la gestión del Patrimonio Histórico1.

1Otros proyectos en la misma línea desarrollados en el contexto del Laboratorio son los siguientes: DGICYT PS95-0031, El inicio de la

Las posibilidades de una relación fructífera entre Teledetección y Arqueología vienen siendo exploradas desde hace tiempo (Rodríguez Alcalde 1996). No obstante, el desarrollo de estas relaciones ha estado drásticamente limitado por un enfoque

economía productiva en la gran estepa euroasiática y su impacto en el medio-ambiente: catástrofes ecológicas en la estepa (Investigadora principal M^a Isabel Martínez Navarrete, CEH CSIC) en el que se realizan investigaciones sobre la aplicación de técnicas de Teledetección a la calibración de datos paleo-palinológicos; DGICYT PB95-0227, Aplicaciones del Proceso Digital de Imagen al estudio y conservación del arte rupestre prehistórico (investigador principal J. M. Vicent García, CEH CSIC) sobre aplicaciones de técnicas de Teledetección en el contexto de los estudios sobre arte prehistórico.

mayoritariamente centrado en el uso de imágenes de satélite para la localización de sitios y estructuras arqueológicas, como una prolongación de la larga tradición de la fotointerpretación arqueológica basada en fotografías aéreas. La escasa resolución espacial de los sensores orbitales disponibles para uso civil, en relación con este objetivo anula su eficacia real, más allá de algunos casos excepcionales en los que las dimensiones de las estructuras arqueológicas las hacen accesibles a la observación desde el espacio. La investigación que presentamos pretende superar esta limitación proponiendo nuevos enfoques de aplicación que permitan integrar los modernos enfoques analíticos e instrumentales de la Teledetección espacial en objetivos arqueológicos más ambiciosos. Estos objetivos se definen a partir de dos procesos que han afectado en la última década a la práctica arqueológica:

- 1) un proceso de maduración teórica que ha conducido a un interés creciente por el contexto geográfico del registro arqueológico como una clave interpretativa y predictiva de primer orden y la consiguiente ampliación a la escala regional de los escenarios de investigación.

- 2) un desarrollo considerable de las demandas sociales en torno al control y conservación del patrimonio arqueológico que se concreta, igualmente, en escenarios regionales de actuación.

Por otra parte, la generalización del acceso a medios de procesamiento de imágenes de satélite, la incorporación a los estándares de trabajo arqueológico de los Sistemas de Información Geográfica y, más recientemente, del GPS, determinan las posibilidades técnicas en las que la Teledetección puede responder a las demandas planteadas por estos dos procesos convergentes en dos ámbitos:

- 1) como fuente de información sintética sobre la distribución, variabilidad y dinámica de los factores geográficos necesarios para la interpretación histórica y sociológica del registro arqueológico y la reconstrucción de los paisajes antiguos.

- 2) como herramienta de apoyo a la prospección arqueológica y a la gestión patrimonial en cuanto fuente de información sobre relevantes factores que determinan la preservación del registro arqueológico.

El proyecto PB95-0375, "La sociedad Ibérica en el Sureste Peninsular: una perspectiva espacial" explora estos dos campos a partir de la integración sistemática de la explotación de imágenes Landsat 5 TM en varias fases de la investigación, como herramienta para la modelización de variables relevantes para la investigación y como sistema de control y registro del trabajo de campo. A continuación se presentan brevemente los planteamientos del proyecto y las experiencias en lo que se refiere al uso de las imágenes de satélite.

Desde el punto de vista arqueológico el proyecto se propone investigar las estrategias de poblamiento y explotación del territorio desarrolladas durante el periodo ibérico de la Segunda Edad del Hierro (entre el siglo VI a. C. y la conquista romana) en el espacio definido por la cuenca baja del río Guadiana Menor (provincia de Jaén) (figura 1). Este objetivo se relaciona con recientes debates científicos en el campo de los estudios sobre el mundo ibérico, y más concretamente sobre su estructura social y política y las bases económicas de la sociedad ibérica en la Alta Andalucía, cuya exposición está fuera de lugar aquí. Interesa señalar, en cualquier caso, que estos debates giran en torno a diversos modelos propuestos de organización sociopolítica que implican distintas formas de ocupación del territorio. Esto hace del análisis locacional de los patrones de asentamiento ibéricos un campo de contrastación de primer orden para las hipótesis históricas en discusión. El proyecto se propone llevar a cabo esta contrastación en un área que ofrece *a priori* características interesantes, como el carácter estratégico del corredor del Guadiana Menor en el acceso al Mediterráneo desde el Alto Guadalquivir a través de las altiplanicies granadinas.

Esta circunstancia fue relevante en época ibérica, ya que el control de las vías de comunicación era uno de los elementos clave en la estrategia política y económica de los centros territoriales altoandaluces. Además, este área supuso en estos momentos un espacio de umbral entre poblaciones que en ciertas épocas serán conocidas como bastetanas y oretanas, lo que implicaría un refuerzo en las estrategias de dominio territorial (Chapa Brunet *et al.* 1995). El centro del espacio de estudio está ocupado por el importante asentamiento ibérico de Los Castellones de Ceal, bien conocido a partir de excavaciones arqueológicas, que debió desempeñar un papel importante en la estructuración de la ocupación del territorio.

Se trata, por lo tanto, de dirigir la investigación hacia la reconstrucción, por una parte,

de los propios patrones de asentamiento ibérico en el área (figura 2), y por otra, hacia la de dos de los componentes de su modelo territorial: la distribución de los factores de producción agraria y las vías naturales de comunicación. A partir de estas bases se podrá acometer la contrastación de los distintos modelos locacionales predichos por las interpretaciones en discusión.

La explotación de datos Landsat 5 TM ofrece la posibilidad de modelizar estos factores y utilizarlos como base para la contrastación de hipótesis locacionales, con objeto de establecer regularidades significativas en los patrones de ocupación del territorio. El ejemplo de la figura 3 muestra cómo el emplazamiento de un poblado ibérico (es este caso Los Castellones de Ceal) maximiza ciertos valores del índice normalizado de vegetación (NDVI, obtenido a partir de datos Landsat5 TM) en su área de captación económica inmediata (1 Km de radio) El peso de esta tendencia viene dado por el contraste, estadísticamente modelizable, con la distribución del NDVI en la cuenca en la que está localizado y en el conjunto del área de estudio, expresada en la figura por sus correspondientes histogramas. El dispositivo metodológico básico del proyecto consiste en la comparación controlada de estas observaciones para conjuntos amplios de emplazamientos arqueológicos de distintas épocas a partir de modelos estándar de la geografía locacional.

Este dispositivo se puede implementar con facilidad (y un coste relativamente bajo) a partir de una plataforma de SIG (el proyecto viene usando el *software ArcView*) y un sistema de proceso digital de imagen (en este caso *ERMMapper v.5.1*).

Ahora bien, resulta evidente que los datos del sensor reflejan el estado actual de los paisajes (en este caso una imagen del 15/8/94). No es posible extrapolar de forma inmediata ningún resultado sobre la distribución actual de factores geográficos a periodos tan distantes en el tiempo como las edades del Hierro o del Bronce. Es por lo tanto necesario introducir el factor temporal en el dispositivo, mediante la crítica histórica de las variables de análisis. Esto equivale a convertir el paisaje, y por lo tanto la imagen Landsat TM a partir de la cual se modelizan sus componentes significativos, en objeto de un trabajo propiamente arqueológico, destinado a establecer en qué términos los valores y tendencias observables en el paisaje actual tienen un significado en relación con los paisajes antiguos.

Estos objetivos determinan un tipo de

práctica arqueológica nueva, caracterizada por la explotación conjunta de imágenes de satélite, modelos digitales del terreno, geodatos procedentes de las series históricas de cartografía o archivos y datos arqueológicos, paleobotánicos y sedimentológicos. Estos objetivos definen también un nuevo enfoque del trabajo de campo, en el que los objetivos arqueológicos básicos (la localización y documentación de estructuras arqueológicas) se cruzan con objetivos histórico-geográficos: la determinación de las transformaciones sufridas por los factores geográficos desde la época de estudio hasta el presente y la obtención de marcadores cronológicos de las mismas.

Un ejemplo típico de este tipo de investigación es la identificación y datación de los episodios erosivos y sedimentarios recientes, asociados a la actividad antrópica, a partir de la presencia de estratos arqueológicos. Así, en los fondos de valle de la zona de estudio ha sido posible identificar ocupaciones romanas datables bajo espesas capas de materiales de derrubio, lo que establece un *terminus post quem* para una de las transformaciones a gran escala del paisaje regional, como es el desmantelamiento erosivo de las laderas de dichos valles. Las formaciones resultantes de este proceso pueden ser espectralmente identificadas a partir de la combinación de observaciones de campo y análisis de los datos Landsat TM. Esto permite cartografiar estas unidades para el conjunto del área de estudio y planificar ulteriores comprobaciones de la hipótesis cronológica.

Este enfoque, aplicable a múltiples factores del paisaje, especialmente si se complementa con investigaciones sedimentológicas y paleobotánicas específicas, tiene también una importante repercusión en los propios métodos de prospección arqueológica, a partir de la generalización a objetivos arqueológicos del método de identificación y evaluación de unidades de paisaje homogéneas. En este caso la definición de estas unidades se hace sobre criterios que incluyen todos aquellos factores que de alguna manera pueden afectar a la conservación diferencial del registro arqueológico por un lado, y a las principales variables relevantes en la ocupación social del territorio por otro. En el primer caso tenemos ejemplos evidentes, como los distintos *filtros* geológicos (erosión, pérdida de horizontes edafológicos, sedimentación diferencial, etc.) O antrópicos (distribución diferencial de los usos del suelo, mecanización de las labores agrarias, etc.) Que pueden determinar la pérdida o invisibilización del registro arqueológico. En el segundo encontramos, al menos en el área de desarrollo de nuestra

investigación, factores no menos claros como la distribución de los recursos hídricos o las vías naturales de comunicación.

Todos estos criterios pueden modelizarse a partir de la explotación de los datos que ofrece el sensor TM con un alto grado de eficiencia dando lugar a "**mapas de prioridades**" para orientar los programas de prospección. Así, por ejemplo, la clasificación representada en la figura 4 está orientada hacia la determinación de unidades erosivas, en relación con el ejemplo anteriormente discutido. La clasificación se somete luego a una contrastación selectiva, guiada por la evaluación de las características específicas de cada una de las **clases** de terreno definidas. Después de esta operación sabemos, por ejemplo, que no es razonable invertir recursos en la prospección de ciertas clases espectrales que se refieren a terrenos cuyos suelos han perdido completamente su horizonte superficial en época reciente, eliminando casi completamente la posibilidad de conservación del registro arqueológico. Otro tanto ocurre con las clases espectrales que se asocian a repoblaciones forestales mecanizadas, comunes en la zona durante las tres últimas décadas. En este caso, el efecto de arrasamiento del registro arqueológico es casi idéntico al anterior.

Además de la localización y cartografía de este tipo de "**filtros corológicos**" que afectan a la accesibilidad del registro, el uso de clasificaciones multispectrales permite la localización de áreas de potencial interés desde el punto de vista de la historia del paisaje regional, por ejemplo los recursos hídricos, cruciales para la determinación de los patrones de ocupación humana en un área de extremada aridez.

La orientación de los programas de prospección a la definición y análisis de **unidades de paisaje**, combina como se ha dicho el enfoque arqueológico y el geográfico. Este sistema requiere un esquema específico de racionalización del proceso de adquisición y anotación de la información. La utilización de técnicas avanzadas de GPS permite sistemas de control flexible del desplazamiento de los equipos de trabajo en el campo: los objetivos pueden ser prefijados de antemano y localizados mediante técnicas de navegación. Al mismo tiempo, la utilización sistemática de dispositivos de registro de posiciones GPS provistos de "diccionarios de

categorías" adecuados, permiten registrar con precisión la localización de cualquier observación y su traslado inmediato al dispositivo de proceso de imagen de satélite. De esta manera el trabajo de campo puede ser eficientemente controlado, reorientado y corregido, "aprendiendo" de la propia experiencia de los equipos de campo. Gracias a este sistema, cualquier observación puede ser inmediatamente transformada en productos cartográficos utilizables en el acto. El enfoque del trabajo arqueológico resultante de la integración de técnicas de Teledetección, SIG y GPS puede ser definido como "prospección arqueológica asistida por satélite", y marca la pauta de lo que puede considerarse el horizonte técnico de la arqueología de enfoque regional del futuro.

Para terminar, hay que señalar que las implicaciones de la incorporación de la Teledetección al contexto interdisciplinar de la Arqueología presentan unas expectativas inmejorables en el terreno de la gestión pública del patrimonio arqueológico, especialmente en lo que se refiere a la elaboración de "cartas de riesgo" que permitan aumentar el control sobre los factores naturales y sociales que amenazan la conservación de los bienes patrimoniales. Parte del trabajo que realizamos en el proyecto se orienta, en este sentido, a establecer protocolos de actuación que permitan la incorporación de estas técnicas y enfoques en la gestión de cartas arqueológicas regionales, parques culturales, etc. La experiencia del proyecto demuestra la viabilidad de este enfoque y la calidad de sus resultados.

BIBLIOGRAFÍA

Chapa Brunet, T., Madrigal Belinchón, A., y Pereira Sieso, J. 1995. Funerary practices and Iberian Society in North East Andalusia. En W.H. Waldren, J.A. Ensenyat y R.C. Kennard (eds.) *Ritual, Rites and Religion in Prehistory*. BAR International Series 611: 194-210.

Rodríguez Alcalde, A.L. 1996. Integración de la Teledetección espacial en un programa arqueogeográfico. En M.A. Querol y T.Chapa (eds.) *Homenaje al Profesor Manuel Fernández Miranda II. Complutum Extra* 6(II): 65-75. Universidad Complutense, Madrid.

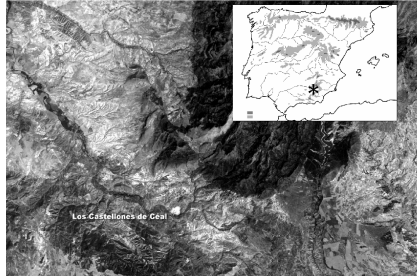


Figura 1.- Localización del área de estudio. Imagen Landsat 5 TM (15/ 8/ 91).

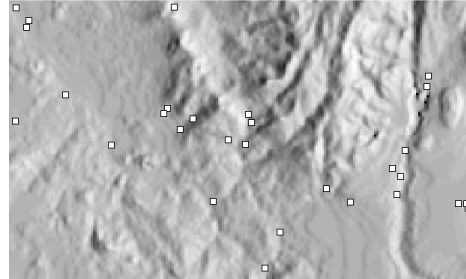


Figura 2.- Distribución de yacimientos arqueológicos en el área de estudio sobre el MDT.

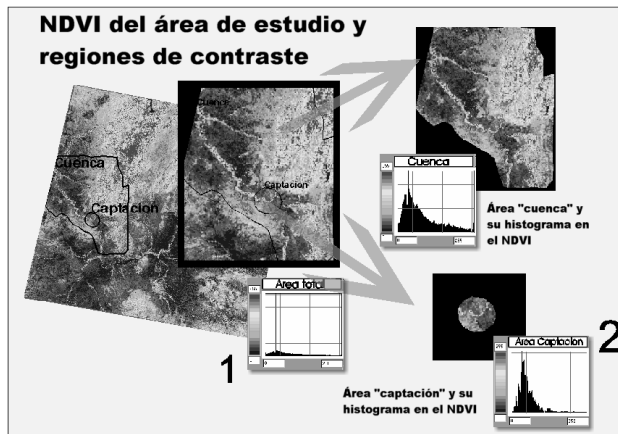


Figura 3.- Ejemplo de análisis locacional.



Figura 4.- Mapa de prospección en el que se detallan las unidades de terreno.