

# Sensores con sentido y sensibilidad. Un enfoque crítico sobre el método en la arqueología geomática y no invasiva

Victorino Mayoral Herrera

Instituto de Arqueología-Mérida (CSIC-Junta de Extremadura), Mérida. Badajoz 

vmayoral@iam.csic.es

<https://orcid.org/0000-0002-1120-299X>

<https://dx.doi.org/10.5209/cmpl.102413>

Recibido: 19/12/2024 • Aceptado 09/04/2025

**ES Resumen:** Desde su irrupción en la metodología arqueológica, la geomática ha transformado de manera radical el análisis de la componente espacial del registro. Lejos de ser una caja de herramientas “neutral”, como producto cultural en sí mismo ha modelado, en función de presupuestos teóricos muy diversos, la manera en que se registra, representa y analiza la información. Este impacto es especialmente evidente en el caso de la denominada “arqueología no invasiva” (prospección de superficie, prospección geofísica y teledetección) que trabaja de manera preferente a una escala de paisaje. Sin embargo, el acelerado desarrollo tecnológico y la disponibilidad abrumadora de geodatos, ha tenido como efecto negativo el reemplazo de la integración de estos recursos dentro de un esquema metodológico, por su utilización acrítica, primando una valoración de la tecnología como algo beneficioso en sí mismo. En este trabajo realizamos una revisión de cómo se ha desarrollado este proceso en los últimos 30 años, planteando a continuación algunos problemas y retos del momento presente y su posible trayectoria de evolución futura. Se sostiene como tesis principal que los modelos explicativos a escala de paradigma y las preguntas históricas que se derivan de ellos son el motor que debe impulsar la toma de decisiones acerca de los procedimientos a emplear, dando así su más pleno sentido al concepto de metodología arqueológica.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica; prospección; teledetección; metodología.

## EN Sensors with sense and sensibility. A critical approach about methods in geomatics and non-invasive archaeology

**EN Abstract:** Since its emergence, geomatics has radically transformed the analysis of the spatial component of the archaeological record. Far from being a “neutral” toolbox, as a technological product in itself it has shaped, based on very diverse theoretical assumptions, the way in which information is recorded, represented and analysed. This impact is especially evident in the case of so-called “non-invasive archaeology” (surface and geophysical survey, remote sensing) which works primarily at a landscape scale. However, the accelerated technological development and the overwhelming availability of geodata have had the perverse effect of replacing the integration of these resources within a methodological scheme with their uncritical use, giving priority to an assessment of technology as something beneficial in itself. In this paper we offer a critical review of how this process has developed over the last 30 years in Spanish archaeology. After that we will raise some problems and challenges of the present moment and their possible future evolution. It is argued as a main thesis that explanatory models at a paradigm scale and the historical questions that arise from them are the driving force that should drive decision-making about the procedures to be used, thus giving its fullest meaning to the concept of archaeological methodology.

**Keywords:** Geographic Information systems; archaeological survey; remote sensing; methodology.

**Sumario:** 1. Arqueología, territorio y geomática, un relato personal, 2. El espectro se amplía: hacia una arqueología realmente digital, 3. Retos actuales y perspectivas de futuro, 4. Conclusión. Echando la vista atrás, qué hemos aprendido, y qué no, 6. Bibliografía.

**Cómo citar:** Mayoral Herrera, V. (2025): Sensores con sentido y sensibilidad. Un enfoque crítico sobre el método en la arqueología geomática y no invasiva. *Complutum*, 36(1): 47-60

## 1. Arqueología, territorio y geomática, un relato personal

No hace falta ser arqueólogo para percibir, con la perspectiva que dan los años (quien escribe esto en 2024 nació en 1970), lo mucho que la tecnología ha transformado nuestra manera de relacionarnos con el mundo. En estas páginas quiero referirme de modo más específico a cómo este tipo de cambios afectaron a la manera de hacer arqueología en mi país, concretamente en el ámbito de lo que podríamos denominar estudios 'geográficamente orientados'. Como no puede ser de otro modo, se tratará de una visión personal, determinada por la perspectiva que me ha dado mi recorrido particular, y en ningún caso pretendo abordar la tarea de un estado de la cuestión exhaustivo. No creo de hecho deseable que este tipo de textos se conviertan en una relación pormenorizada de obras, o una descripción del contenido de los trabajos que sobre una determinada temática se han escrito. Veo en cambio más provechoso un acercamiento crítico a la búsqueda de tendencias generales y que, además, de cuenta de las corrientes de pensamiento y las voluntades, personales o institucionales, que propiciaron estos cambios.

Pero antes de entrar a analizar los cambios tecnológicos y su impacto en el ámbito de nuestra disciplina, es preciso valorar, aunque sea brevemente, el trasfondo político y socioeconómico que hay detrás. Por el tiempo en el que el que escribe inició sus estudios en la Facultad de Historia de la Universidad Complutense (1989-1993), se habían consumado una serie de transformaciones que serían determinantes en el desarrollo de la actividad profesional de la arqueología. La construcción del estado de las Autonomías, tras la promulgación de la Constitución de 1978, genera un nuevo modelo de custodia del Patrimonio, que se va a consolidar a inicios de la década de los 80. En consonancia con ello se produce en 1985 la aprobación de la Ley de Patrimonio Histórico Español. El sistema de

gestión centralizado por el Estado y sus instituciones da paso a un traspaso de competencias y una multiplicación de agentes. Esto último, unido al desarrollo económico, propicia por primera vez el arranque de una actividad comercial como alternativa al ejercicio de la profesión desde universidades, museos y otros organismos públicos de investigación.

Aunque era ya entusiasta partidaria de los métodos cuantitativos, la arqueología que se practicaba en España a finales de los 80 del siglo pasado era esencialmente analógica. Los ordenadores empezaban a entrar en los hogares como un nuevo y exótico electrodoméstico, pero los equipos informáticos con prestaciones avanzadas eran aún costosos y minoritarios.

Fue por esas fechas cuando empecé a colaborar en los trabajos de laboratorio del Departamento de Prehistoria. Puedo aprovechar estas líneas para dejar constancia de la fortuna de haber recibido allí mi formación especializada, a través de la labor docente de maestros como Víctor Fernández o Gonzalo Ruiz Zapatero (que tuvieron gran importancia en la difusión de la arqueología espacial en la enseñanza universitaria y en la organización con Francisco Burillo de los Coloquios de Arqueología Espacial, de los que hablaré en seguida), y por supuesto, de Teresa Chapa. Apenas iniciada la carrera, me incorporé como voluntario en el equipo que ella lideraba junto con Juan Pereira para el estudio del mundo ibérico del valle del Guadiana Menor, en los confines entre Jaén y Granada. Y fue precisamente gracias a ella, y a su trabajo conjunto con el equipo de Juan Vicent desde el Instituto de Historia del CSIC, cómo pude ir experimentando la aceleración tecnológica que fue fortaleciendo nuestra labor.

En ese momento irrumpía con fuerza una nueva y poderosa herramienta para la investigación: los Sistemas de Información Geográfica (SIG en lo sucesivo). Lo hizo con el tradicional retraso con el que llegan las innovaciones a nuestro ámbito, ya que los primeros trabajos publicados sobre el empleo de

esta tecnología en la arqueología global datan de mediados de los años 80 (Harris 1986; Kvamme 1986; Wansleeben 1988). Como algunos autores han señalado (Gillings *et al.* eds. 1999), este nuevo conjunto de herramientas encontró su acomodo idóneo en el desarrollo de trabajos extensivos centrados en la organización del territorio. Esto revolucionó, en primer lugar, la manera de obtener y gestionar la información esencial de la que se alimentan este tipo de estudios, dentro de la cual la prospección de superficie y otros métodos no invasivos constituyen una piedra angular del registro. Desde al menos la década de los 60 a ambos lados del Atlántico se había estado gestando una aproximación crítica hacia este tipo de información, tan compleja y problemática en su interpretación como en su representación cartográfica y cuantitativa. Esto llevó a la consolidación de un *corpus* reglado de procedimientos y a la conformación de toda una subdisciplina dentro de la metodología arqueológica (Banning 2002). Los nuevos modelos de representación ofrecidos por el soporte digital sirvieron para integrar grandes conjuntos de datos sobre la presencia de 'sitios' y otras evidencias menos conspicuas de la actividad humana en el paisaje. El análisis espacial de esta información favoreció el desarrollo de un enfoque distribucional realmente multiescalar y con un marco temporal de larga duración (algo que encajaba como un guante en las demandas de enfoques

teóricos potentes sobre la lectura arqueológica del paisaje). En segundo lugar, la característica estructura en capas de información de los SIG permitió el análisis cruzado de un amplio conjunto de variables temáticas, lo cual ofreció una nueva perspectiva para responder a preguntas sobre el comportamiento espacial de los grupos humanos. La modelización de la visibilidad y la movilidad fue en este sentido uno de los problemas que recibieron mayor atención (Weathley 1995; Llobera 2003), siendo de hecho uno de los temas de estudio pioneros en la aplicación de esta tecnología en España.

Estos trabajos fueron una buena muestra del optimismo con que estas innovaciones fueron recibidas por la arqueología académica en el entorno que me tocó vivir, ya entrando en pleno proceso de redacción de mi tesis doctoral (1996-1999). Pero es importante recalcar al respecto que esta nueva ola no surgió del vacío. El campo estaba cuidadosamente abonado por una generación de investigadores/as, de la que Teresa Chapa formaba parte, que durante las décadas precedentes habían redefinido la arqueología española, colocando el análisis del territorio en el primer plano de la agenda científica. Mucho más allá de esto, este cambio trascendental expresó un movimiento desde una disciplina ensimismada en los artefactos y la descripción, a una revalorización del contexto y la explicación (véase un análisis crítico de la arqueología española de este período en Martínez Navarrete 2002).



Fig. 1. Teresa Chapa y el equipo de prospección del proyecto Guadiana Menor en las salinas de Chillar (Hinojares, Jaén), año 1999. De izquierda a derecha: Antonio Madrigal, Antonio Uriarte, Ignacio Zavala, Juan Vicent, Victorino Mayoral, Juan Gaspar, Ángel Rodríguez, Raquel Vidal, Teresa Chapa y Julia Sánchez.

Como es cosa sabida, el gran crisol en el que se plasmó este debate fueron los coloquios internacionales de arqueología espacial celebrados en Teruel (Mederos 1997). El penúltimo de ellos, celebrado en 1998, tuvo a la arqueología del paisaje como tema central, y ya incluye un buen número de propuestas centradas en las posibilidades de los SIG (AA.VV. 1998). Hay así un puente de conexión entre un asentado debate teórico (que era diverso, con un espectro de posturas desde el estructuralismo hasta el materialismo dialéctico más ortodoxo), y la asimilación crítica de las que entonces sí que se podían denominar 'nuevas tecnologías'. Su aplicación contribuyó a expandir y revitalizar los sólidos programas de trabajo de los citados focos de reflexión teórica. Ocurre así en el caso de la entonces joven Universidad de Jaén, creada en 1993 (el Instituto Universitario de Investigación en Arqueología Ibérica nace en 2012) (Aranegui 2024; Arteaga 2024). Se apostó decididamente por expandir las posibilidades de un análisis espacial clásico del territorio, con el empleo de información geográfica para definir variables cuantitativas como un medio para caracterizar las pautas de localización de los sitios arqueológicos. Paradigmático es en este sentido, desde mi punto de vista, el estudio realizado sobre el territorio de las Calañas de Marmolejo (Molinos *et al.* 1994). No hay aún un procesado digital de la información cartográfica (sí de la numérica mediante análisis estadístico), pero están las bases de un tipo de geoprocessos que los SIG han convertido en rutinarios. Similares novedades se estaban produciendo en el ámbito de la prospección arqueológica, donde la geomática empezó a entrar como medio auxiliar para representar de manera mucho más detallada las complejas distribuciones del rico palimpsesto de materiales que tapizaba los campos giennenses (Gutiérrez Soler 1998; Torres Escobar *et al.* 2004).

Un maridaje parecido entre continuidad y cambio se dio dentro de algunos centros e institutos de investigación del CSIC. Es el caso del Laboratorio de Patrimonio, surgido en el seno del Instituto de Estudios Galegos Padre Sarmiento (germen de lo que sería más tarde el INCIPIT) con el relevo representado por autores como César Parcerio. Aún en ese momento de finales de los 90, el empleo de los sistemas de posicionamiento era objeto de reflexión metodológica en el marco de los proyectos desarrollados en Galicia (Amado Reino 1997).

Por su parte, en el Instituto de Historia, también perteneciente al CSIC, el Grupo de Investigación sobre Prehistoria Social

y Económica encabezado por Juan Vicent conforma por entonces un espacio único, el Laboratorio de Teledetección y Proceso Digital de Imagen (Labtel) (Vicent *et al.* 2004). De nuevo la conexión entre las viejas preguntas y los nuevos métodos fue un estímulo eficaz para la innovación y la experimentación, en este caso en busca de propuestas para implementar herramientas metodológicas como el *Site Catchment Analysis* para el análisis de la prehistoria reciente del sureste iniciada por Gilman o del propio Vicent y otros (López, coord. 1991).

En este empeño pudimos ver el gran salto cualitativo que llevó desde sencillas herramientas como el SIAT (Sistema Integrado de Análisis Territorial), un programa informático escrito en *basic* para la modelización geográfica (Fernández Millán y Vicent 1991), hasta la implementación de los primeros algoritmos para simular en un entorno SIG la fricción al desplazamiento, y generar así las áreas isócronas que en los 80 Gilman estimaba de manera empírica caminando en varias direcciones desde los sitios arqueológicos (Vicent *et al.* 2020: 24). De manera paralela, hizo su aparición en esta escena la teledetección satelital, como un medio para caracterizar el entorno y valorar así mejor las decisiones locacionales de los asentamientos (Chapa *et al.* 1998). Por último, pero no en último lugar, es preciso mencionar el despertar en ese momento de otros potentes núcleos de innovación como el representado por la Universidad de Alicante con las aportaciones de autores como Ignasi Grau. El seminario allí celebrado en 2004 (Grau Mira, ed. 2004) supuso un revulsivo para la expansión del empleo de los SIG en la investigación española, y refleja bien cómo se estaba acelerando la implantación de esta tecnología.

Este estimulante momento propició nuevas conexiones que nos llevan, por primera vez, a Extremadura. Porque al mismo tiempo que el Labtel estaba trabajando en la experimentación metodológica sobre los paisajes giennenses, se plantea, de nuevo en colaboración con Antonio Gilman, una nueva línea de trabajo, también centrada en el estudio arqueológico del territorio, tomando como referencia el complejo orientalizante de Cancho Roano (Zalamea de la Serena, Badajoz) y su área de influencia (véase Mayoral *et al.* 2020). El mismo GPS utilizado para cotejar la verdad del terreno, clasificar las imágenes LANDSAT y realizar las prospecciones en el Guadiana Menor, sirvió para geolocalizar los puntos del muestreo probabilístico para caracterizar el poblamiento antiguo en las dehesas de la Serena (Walid y Nuño 2005).



Fig. 2. Desarrollo de las prospecciones arqueológicas en la comarca de La Serena (Badajoz).

Fue poco después (2005) cuando el que escribe, tras una etapa postdoctoral en la Comunidad de Madrid, pasa a incorporarse al Instituto de Arqueología-Mérida (IAM en lo sucesivo). Con la mochila cargada con todas las conexiones citadas, empezamos a trabajar en un programa de investigación sobre los paisajes agrarios en el suroeste peninsular. Si en las prospecciones de Jaén el equipamiento GPS se limitaba a un costoso receptor monofrecuencia ('capado' además por la disponibilidad selectiva impuesta a la señal civil hasta el año 2000), los trabajos de campo en la Serena se realizaron con receptores de mano para un equipo de 7 prospectores (Mayoral *et al.* 2009). Empezaba además a ser viable un flujo de trabajo ágil entre la captura de datos en campo y su gestión con herramientas SIG, tanto paquetes comerciales como soluciones de *software libre* (Cerrillo y Mayoral 2009). La democratización del acceso a estas tecnologías era cada vez más patente, potenciando la multiplicación de casos de aplicación en el panorama peninsular. Todo ello creó el clima propicio para iniciar una experiencia formativa que aún hoy, 20 años después, sigue activa: el curso de postgrado sobre Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) y Arqueología. Organizado inicialmente por el IAM en colaboración con el Consorcio y el Centro Universitario de Mérida, incorporó en seguida al recién creado INCIPIT. La filosofía de estos encuentros se orientó desde el principio a fomentar el uso crítico de las herramientas geomáticas, dejando en un segundo plano los procedimientos mecánicos,

y dando el protagonismo a las preguntas de la investigación. El formato presencial, tanto en Mérida como en Santiago de Compostela, propició la formación de un nuevo espíritu generacional, cuyo fruto puede haber sido la plena consolidación de la implantación de esta tecnología en los estudios arqueológicos (Mayoral, Parcerio y Fábrega, eds. 2017). El Simposio Internacional sobre Tecnologías de Información Geográfica y análisis arqueológico del territorio, celebrado en Mérida en 2007 (Mayoral y Celestino, coords. 2011) refrendó esta tendencia

¿Qué ha pasado desde entonces con la ola de penetración de las TIG en Arqueología? El contexto tecnológico ha sido desde luego determinante. Esto es así en primer lugar desde el punto de vista del *hardware*, con un incremento exponencial de la capacidad de los equipos informáticos. En segundo lugar, el cumplimiento de las directivas europeas para garantizar el acceso abierto de toda la información digital custodiada por las agencias gubernamentales ha posibilitado una disponibilidad extraordinaria de geodatos. Como tercer elemento clave, las herramientas de *software libre* se han hecho cada vez más amigables y competitivas frente a las grandes casas comerciales. De este modo, hoy día cualquier usuario sin conocimientos avanzados de informática tiene a su alcance todos los elementos para poner en práctica una aplicación geomática sobre datos arqueológicos, algo que obviamente representa tanto una gran oportunidad, como un gran riesgo.

En resumidas cuentas, se ha consumado la integración de esta tecnología en nuestra práctica cotidiana, lo cual no quiere decir necesariamente que siempre se haya hecho un buen uso de ella. Como en el caso de dispositivos metodológicos como el SCA, ya citado, y otros procedimientos que trajo la arqueología procesual, se han generado a veces aportaciones puramente descriptivas, y su uso acrítico ha dado lugar, una vez más, a visiones actualistas y ahistóricas sobre el comportamiento espacial de las sociedades del pasado. Inevitablemente, el formato digital no puede solventar por sí mismo las carencias teóricas de base. Por contra, un uso no inocente, que ha primado su carácter heurístico y experimental, ha dado lugar a propuestas cada vez más refinadas para la modelización de variables como la movilidad (Fábregas 2016; Parcero y Fábregas 2023). Con un enfoque similar se han planteado en los últimos años estudios orientados a aprovechar el potencial de la geomática para mejorar nuestra comprensión del registro de superficie. En ocasiones se trata de una evidencia vinculada a eventos sumamente efímeros como los campos de batalla (Bellón *et al.* 2015), si bien la tendencia predominante ha sido su uso para analizar procesos de larga duración como es el caso de la explotación del territorio y la configuración de los paisajes agrarios (Grau y Sarabia 2022; Mayoral *et al.* 2022; García Sánchez 2023).

## 2. El espectro se amplía: hacia una arqueología realmente digital.

De todo lo expuesto hasta aquí, cabría deducir que, con mayor o menor éxito, la arqueología española supo lidiar con el monstruo de lo que J. Vicent denominó el 'terror tecnológico' de las TIG, sacándole provecho para dar respuesta a numerosas aspiraciones de la investigación, sobre todo a escala territorial. En esas estábamos cuando comenzó a asomar en el horizonte una nueva ola de incorporación de recursos digitales, con un volumen y una diversidad sin precedentes y que amenaza con fagocitarnos.

Desde la perspectiva del trabajo a escala de sitio, hemos pasado de la representación geométrica generada mediante escáner láser (aún a día de hoy un equipamiento costoso y que requiere para la gestión de sus datos de un alto nivel de conocimiento experto), a la democratización total mediante la popularización de la fotogrametría digital y el software SFM (del inglés *structure from motion*). Actualmente, con una cámara y una estación total es posible generar modelos

tridimensionales que han revolucionado la manera de registrar todo tipo de contextos y estructuras, y empezamos ya a ver sensores en dispositivos móviles para generar estos resultados en tiempo real. Emerge una tecnología *low cost* para virtualizar nuestras excavaciones y prospecciones, si bien es cierto que no siempre con la precisión más adecuada.

Junto con la documentación geométrica del registro visible, una de las tendencias más llamativas en los últimos años ha sido la generalización de los métodos no invasivos para la identificación de elementos arqueológicos ocultos en el subsuelo. Estos procedimientos conforman un amplio espectro de medios para la prospección más allá de la superficie. Su implantación ha modificado de manera trascendental nuestra visión del paisaje, y ha expandido nuestro concepto del registro arqueológico. Surge un nuevo modelo en el que la excavación es empleada de manera mucho más selectiva, no sólo por su mayor coste, sino por la búsqueda de fórmulas más sostenibles y respetuosas para la gestión y presentación al público de los sitios arqueológicos.

Dos grandes familias conforman este abanico de sistemas no invasivos: la teledetección y la geofísica. Respecto a la primera, ya se ha mencionado el uso pionero en España en el marco del proyecto del Guadiana Menor. Hoy día buena parte de este trabajo es realizado con drones, un dispositivo cada vez más asequible y fiable. El que escribe empezó su labor de documentación con dirigibles de helio y cometas, que eran métodos estándar para obtener imágenes aéreas aún en la primera década de los 2000. De este modo, una subdisciplina como la arqueología aérea, que nunca había gozado de especial predicamento en la península ibérica más allá de grupos minoritarios (Sánchez y Fumadó 2006; Olmo Martín 2017), ha experimentado un rápido desarrollo. Más allá del espectro visible, se ha popularizado el uso de cámaras multiespectrales y térmicas (Uribe Agudo 2018; Salgado *et al.* 2020). Frente a la limitada resolución espacial de las imágenes satelitales, podemos ahora explorar la superficie del terreno a baja altitud para identificar indicios de estructuras enterradas. Este registro se completa con la información tridimensional que puede aportar la fotogrametría aérea y los datos LiDAR (acrónimo de *Light Detection and Ranging*).

Estos últimos, que eran ya moneda corriente en la investigación europea desde inicios del nuevo milenio (Crutchley 2006), han inundado la práctica arqueológica española, gracias sobre todo al acceso abierto desde el año 2015 de los datos producidos por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) al que



Fig. 3. Teresa Chapa, Javier Vallés y Jorge Félix Matesanz durante las prospecciones geofísicas en el castro de Villasviejas del Tamuja (Botija, Cáceres), junio de 2017.

hacíamos alusión más arriba (Cerrillo y López 2020). Esta ha sido verdaderamente una nueva frontera en la exploración arqueológica del territorio, ya que incluso con su limitada resolución, estos datos ofrecieron una imagen completamente inédita de la topografía peninsular. Aunque los casos de estudio no paran de crecer, el impacto ha sido especialmente significativo en temáticas en las que el conocimiento previo era muy limitado. Ha ocurrido esto por ejemplo con la investigación sobre los recintos campamentales de época romana, cuyo número se ha multiplicado exponencialmente, muy en especial en el Noroeste de la Península Ibérica (Costa-García *et al.* 2023). Con la tercera cobertura nacional en curso de publicación (que multiplica por 5 la densidad de puntos respecto a las anteriores), es de prever que esta tendencia se consolide y el LiDAR se convierta en una capa de información de uso corriente en los estudios arqueológicos. A esto se suma la creciente disponibilidad de sensores LiDAR de baja altitud, con los que es posible generar modelos del terreno aún más detallados (véase a modo de muestra Abate *et al.* 2023; Hipólito *et al.* 2023).

Si de la detección a distancia descendemos al terreno, la inflación de información digital procedente de los estudios geofísicos ha sido igualmente masiva. En este ámbito el retraso secular respecto a las tendencias en el entorno europeo ha sido si cabe aún más notable. Este tipo de trabajos eran parte integrante de la práctica arqueológica desde los años 70, mucho antes de la irrupción de

la geomática. Sin embargo, hasta tiempos muy recientes, las prospecciones geofísicas en España han tenido una implantación muy restringida, y habitualmente a instancias de equipos de investigación extranjeros. Véase a modo de ejemplo la actividad de profesionales como David Jordan y la empresa Terranova, de la mano de especialistas como Simon Keay en sitios como Itálica (Rodríguez Hidalgo *et al.* 1999). A esto se ha unido las carencias de equipamiento científico-técnico en la mayoría de los departamentos universitarios y otros organismos de investigación.

Estas tendencias, señaladas por Brito-Schimmel y Carreras (2005) han empezado a revertirse en los últimos años. Aunque se siguen prodigando los trabajos a cargo de profesionales extranjeros, se han establecido marcos de trabajo más colaborativos con equipos nacionales (p. ej. como el trabajo desarrollado en *Pollentia*, Cau-Ontiveros *et al.* 2023). Estos últimos han mejorado notablemente su equipamiento, y se ha generado una comunidad de usuarios creadores/consumidores de datos para el ámbito específico de la arqueogeofísica. El perfil sumamente especializado de este tipo de prospecciones ha producido a su vez una dualidad en la que las fronteras entre la actividad comercial y la investigación son a menudo difusas y potencialmente conflictivas.

Por una parte, hay una pujante actividad de compañías que prestan sus servicios en toda clase de contextos, desde estudios de impacto hasta proyectos de investigación. Como en otros ámbitos de la arqueología

comercial, estas empresas dependen obviamente de sus propios recursos, por lo que suelen estar embarcadas en una dinámica de trabajo constante de captura/procesado/ elaboración de informes técnicos. Esto inevitablemente deja escaso margen para el análisis y la elaboración de publicaciones científicas. Y ello da lugar a que, al igual que en las intervenciones de excavación de salvamento, exista un gran volumen de resultados inéditos cuyo uso se restringe a la delimitación de potenciales afecciones patrimoniales. Por su parte, cuando los servicios son requeridos desde el ámbito de la investigación, a menudo juega en contra la falta de 'sentido y sensibilidad' por parte de la Academia. Persiste una imagen de este tipo de trabajos como una actividad estrictamente técnica, una labor de ingenieros que no tiene porqué presuponer ninguna noción sobre las particularidades de la aplicación arqueológica. A esto se suma una limitada alfabetización por parte de los/as investigadores/as respecto a los métodos no invasivos, los datos que generan y su potencial interpretativo. Esto deja con frecuencia este tipo de trabajos en manos de las numerosas consultoras que trabajan en obra civil, y que proporcionan resultados de manera genérica. La ausencia de una idea clara de qué es lo que se busca, suele llevar a un pobre ajuste de los métodos y a una escasa comprensión de los resultados.

Por otra parte, las universidades han desarrollado servicios de transferencia como el CAI de Arqueometría de la Complutense (del cual fue responsable Teresa Chapa y que es objeto de un par de aportaciones en este volumen). Siguiendo un esquema similar han surgido otras unidades como PATRICIA, en la Universidad de Córdoba<sup>1</sup>, la Unidad de Geodetección de la Universidad de Cádiz<sup>2</sup>, o el Servicio de Geofísica, Geomática y GIS aplicados a la Arqueología, Epigrafía y Patrimonio Cultural de la Universidad de Cantabria<sup>3</sup>. La finalidad primordial de todos ellos es prestar servicios de apoyo a la investigación, y así ha sido sin duda en un gran número de proyectos, con exitosos ejemplos de colaboración que sería demasiado prolífico citar. Sin embargo, las exigencias económicas que plantea un servicio de estas características han tenido un efecto perverso que los atrapa en un dilema de difícil solución. Por un lado, es necesario responder al alto coste de

los equipamientos, que necesitan constante mantenimiento y actualización. Por otro lado, y esto es lo más importante, han de sostener una plantilla mínima con un empleo estable y de calidad. Todo ello impele a una labor frenética de facturación que nos introduce de lleno en una dinámica comercial, parecida a la que llevaba a las empresas de arqueología durante los años del *boom* del ladrillo a la liberación de terreno edificable. Buen ejemplo de ello son las mastodónticas infraestructuras de energías renovables, donde se requiere la exploración geofísica de enormes superficies.

Finalmente, existe una 'tercera vía' dentro de esta comunidad de productores de datos geofísicos, que es la representada por los servicios científico-técnicos y laboratorios de I+D. Dentro de ellos, la actividad más allá del propio centro tiene una escala mucho más limitada. Se prioriza una estrecha vinculación con los objetivos científicos, y se restringe la prestación de servicios externos a lo que podríamos denominar un 'uso alimentario'<sup>4</sup> del equipamiento y el *know how*, a fin de cubrir unos costes de mantenimiento y gestión que no se contemplan con otras fuentes de financiación. Dentro de ese esquema, el personal especializado se encuadra dentro de convocatorias específicas para el desarrollo de una carrera técnica profesional en las mejores condiciones laborales posibles, dentro de lo que cabe en el ordenamiento de la ciencia en nuestro país. Este modelo es el que tomamos como referencia a la hora de crear en el IAM el Laboratorio de Arqueología no invasiva (Minarqlab). Su origen, motivaciones y estructura ya fueron descritos en otra parte (Mayoral 2023) por lo que aquí nos limitaremos a destacar algunos elementos más representativos que definen su identidad. Ésta última se fundamenta en los antecedentes que se han desgranado en el primer apartado de este texto. La geomática es el vehículo y espina dorsal para la captura y gestión de la información. El proceso digital de imagen y el análisis espacial, es el lenguaje común para ver los datos desde nuevas perspectivas, y en última instancia la articulación de procedimientos aspira a desarrollar una metodología específica para abordar cuestiones de (pre/proto) historia social y económica (Fig. 4).

Es pues un espacio que se declar a heredero intelectual del Labtel, un espacio en el que la tecnología no es un mero apéndice

<sup>1</sup> <http://www.uco.es/patricia/index.php/es/>

<sup>2</sup> <https://investigacionytransferencia.uca.es/spi/ivagro/>

<sup>3</sup> <https://web.unican.es/investigacion/servicios-cientifico-tecnicos-para-empresas-e-investigadores/ficha-servicio?s=50>

<sup>4</sup> Recurrimos aquí a la expresión empleada por Juan Vicent en el marco de uno de los encuentros de reflexión estratégica, propiciado por la red ArchaeologyHub del CSIC y celebrado en Madrid en abril de 2022 (<https://archaeologyhub.csic.es/ere1-infrastructure/>).

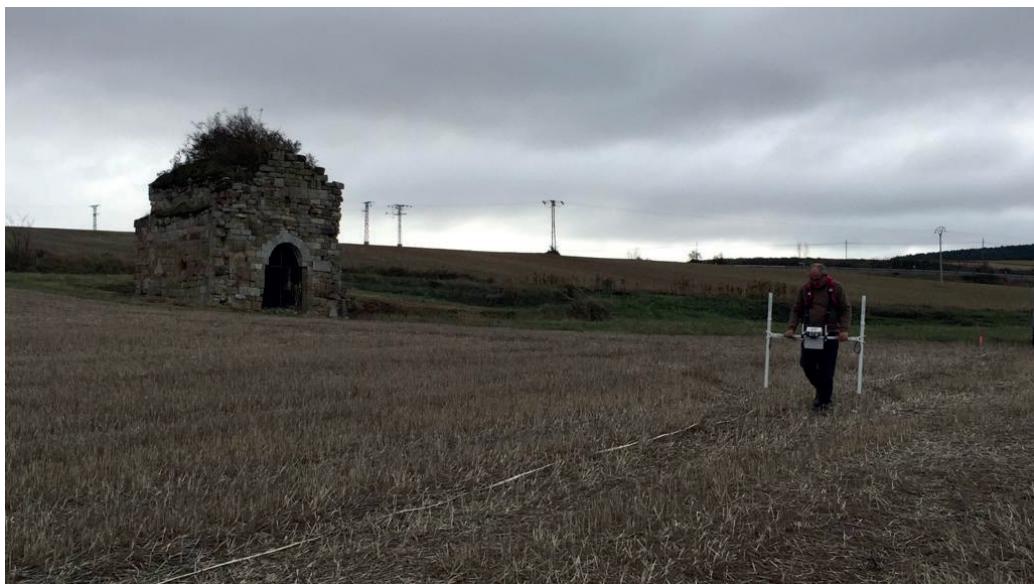


Fig. 4. Prospección geofísica desarrollada por el MinarqLab (Laboratorio de Arqueología no Invasiva del Instituto de Arqueología-Mérida, CSIC-Junta de Extremadura) en la iglesia altomedieval de Villafranca Montes de Oca (Burgos).

auxiliar, sino que es concebida y modelada de acuerdo a las preguntas de la investigación. Un espacio en el que experimentar, porque no se asumen los resultados que nos brindan las máquinas como respuestas cerradas, ni se dan por resueltos los problemas de interpretación de la evidencia material. Un espacio destinado a generar un registro arqueológico válido en sí mismo, en lugar de ser un mero orientador auxiliar para decidir dónde realizar una excavación (entendiendo así a esta última como la única forma 'legítima' o 'verdadera' de producir ese registro). Enfatizamos así, por encima de los objetivos del descubrimiento, el análisis de la información en toda su complejidad, incluyendo aquella que aparentemente se podría clasificar como mero ruido parásito. Ese 'ruido de fondo', que como ocurría en el caso de la evidencia superficial en los campos, habla en realidad de las actividades más extensivas, cotidianas y trascendentales de las sociedades agrarias del pasado (Mayoral *et al.* 2006).

### 3. Retos actuales y perspectivas de futuro

Para ir concluyendo, toca hacer balance del momento presente y atisbar un poco del panorama futuro. Como en otros ámbitos de nuestra disciplina, vivimos actualmente en la encrucijada entre un volumen sin precedente de información, y una demanda de herramientas conceptuales que nos permitan darles sentido. Pasamos rápidamente del *big data* a la inteligencia artificial, pero no queda tan claro que se produzca al mismo ritmo un

relevo generacional en torno al debate teórico que marque la agenda de las grandes y buenas preguntas. Se ha producido una avalancha de tecnología que nos hace perder el pie sobre cómo integrarla en un programa de investigación. Frente a un diseño parsimonioso de métodos para articular de manera eficaz la amplia batería de técnicas disponibles, éstas se superponen de manera atropellada, asumiendo sus bondades para realizar 'descubrimientos'.

Y pese a todo, las oportunidades están ahí y son extraordinarias. Disponemos de una potencia abrumadora para fusionar enormes volúmenes de datos de la naturaleza más diversa, verlos desde perspectivas inéditas y poner orden en el aparente caos de la heterogeneidad a múltiples escalas. Podemos segmentar y clasificar imágenes a través de grandes extensiones para detectar de manera automática miles de elementos de potencial interés arqueológico (Orengo *et al.* 2020; Canedo *et al.* 2024), o mapear distribuciones de artefactos en los campos (Orengo *et al.* 2021). Sin embargo todo esto (queremos pensar) nunca nos va a eximir de enviar allí a prospectores humanos para documentar la "verdad terreno" y validar las predicciones de las máquinas. Sensores cada vez más sofisticados y 'sensibles' son capaces de sobreponerse a las múltiples limitaciones que impone la tierra, para ofrecer imágenes de asombrosa nitidez de las estructuras que ésta oculta. Pero de poco sirve poder generar una radiografía de alta definición de, pongamos por caso, una ciudad romana, si no estamos dispuestos a

explotar el potencial de esa información para responder a preguntas significativas acerca de la lógica social de esos espacios, o plantearse cuestiones básicas sobre la escala de las comunidades del pasado como por ejemplo la demografía. No es aún infrecuente el rechazo por especulativo de esos 'experimentos', lo que nos remite de nuevo al estatus que este tipo de arqueología ha padecido como elemento auxiliar, plenamente dentro del dominio técnico especializado, primando su aplicación utilitaria orientada a guiar al arqueólogo a dónde excavar. Este escepticismo y reserva puede responder a veces a una reacción defensiva de algunos sectores de la Academia que ven amenazada su posición de dominio frente a áreas de conocimiento que escapan a su control. Acompañante habitual de esas reacciones es un limitado diálogo entre disciplinas y la ausencia de espacios híbridos que encierran un gran potencial. Quiero pensar sin embargo que el cambio generacional acabará por extinguir esas actitudes.

Más peligrosos para la banalización del uso de la tecnología son los clichés de la cultura popular acerca de la arqueología, entendida como descubrimiento de lo único y asombroso como justificación primordial. El LiDAR poco puede aportar si no permite descubrir una ciudad perdida en la jungla, y el georradar es protagonista de búsquedas de personajes míticos de la Historia a través de criptas y mausoleos. Este halo de misterio y oscurantismo, combinado con la sobreabundancia de información disponible de modo instantáneo a un clic de ratón, genera una y otra vez monstruos: templos, pirámides, nuevas propuestas de ubicación para la Atlántida, etc., etc. Más allá de todo este folklore, el descrédito que estas teorías conspiracionistas pueden generar no es baladí. No faltan ejemplos de cómo la falta de información veraz puede servir para alentar visiones negacionistas acerca de aspectos incómodos del pasado (Wadsworth *et al.* 2023).

Esto desde luego no quiere decir que esa hiper disponibilidad no pueda utilizarse de manera constructiva. Hay buenos ejemplos de experiencias exitosas del uso de herramientas como *Google Earth* (Luo *et al.* 2018). Los datos en acceso abierto pueden incluso promover la realización de mapeos colaborativos, como en el caso del proyecto *unlocking landscapes* de la Universidad de Exeter, centrado en la revisión de datos LiDAR del Reino Unido durante el confinamiento de la pandemia<sup>5</sup>. Estas estrategias para involucrar

a la ciudadanía no sólo se dan en arqueología sino en patrimonio cultural en general (Álvarez Larraín *et al.* 2022) y son una expresión de un fenómeno más amplio, que incluye el trabajo voluntario en misiones de carácter humanitario, entre las que destacan proyectos como *Missing Maps*<sup>6</sup>.

Todos estos desafíos gravitan en definitiva en torno a una cuestión fundamental: ¿qué lugar ocupa nuestra actividad en la sociedad actual? Es desde luego como ya hemos visto, un debate interno, con una difusa y a veces delicada frontera entre una actividad comercial y de investigación. El surgimiento de empresas especializadas, laboratorios y servicios ha creado un ecosistema de practicantes y productores de geofísica frente a 'consumidores'. Pero incluso cuando estas funciones están delimitadas, no es sencillo marcar una línea entre el proceso técnico y la generación de conocimiento. Ni el 'proveedor' puede desentenderse del proceso interpretativo, ni el investigador puede desenvolverse con solvencia sin conocer y saber valorar todo lo que estos métodos le pueden aportar. Supongo que este espacio híbrido es el que ocupan los especialistas en arqueo-geofísica. Siguiendo la analogía entre la arqueología no destructiva y la medicina de mínima invasión, esos profesionales serían los 'radiólogos' que asesoran a un médico cuya obligación es dominar ese lenguaje específico para tomar decisiones informadas. Las actividades de unos y otros pueden y deben estar compenetradas, y desde luego mantenerse por encima de la dictadura del 'terror tecnológico' y los intereses económicos. Si queremos lograr que exista un diálogo fructífero, tan válido es el acercamiento desde un lado como del otro, lo fundamental es la comunicación y el acercamiento mutuo.

Un factor decisivo en este sentido sería la disponibilidad de una formación que permita combinar los conocimientos técnicos, históricos y humanísticos. A día de hoy, los planes de estudio de arqueología en España incluyen asignaturas en las que estos contenidos se tratan de manera muy generalista. Hay poco entrenamiento práctico más allá de los centros que disponen de equipamiento propio, o bien cuentan con la colaboración de empresas. En estas circunstancias las personas interesadas en prepararse para una especialización en la arqueo-geofísica o la teledetección arqueológica sólo cuentan con experiencias formativas de pequeño alcance

<sup>5</sup> <https://storymaps.arcgis.com/stories/4c09b65efa6f42c9b497119845ad8811>

<sup>6</sup> <https://www.missingmaps.org/>

(seminarios, sesiones monográficas en escuelas de verano, etc.). Hay algunos buenos antecedentes, como el workshop internacional de arqueología geofísica celebrado en Ullastret (Gerona) en 2012 (Buxó *et al.* 2016). En resumidas cuentas, este camino que estamos recorriendo en el momento actual es el mismo que de una manera general ya atravesó el debate científico en torno al papel de la arqueometría (véase Montero *et al.* 2007 con un certero análisis de las múltiples facetas de este problema).

#### 4. Conclusión. Echando la vista atrás, qué hemos aprendido, y qué no

Unas breves palabras de cierre para recaptular sobre este escurridizo tema de la metodología y las conexiones entre disciplinas. El *seny* nos aboca a adoptar una senda por la frontera entre apocalípticos negacionistas e integrados acríticos. A fin de cuentas, la asimilación de la innovación tecnológica es un proceso natural que experimentan de manera constante todas las áreas de conocimiento. El reto es escapar en ese trance del cientifismo, la dictadura de la técnica o la mistificación. Si logramos que todos estos poderosos recursos digitales ocupen su justo lugar para elaborar un discurso coherente sobre el pasado, estaremos en mejores condiciones

para hacer buena ciencia social, articulando herramientas, aproximando lenguajes e ignorando barreras académicas. Y finalmente, a ser posible, hacer algo que tenga un impacto real en la sociedad, y no me refiero con ello a la 'creación de contenidos' para el turismo y el entretenimiento, sino a dotarnos de herramientas críticas para entender cómo ha cambiado todo. Como expresó una vez sobriamente el historiador Eric Hobsbawm (1998) *La destrucción del pasado, es uno de los fenómenos más característicos y extraños de las postprimerías del siglo XX (...) Esto otorga a los historiadores, cuya tarea consiste en recordar lo que otros olvidan, mayor trascendencia que la que han tenido nunca*. Pienso que esto es aún más válido ahora que ya vamos entrando de lleno en el siglo XXI, y va mucho más allá del ámbito de la historia moderna o contemporánea. Es nuestra responsabilidad permanecer 'despiertos'.

Y así termino, añadiendo una nota personal respecto a lo que aprendí como alumno de Teresa y que me ha servido como referencia ética y profesional: el aprecio por el trabajo riguroso y coherente, la perseverancia en la consecución de los objetivos científicos, y la persecución de ideales desde el realismo y el pragmatismo, sin renunciar a nada.

#### 6. Bibliografía

- AA.VV. (1998): Coloquio Internacional de Arqueología Espacial. Arqueología del paisaje. *Arqueología Espacial*, 19-20. Teruel.
- Abate, N.; Ronchi, D.; Vitale, V.; Masini, N.; Angelini, A.; Giuri, F.; ... Ferdani, D. (2023): Integrated Close Range Remote Sensing Techniques for detecting, documenting, and interpreting lost medieval settlements under canopy: The case of Altanum (RC, Italy). *Land* 12(2), 310. <https://doi.org/10.3390/land12020310>
- Álvarez Larrain, A.; McCall, M.K.; Villalobos, J.M.L. (2022): *Mapeo participativo y cartografía social de conocimientos culturales, históricos y arqueológicos*, Editorial del CIGA, Universidad Nacional Autónoma de México, México. <https://doi.org/10.22201/ciga.9786073059121e.2022>
- Aranegui Gascó, C. (2024): La irrupción de la Universidad de Jaén en la arqueología ibérica a finales del siglo XX. *Arturo C. Ruiz Rodríguez y la arqueología ibérica en Jaén: Homenaje a 50 años de trayectoria 1* (C. Risquez, C. Rueda, M. Molinos, J.P. Bellón, F. Hornos, coords), Universidad de Jaén, Servicio de Publicaciones, Jaén: 65-70.
- Arteaga Matute, O. (2024): La escuela arqueológica del Colegio Universitario de Jaén, *Arturo C. Ruiz Rodríguez y la arqueología ibérica en Jaén: Homenaje a 50 años de trayectoria 1* (C. Risquez, C. Rueda, M. Molinos, J.P. Bellón, F. Hornos, coords), Universidad de Jaén, Servicio de Publicaciones, Jaén: 71-76.
- Banning, E.B. (2002): *Archaeological Survey, Manuals in Archaeological Method, Theory and Technique*, 1. Kluwer Academic/ Plenum Publishers, Nueva York.
- Bellón, J.P.; Ruiz, A.; Molinos, M.; Rueda Galán, C. y Gómez Cabeza, F. (eds.) (2015): *La Segunda Guerra Púnica en la península ibérica: Baetica, arqueología de una batalla*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Jaén, Jaén.
- Brito-Schimmel, P.; Carreras Monfort, C. (2005): Aplicación de métodos geofísicos en Arqueología: una recopilación sobre el estado actual de la cuestión en España, *Scientific Heritage*, 0(1): 1-20.

- Buxó i Capdevila, R.; García García, E.; Prado, G. de; Principal, J.; Codina Falgas, F. (eds.) (2016): *Working with buried remains at Ullastret (Catalonia): proceedings of the 1st MAC International Workshop of Archaeological Geophysics*, Monografies d'Ullastret 3, Museu d'Arqueologia de Catalunya, Barcelona.
- Canedo, D.; Fonte, J.; Dias, R.; Pereiro, T. do; Gonçalves-Seco, L.; ... Neves, A. (2024): Automated detection of hillforts in remote sensing imagery with deep multimodal segmentation. *Archaeological Prospection*, 1, 1: 1 – 15. <https://doi.org/10.1002/arp.1958>
- Cau-Ontiveros, M.A.; Mas-Florit, C.; Chávez-Álvarez, E.; Sala, R.; Meyer, C.; Ortiz-Quintana, H.; Rodríguez-Simón, P. (2023): Comprehensive geophysical prospection of the Roman and late antique city of *Pollentia* (Alcúdia, Mallorca, Spain). *Archaeological Prospection*, 30(4): 411-427. <https://doi.org/10.1002/arp.1900>
- Cerrillo Cuenca, E.; López López, A. (2020): Evaluación y perspectivas del uso del LiDAR en la arqueología española, *Boletín del Museo Arqueológico Nacional* (39): 221-238.
- Cerrillo Cuenca, E.; Mayoral Herrera, V. 2009: Un sistema de prospección arqueológica asistida por SIG libre: diseño, puesta en práctica y perspectivas futuras. Comunicación presentada a las *III Jornadas de SIG Libre*, La Universitat, Girona. <http://hdl.handle.net/10261/13478>
- Costa-García, J.M.; González-Álvarez, D.; Fonte, J.; Menéndez-Blanco, A. (2023): New archaeological data for the study of the conquest and occupation of NW Iberia in Early Imperial times. *Proceedings of the 24th International Congress of Roman Frontier Studies. Belgrade-Viminacium, Serbia, 2018*, I (S. Golubović, ed.), Institute of Archaeology, Belgrade: 453-468.
- Crutchley, S. (2006): Using LiDAR in archaeological contexts: the English Heritage experience and lessons learned. *Laser scanner e GPS. Paesaggi archeologici e tecnologie digitali* 1 (S. Campana, R. Francovich, eds.), Università di Siena, Florencia: 169-183. <https://doi.org/10.1002/9781444311952.ch12>
- Chapa Brunet, T.; Vicent García, J.M.; Rodríguez Alcalde, A.L.; Uriarte González, A. (1998): Métodos y técnicas para un enfoque regional integrado en Arqueología: el proyecto sobre el poblamiento ibérico en el área del Guadiana Menor (Jaén). *Arqueología Espacial* 19-20: 105-120.
- Fábrega Álvarez, P. (2016): Un alto en el camino: Notas acerca del uso del SIG en los análisis de movilidad en arqueología, *Manual de tecnologías de la información geográfica aplicadas a la Arqueología* (C. Mínguez y E. Capdevila, ed.), CDL de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias, Museo Arqueológico Regional, Comunidad de Madrid, Madrid: 159-182.
- Fernández Millán, P.; Vicent García, J.M. (1991): Un sistema de análisis territorial para aplicaciones arqueo-geográficas', *Complutum*, 1: 313-318.
- García Sánchez, J. (2023): Roman rural landscapes in the north-eastern sector of the Duero basin. Field survey and aerial archaeology in the Pisuerga-Arlanzón basin. *Agrarian Archaeology in Northwestern Iberia: Local Societies: The Off-Site Record* (J.A. Quirós, ed.), Archaeopress: 80-99
- Gillings, M.; Mattingly, D.; van Dalen, J. (eds.) (1999): *Geographical information systems and landscape archaeology*, Oxbow, Oxford.
- Grau, I. (2004): *Territorios Antiguos y Nuevas Tecnologías. La aplicación de los SIG en la Arqueología del Paisaje*. Universidad de Alicante, Alicante.
- Grau, I.; Sarabia-Bautista, J. (2022): Multiscaled Archaeological Survey in Eastern Iberia: Ancient settlement dynamics, agrarian practices, and rural landscapes. *Journal of Field Archaeology* 47: 471-485. <https://doi.org/10.1080/00934690.2022.2099614>
- Gutiérrez Soler, L.M.; Royo, M.A.; Bellón, J.P.; Barba, V. (1998): Microprospección de superficie en el entorno del monumento. *El santuario heróico de El Pajarillo. Huelma* (T. Chapa, J. Pereira, A. Ruiz. M. Molinos, A. Madrigal, V. Mayoral, M. Llorente), Universidad de Jaén, Servicio de Publicaciones. Jaén: 155-196.
- Harris, T.M. (1986): Geographic Information System Design for Archaeological Site Information Retrieval. *Computer Applications in Archaeology* (S. Laflin, ed.), Centre for Computing and Computer Science, University of Birmingham, Birmingham, pp. 148-161.
- Hipolito, J.; Pedro, J.; Fonte, J.; Gonçalves Seco, L.; Neves, A. (2023): Uma nova visão do Castelo da Crespa (Serpa). *Al-madan Online*, 26, 1: 55-60.
- Hobsbawm, E. (1998): *Historia del siglo XX*. Crítica, Buenos Aires.
- Kvamme, K.L. (1985): Fundamentals and potential of Geographic Information System Techniques for Archaeological Spatial Research. *Paper presented at the 50th Annual Meeting of the Society for American Archaeology*, Denver.

- Llobera, M. (2003): Extending GIS-based visual analysis: the concept of visualscapes, *International Journal of Geographical Information Science*, 17(1): 25–48. <https://doi.org/10.1080/713811741>
- López García, P. (coord.) (1991): *El cambio cultural del IV al II milenio a. C. en la Comarca Noroeste de Murcia*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- Luo, L.: Wang, X.; Guo, H.; Lasaponara, R.; Shi, P.; Bachagha, N.; ... Hu, N. (2018): Google Earth as a powerful tool for archaeological and cultural heritage applications: A review. *Remote Sensing* 10, 1558. <https://doi.org/10.3390/rs10101558>
- Martínez Navarrete, M. I. Archaeological thought and practice in Spain (1939–2000) (2002): Archäologien Europas/Archaeologies of Europe. Geschichte, Methoden und Theorien/History, Methods and Theories (P.F. Biehl, A. Gramsch, A. Marcinia, Hrsg.), Tübinger Archäologische Taschenbücher 3. Waxmann Munster: 361–401. <http://hdl.handle.net/10261/339189>
- Mayoral Herrera, V.; Celestino Pérez, S.; Sbeinati, S.W. (2020): De la complejidad del registro de superficie hacia una historia agraria del paisaje: el entorno de Cancho Roano como estudio de caso', *The matter of prehistory: papers in honor of Antonio Gilman Guillén* (P. Díaz del Río Español, K.T. Lillios, I. Sastre Prats, coords.), Bibliotheca Praehistorica Hispana XXXVI, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid: 291–305.
- Mayoral Herrera, V.; Cerrillo Cuenca, E.; Celestino Perez, S. (2009): Métodos de prospección arqueológica intensiva en el marco de un proyecto regional: el caso de la comarca de La Serena (Badajoz). *Trabajos de Prehistoria* 66 (1): 7–25. <https://doi.org/10.3989/tp.2009.09010>
- Mayoral Herrera, V.; Parcero, C.; Fábrega-Álvarez, P. (eds.) (2017): *Archaeology and Geomatics: Harvesting the benefits of 10 years of training in the Iberian Peninsula (2006–2015)*. Sidestone Press.
- Mayoral Herrera, V.; Parini, M.; Sevillano Perea, L. (2022): Roman rural life in the far west. The study case of the Serena Region (Badajoz, Spain), *The Archaeology of Roman Portugal in Its Western Mediterranean Context* (T.D. Stek y A. Carneiro, eds.). Oxbow Books, Leiden: 221–238.
- Mederos, A. (1997): Una revolución aparente. El impulso de los coloquios sobre Arqueología espacial en la renovación disciplinar española de los años 80. *Zephyrus*, 50: 305–321.
- Molinos, M.; Risquez, C.; Serrano, J.L.; Montilla, S. (1994): *Un problema de fronteras en la periferia de Tartessos. Las Calañas de Marmolejo* (Jaén). Universidad de Jaén, Servicio de Publicaciones. Jaén.
- Montero Ruiz, I.; García Heras, M.; López-Romero González de la Aleja, E. (2007): Arqueometría: cambios y tendencias actuales. *Trabajos de Prehistoria* 64(1): 23–40. <https://doi.org/10.3989/tp.2007.v64.i1.92>
- Olmo Martín, J. del (2017): Arqueología aérea en Castilla y León, *Patrimonio histórico de Castilla y León* 61: 40–43.
- Orengo, H.A.; Conesa, F.C.; García-Molsosa, A.; Lobo, A.; Green, A.S.; Madella, M.; Petrie, C.A. (2020): Automated detection of archaeological mounds using machine-learning classification of multisensor and multitemporal satellite data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(31): 18240–18250. <https://doi.org/10.1073/pnas.2005583117>
- Orengo, H.A.; García i Molsosa, A.; Berganzo Besga, I.; Landauer, J.; Aliende García, P.; Tres-Martínez, S. (2021): New developments in drone-based automated surface survey: Towards a functional and effective survey system, *Archaeological Prospection*, 28(4): 1–8. <https://doi.org/10.1002/arp.1822>
- Parcero, C.; Fábrega-Álvarez, P. (2023): Ampliando las aplicaciones de las Tecnologías de Información Geográfica en arqueología, *Conociendo nuestro pasado. Proyectos e investigaciones arqueológicas en el CSIC* (I. Montero y A. Pizzo, eds.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid: 129–136.
- Rodríguez Hidalgo, J.M.; Keay, S.; Jordan, D.; Creighton, J. (1999): La Itálica de Adriano: resultados de las prospecciones arqueológicas de 1991 y 1993, *Archivo Español de Arqueología* 72(179–180): 73–98. <https://doi.org/10.3989/aespa.1999.v72.297>
- Salgado, J.Á.; Quirós, E.; Mayoral, V.; Charro, C. (2020): Assessing the potential of multispectral and thermal UAV imagery from archaeological sites. A case study from the Iron Age hillfort of Villasviejas del Tamuja (Cáceres, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports* 31, 21–45. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102312>
- Sánchez Pardo, J.C.; Fumadó Ortega, I. (2006): Aerial archaeology in Spain: historiography and expectations', *From Space to Place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. Proceedings of the 2nd International Workshop, CNR, Rome, Italy, 2006* (S. Campana, M. Forte, eds.), BAR Publishing S1568, Oxford: 65–71.

- Torres Escobar, C.; Gutiérrez Soler, L.M.; Wiña Garcerán, L.; Lozano Ocaña, G. (2004): Investigación del poblamiento ibérico en la Campiña de Jaén. Empleo del GPS en la prospección arqueológica. *Arqueología espacial* 24-25, Ejemplar dedicado a Arqueología espacial: prospección: homenaje a Carmen Torres Escobar: 105-121.
- Uribe Agudo, P.; Angas Pajás, J.; Pérez-Cabello, F.; Redón, J.V.; Lebrón, B.E. (2018): The potential of drones and sensors to enhance detection of archaeological cropmarks: A comparative study between multi-spectral and thermal imagery. *Drones* 2, 29. <https://doi.org/10.3390/drones2030029>
- Vicent García, J.M.; Cruz Berrocal, M.; Torre, I. de la; Fernández Freire, C.; Fraguas, A.; López Romero, E.; Uriarte, A.; Walid, S. (2004): Laboratorio de Teledetección y proceso digital de imagen, *Informática a la investigación y la gestión arqueológicas: actas del I Encuentro Internacional* (C. Martín de la Cruz, ed.), Servicio de Publicaciones, Universidad de Córdoba, Córdoba.
- Vicent García, J.M.; Martínez Navarrete, M.I.; Díaz del Río, P. (2020): Una entrevista con Antonio Gilman Guillén. Primera parte, *Trabajos de Prehistoria*, 77(1): 7-29. <https://doi.org/10.3989/tp.2020.12244>
- Wadsworth, W.; Halmhofer, S.; Supernant, K. (2023): Saying what we mean, meaning what we say: Managing miscommunication in archaeological prospection. *Archaeological Prospection*. <https://doi.org/10.1002/arp.1915>
- Walid, S.; Nuño, R. (2005): Aplicaciones arqueogeográficas al estudio de las sociedades del período orientalizante. ¿Quién construyó Cancho Roano? *El Período Orientalizante. Actas del III Simposio Internacional de Arqueología de Mérida: Protohistoria del Mediterráneo Occidental*, Anejos de AEspA, XXXV, II (S. Celestino Pérez, J. Jiménez Ávila, eds.), Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Mérida: 977-983.
- Wansleeben, M. (1988): Applications of Geographical Information Systems in archaeological research. *Computer and quantitative methods in Archaeology 1987* (C.L.N. Ruggles, S.P.Q. Rahtz, eds.), BAR International Series 393, 2. BAR Publishing, Oxford: 435-451.
- Wheatley, D. (1995): Cumulative viewshed analysis: a GIS-based method for investigating intervisibility, and its archaeological application, *Archaeology and geographical information systems: a European perspective* (G. Lock, Z. Stancic, eds.), Taylor & Francis, Bristol: 171-185.