

VARIABLES SOBRE LA APLICACIÓN DE
TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA
EN LA CARACTERIZACIÓN DE YACIMIENTOS
ARQUEOLÓGICOS. EXPERIENCIAS EN LOS
YACIMIENTOS DEL POLÍGONO INDUSTRIAL
Y DE LA DEHESA DE TARAZONA.

*Óscar Pueyo Anchuela**

*Carlos García Benito***

*Pilar Diarte Blasco****

*Andrés Pocoví Juan*****

*Antonio M. Casas-Sainz******

*Julián Pérez Pérez******

*Adriana Rodríguez Pinto******

RESUMEN

La prospección geofísica consiste en el estudio indirecto de los cambios naturales de las propiedades físicas de los materiales del subsuelo analizadas desde la superficie. En el caso de yacimientos arqueológicos, la prospección geofísica se fundamenta en la presencia de contrastes entre los materiales naturales y los constructivos o con los restos de origen no natural localizados en el subsuelo. En este trabajo se aborda un análisis de las variables que deben ser tenidas en cuenta durante el dimensionamiento previo de una prospección geofísica, ilustrado con ejemplos del estudio de dos yacimientos arqueológicos en Tarazona (España). Los resultados obtenidos permiten determinar las variables de dimensionamiento de la prospección, la potencial impronta en el registro geofísico de los elementos analizados, las ventajas de la aplicación de varias técnicas de prospección, su análisis conjunto, y el análisis integrado de los resultados, límites e influencias externas dependiendo de las características y condiciones de los yacimientos analizados.

Palabras clave: prospección geofísica, arqueología, diseño de campaña, resoluciones y límites, ruidos externos.

ABSTRACT

Geophysical surveys allow the indirect study of the natural changes of the physical properties of the subsurface materials analyzed from the surface. In the case of archaeological sites, geophysical prospecting is based on the presence of contrasts between natural and construction material or unnatural rests located in the underground. This paper deals with an analysis of the variables to be taken into account during the previous dimensioning of a geophysical study illustrated with examples of two archaeological sites in Tarazona (Spain). The results help to determine the sizing of the variables of prospecting, potential geophysical logging signature on the elements analyzed, applying of various prospecting techniques, their analysis, and integrated analysis of the results, limits and external influences depending of the characteristics and conditions of the analyzed sites.

Keywords: Geophysical survey, archaeology, survey design, limits and resolution, external noises.

Fecha de recepción: 14 de abril de 2013
Fecha de aprobación: 16 de mayo de 2013

INTRODUCCIÓN

La documentación e investigación del patrimonio se encuentra inmersa en la actualidad en un vertiginoso proceso de cambio. Los múltiples adelantos tecnológicos e informáticos acaecidos en los últimos años han puesto al servicio de la documentación del patrimonio instrumentos que han dado lugar a novedosos procedimientos y metodologías de gran utilidad a la hora de documentar nuestro patrimonio arqueológico. Instrumentos que, tradicionalmente, se

relacionaban con otros campos de estudio, como la Informática, la Geología, la Física o la Geografía —sólo por nombrar algunos de los más conocidos—, y que a día de hoy se han convertido en una parte más dentro del análisis arqueológico.

Qué duda cabe que las primeras aproximaciones a estas técnicas, en principio exógenas a la Arqueología, nacieron en relación con la llamada Arqueología Preventiva y la necesidad de evitar, en la medida de lo posible, la técnica invasiva de la excavación estratigráfica. Ésta, sin embargo, continúa siendo el pilar fundamental del proceso investigador en la Arqueología, sin la cual es prácticamente imposible contrastar los datos obtenidos a partir de las técnicas no invasivas. Es cierto, no obstante, que los elevados costes temporales y económicos que genera una excavación, los gravosos costes de mantenimiento —incluido el proceso de restauración— y el hecho de la necesidad de la optimización de recursos han relegado a las antiguas excavaciones en extensión a un segundo plano. De este modo, y gracias a la indudable renovación de la disciplina, las técnicas no invasivas se han convertido en la principal baza de esta nueva arqueología, permitiendo la caracterización material de nuestro patrimonio histórico arqueológico y, entre otras muchas cosas, la focalización de los futuros lugares de excavación.

* Grupo de Investigación Geotransfer. Universidad de Zaragoza.

Correo electrónico: opueyo@unizar.es

** Departamento de Ciencias de la Antigüedad. Universidad de Zaragoza/Área de Arqueología. Centro de Estudios Turiasonenses. Correo electrónico: carlosgarciabenito@gmail.com

*** Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma. EEHAR-CSIC. Correo electrónico: pdiarteblasco@gmail.com

**** Grupo de Investigación Geotransfer. Universidad de Zaragoza. Correo electrónico: apocovi@unizar.es

***** Grupo de Investigación Geotransfer. Universidad de Zaragoza. Correo electrónico: acasas@unizar.es

***** Área de Arqueología. Centro de Estudios Turiasonenses. Correo electrónico: julianperezperez@hotmail.com

***** Grupo de Investigación Geotransfer. Universidad de Zaragoza. Correo electrónico: adrianar@unizar.es

Estas técnicas se han ido desarrollando a lo largo de los últimos veinte años a partir del principio básico del reconocimiento de superficie y la prospección de subsuelo. Entre ellas, los resultados más relevantes se han obtenido, en relación a la arqueología del paisaje, con la exploración desde plataformas espaciales (imágenes satélite, datos radar e infrarrojo) o desde dispositivos en el aire (fotografía vertical e oblicua aérea, análisis multiespectral, LIDAR-*Laser Imaging Detection and Ranging*). Estas técnicas han favorecido la identificación de yacimientos hasta ahora desconocidos y, sobre todo, el análisis de patrones de distribución de los sitios arqueológicos.

El otro gran grupo dentro de estas técnicas no invasivas es el relacionado con la actividad terrestre, in situ, directamente sobre el lugar de estudio, y está encabezado principalmente por las técnicas geofísicas, las herramientas de documentación y visualización por escaneo tridimensional láser y el análisis basado en los Sistemas de Información Geográfica-SIG. La importancia de este grupo es tal que de actividad complementaria a la excavación arqueológica ha pasado a ser parte principal de muchos proyectos arqueológicos, formando parte de la mayoría —si no de todas— de las nuevas estrategias de intervención arqueológica.

Este artículo, en concreto, se centra en la aplicación de varias de las principales técnicas de prospección geofísica en los yacimientos turiasonenses del Polígono Industrial y La Dehesa, como parte de un estudio más amplio en el que, más allá del objetivo de análisis arqueológico propiamente dicho, existe la voluntad de establecer las variables que afectan al proceso, en qué medida lo ha-

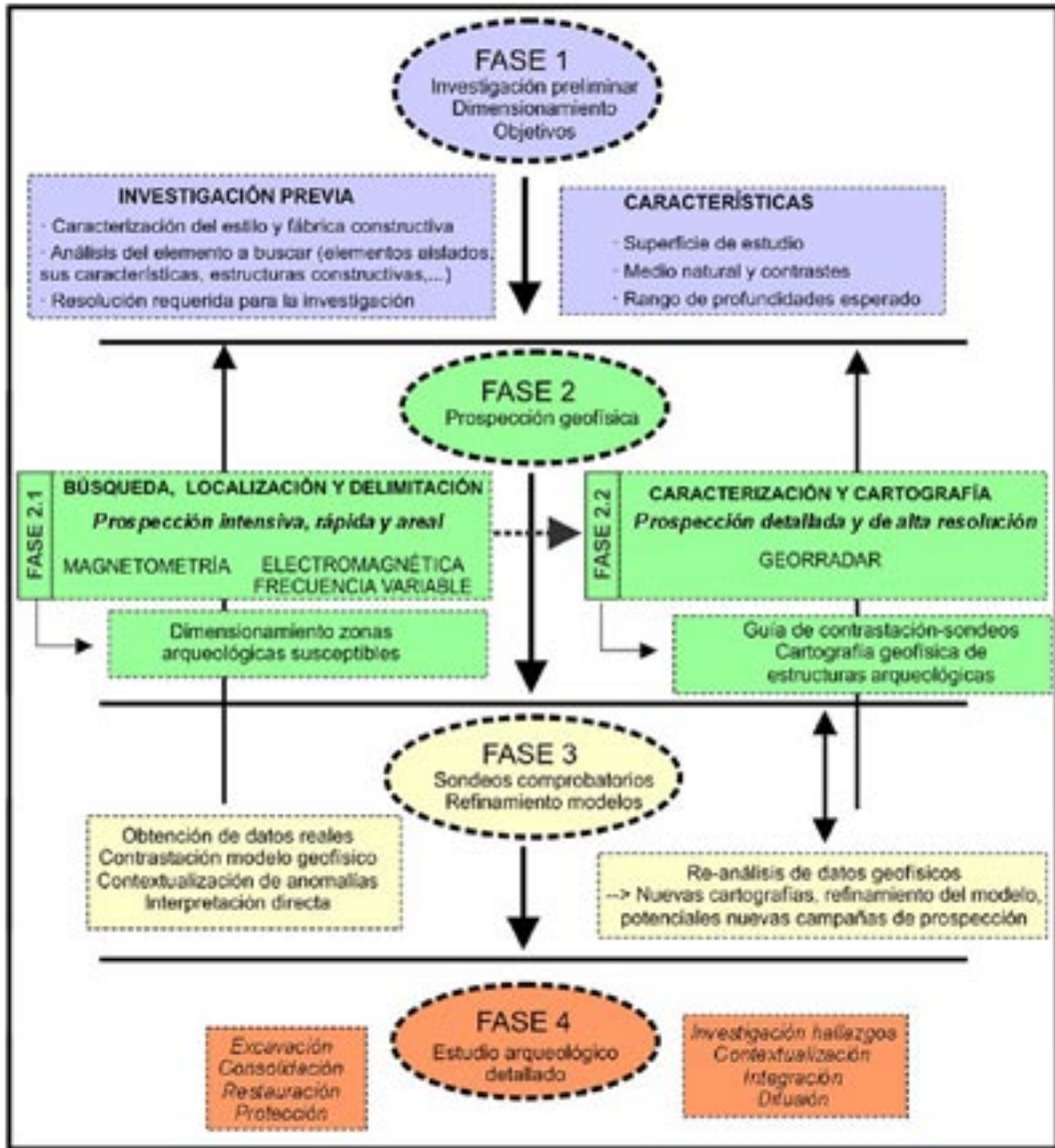
cen y qué riesgos o beneficios podemos obtener de ellas.¹

APROXIMACIÓN PLURIDISCIPLINAR EN LOS ESTUDIOS DE YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS

El estudio de yacimientos arqueológicos, dentro del concepto de análisis integrado y pluridisciplinar, puede desarrollarse a través de distintas etapas de ejecución o fases con distintos objetivos. El planteamiento de ejecución propuesto en este trabajo se centraría en tres fases principales, cuyos distintos apartados y objetivos pueden permitir una optimización de los recursos, una valoración integrada de los yacimientos conocidos o la búsqueda y caracterización de yacimientos no conocidos. Estas fases requieren de un estudio integrado en cada uno de los apartados evolutivos de la investigación, donde arqueólogos, geógrafos, geólogos y geofísicos podrían conformar equipos de trabajo multidisciplinares. El planteamiento de este tipo de trabajos seguiría las fases recogidas en la figura n.º 1 y que pueden agruparse en las siguientes:

— Fase 1: Aproximación al problema de estudio donde valorar tanto la investigación preliminar, como la definición de los objetivos, contextualización del trabajo y dimensionamiento de las labores. Esta fase se centraría en una de las aproximaciones habituales en el análisis arqueológico de yacimientos, como la investigación documental, regional o la realización de prospecciones ar-

1. Los autores desean mostrar su agradecimiento al Centro de Estudios Turiasonenses y al Grupo de Investigación Geotransfer de la Universidad de Zaragoza.



1. Diagrama de flujo para las distintas fases progresivas de aproximación a la investigación y prospección de yacimientos arqueológicos integrada con investigación geofísica y geológica.

queológicas superficiales. Estos datos pueden definir las características del estudio, tanto desde un punto de vista comparado con los datos disponibles en la zona de estudio, como también desde el punto de vista teórico a partir de las consideraciones preliminares que puedan establecerse. El objetivo de este apar-

tado sería determinar la localización, extensión y características de la zona de estudio, analizar los contrastes entre el medio natural de estudio y los elementos arqueológicos de investigación y establecer valoraciones sobre qué aproximaciones posteriores podrían realizarse para incrementar el conocimiento de

los yacimientos o sectores susceptibles de contenerlos.

– Fase 2: El análisis de las variables de la zona de estudio, contrastes, características y objetivos delimitaría las técnicas, densidades de muestreo y desarrollo del trabajo durante una fase de aproximación indirecta por medio de prospección geofísica. Esta aproximación, objetivo principal de este trabajo, se aborda a través de una prospección de baja resolución preliminar y una segunda etapa de prospección a mayor densidad y con técnicas de mayor resolución. El objetivo de las dos fases de prospección sería obtener una cartografía indirecta de los cambios naturales y antrópicos del subsuelo y establecer consideraciones sobre la estructura arqueológica del mismo. El fin último de esta fase sería el establecimiento de guías de intervención y localización de sondeos comprobatorios. El dimensionamiento de la guía de intervención tendría como objetivo priorizar los trabajos de investigación posteriores de tipo más invasivo o cualesquiera otras tareas ulteriores.

– Fase 3: Todo análisis realizado a partir de la interpretación de señales indirectas no inequívocas requiere de una contrastación que permita analizar el origen de las anomalías y su significado. Esta contrastación puede además permitir la generalización de los resultados geofísicos, analizar su significado y constreñir las características de los yacimientos en profundidad. En este sentido, quizás el método más directo y sencillo sería el establecer sondeos comprobatorios a lo largo de zonas geofísicamente significativas cuyos resultados permitan identificar el origen de las anomalías y de su variabilidad en las zonas de prospección. La comparación entre

los datos geofísicos y el análisis directo en los sondeos puede permitir también el desarrollo de refinamientos de las interpretaciones realizadas y que pueden incluir re-interpretaciones de los datos, nuevas campañas de estudio o la reconsideración de los resultados.

– Fase 4: El estudio detallado tanto de los restos arqueológicos como de su contexto puede iniciarse durante la fase de sondeos comprobatorios, pero el análisis integrado y contextualizado suele requerir el estudio íntegro del yacimiento tras su excavación. El uso de los resultados obtenidos del contexto geológico-geofísico junto con los datos arqueológicos puede disminuir significativamente las incertidumbres relacionadas sobre la potencial extensión de zonas no excavadas, su distribución, las características de contexto y el análisis integrado del yacimiento en su contexto geológico, geomorfológico, arqueológico e histórico.

El objetivo de este trabajo es realizar una guía de consideraciones a ser tenidas en cuenta en la realización de una prospección geofísica aplicada en la investigación de yacimientos arqueológicos, es decir, un análisis detallado de las fases 1 y 2 definidas anteriormente. Este análisis contempla tanto el dimensionamiento previo del trabajo a realizar: características estructurales y geofísicas de los elementos arqueológicos, técnicas más idóneas para resolver la problemática planteada, distribución del muestreo y de las resoluciones requeridas. En muchos casos, como se abordará en este trabajo, la utilización de más de una técnica de prospección pero también el dimensionamiento de las prospecciones geofísicas en fases con objetivos parciales diferentes pueden ser

mucho más rentables en la caracterización de los elementos arqueológicos que una única fase de prospección pobremente dimensionada originalmente.

¿QUÉ ES LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA?

La prospección geofísica consiste en la exploración del subsuelo a través de la medida indirecta de propiedades físicas. El análisis de perturbaciones de los campos físicos naturales o bien la identificación de la variación del registro de una señal artificial emitida puede permitir identificar variaciones de la composición, estructura, estado o comportamiento de los materiales del subsuelo. El éxito de la prospección depende principalmente de que exista un contraste suficiente entre el elemento a buscar y el terreno natural circundante como también de la técnica de prospección utilizada, su sensibilidad y resolución. Por otro lado, dependiendo de la técnica utilizada y de la propiedad analizada, pueden existir múltiples orígenes para una misma anomalía, por lo que es recomendable conocer en estos análisis la variabilidad de comportamientos de los materiales de estudio, aplicar más de una técnica de prospección e integrar toda la información disponible con el objetivo de disminuir las incertidumbres en la interpretación de los datos.

Para este dimensionamiento previo es de vital importancia el conocimiento de la fábrica constructiva de los elementos a analizar, sus características y su contexto constructivo histórico-arqueológico. Por esta dependencia en el dimensionamiento resulta la obligada necesidad de estudios integrados entre distintos equipos de trabajos con formaciones diferentes y donde se integren los contextos

geográficos, naturales, geomorfológicos, geológicos, arqueológicos e históricos para que un estudio de un yacimiento pueda ser fructífero. En los casos en que la información disponible con anterioridad a los trabajos geofísicos sea escasa es recomendable la realización de medidas directas de los elementos a analizar, la contrastación geofísica con elementos conocidos como también la integración de la prospección geofísica con más de una técnica. En este caso, el análisis integrado de distintas técnicas —medida de distintas propiedades— puede permitir adscribir los cambios en dichas propiedades a un determinado origen con un mayor grado de certidumbre (cambios congruentes entre distintas técnicas o propiedades físicas con determinados elementos, frente a anomalías no inequívocas para una determinada técnica y que permite identificar su origen por la ausencia de contraste en otra).

En el caso de la prospección geofísica aplicada a la búsqueda, localización y caracterización de restos arqueológicos el dimensionamiento de la prospección depende de varios factores, entre los cuales se encuentran: I) las características de los elementos a analizar (propiedades geofísicas de los elementos arqueológicos y su contraste con respecto al medio natural), II) la resolución de los equipos utilizados (grado de sensibilidad de las técnicas utilizadas para detectar los elementos enterrados), III) extensión de la superficie a analizar (que configura el mallado de muestreo, la densidad de toma de datos y el tiempo requerido para la prospección) y IV) la presencia de ruidos en la zona (influencia de elementos no naturales, no asociados a los elementos arqueológicos a buscar y asociados habitualmente a elementos antrópicos).

FÁBRICA CONSTRUCTIVA: LOS YACIMIENTOS DE LA DEHESA Y DEL POLÍGONO INDUSTRIAL (TARAZONA, ZARAGOZA)

El yacimiento de La Dehesa (Tarazona, Zaragoza) es una de las primeras villas romanas que fue descubierta dentro de la investigación arqueológica del mundo rural de *Turiaso* debido a la desafortunada actuación, en un momento anterior a 1979, por parte de clandestinos. Esta intervención dejó a la luz, en una cata sin control arqueológico, numerosos materiales de cronología romana comprendida entre los siglos I-II d. C.,² aparte de los restos que ya existían en superficie a causa de la erosión del lugar. Por esto, poco tiempo después, el Centro de Estudios Turiasonenses realizó una recogida de materiales y una pequeña excavación con la participación y ayuda del Museo Provincial de Zaragoza.³

Esta villa se sitúa al norte de Tarazona, en el topónimo del mismo nombre, a 10 kilómetros de este núcleo urbano, y a 7 kilómetros al suroeste de Cascante (Navarra), la antigua *Cascantum*. Además se

2. Ignacio Javier BONA LÓPEZ, Ana Isabel ALBUIXECH y Julio NÚÑEZ MARCÉN «La Dehesa (Tarazona)», en Ignacio Javier BONA LÓPEZ y otros, *El Moncayo. Diez años de investigación arqueológica y prólogo de una labor de futuro*, Tarazona, Centro de Estudios Turiasonenses, 1989, pp. 117-118; José Ángel GARCÍA SERRANO, *Arqueología del Moncayo. Catálogo de la exposición permanente*, Tarazona, Centro de Estudios Turiasonenses, 2003, pp. 122-123 y 150-151; y Alfonso Carlos SANZ NÚÑEZ, «Métodos geofísicos aplicados a la prospección arqueológica», *Turiaso*, III (Tarazona, 1982), pp. 9-27.

3. Información facilitada por el profesor José Luis Corral; e Ignacio Javier BONA LÓPEZ, Ana Isabel ALBUIXECH y Julio NÚÑEZ MARCÉN «La Dehesa (Tarazona)», ob. cit., pp. 117-118.

emplaza, dentro de la margen izquierda del barranco de Caldereras, a aproximadamente 500 metros al este del curso actual de la acequia de Magallón donde este torrente desagua [fig. n.º 2].

Entre los restos estructurales con los que contamos en este lugar hay dos estructuras rectangulares de carácter hidráulico provistas de muros de conglomerado recubiertos por muretes de mortero hidráulico, a modo de sándwich, y suelos hechos también de este mismo mortero, además de otra estructura consistente en un muro de mampostería. Estas estructuras fueron halladas en los sondeos arqueológicos llevados a cabo en 2012 por parte de dos de los firmantes de este trabajo.⁴ El muro de mampostería podría concordar en su morfología con la esquina de la estructura de una habitación realizada en aparejo tosco y con una altura de 1,5 metros aproximadamente que fue excavada en 1979.⁵ Además, en superficie, se pueden observar algún sillar suelto y una línea de pavimento de más de 5 metros de largo que asoma en un terraplén al norte del yacimiento entre dos de las parcelas que compone este sitio arqueológico.

4. Pilar DIARTE BLASCO y Carlos GARCÍA BENITO, *Prospección arqueológica y geofísica en las villas romanas del Polígono, Jinete (I y II), Dehesa y Pesquera*, inédito, informe depositado en la Dirección General del Patrimonio Cultural del Gobierno de Aragón, Plan General de Investigación Arqueológica, año 2012; Pilar DIARTE BLASCO y Carlos GARCÍA BENITO, *Sondeos arqueológicos en la villa romana de «La Dehesa»*, inédito. Informe depositado en la Dirección General del Patrimonio Cultural del Gobierno de Aragón, Plan General de Investigación Arqueológica, año 2012.

5. Ignacio Javier BONA LÓPEZ, Ana Isabel ALBUIXECH y Julio NÚÑEZ MARCÉN, «La Dehesa (Tarazona)», ob. cit., pp. 117-118.



2. Situación geográfica del yacimiento de La Dehesa (Tarazona, Zaragoza).

De los restos arqueológicos muebles encontrados, tanto en superficie como dentro de niveles arqueológicos (de un metro a metro y medio de potencia aproximadamente), podemos destacar gran cantidad de fragmentos cerámicos romanos (*tegulae*, ímbrices, ladrillos, cerámica común, TSH, cerámica engobada, cerámica de almacenaje, etc.); telas; restos de vidrio; restos metálicos (cerraduras, monedas, placas de plomos, etc.); carbones; restos de mortero y adobe descompuesto, etc.⁶

El yacimiento del Polígono Industrial (Tarazona, Zaragoza) fue descubierto a causa de las obras de urbanización de una de las calles del Polígono Industrial de Tarazona (actual calle Comunidad Foral de Navarra) que lo dañó en gran medida. Esta actuación dejó a la luz una serie de interesantes restos arqueológicos romanos tardoantiguos, fechados entre los siglos III y V d. C., que fueron

recogidos de urgencia por miembros del CET para evitar su pérdida. Posteriormente se realizaron tres campañas de excavación de urgencia dirigidas por José Ángel García Serrano y Sofía Gómez Villahermosa en 1998, 1999 y 2001, descubriendo importantes restos arqueológicos y estructuras romanas.⁷

Este lugar se sitúa al sureste de Tarazona, en el topónimo Rueda, a menos de 2 kilómetros de distancia de su núcleo urbano, incluido en una zona verde del Polígono Industrial de Tarazona en su Parcela N. Está enmarcado por varios viales del Polígono Industrial al norte, este y sur, y por la Carretera N-122 al oeste. La acequia de Magallón Fiel discurre a apenas 1'5 kilómetros al norte del mismo [fig. n.º 3].

6. Pilar DIARTE BLASCO y Carlos GARCÍA BENITO, *Sondeos arqueológicos...*, ob. cit.

7. José Ángel GARCÍA SERRANO, «El yacimiento tardorromano del Polígono Industrial de Tarazona: avance de la excavación», *Tvriaso*, XIV (Tarazona, 1997-1998), pp. 9-53; José Ángel GARCÍA SERRANO *Arqueología del Moncayo...*, ob. cit., pp. 124-125, 142-145, 148-149, 152-153, 168-169, 178-183 y 186-187.



3. Situación geográfica del yacimiento del Polígono Industrial (Tarazona, Zaragoza).

Entre los elementos estructurales hallados en este lugar durante las excavaciones de urgencia se encontraron restos de hasta seis habitaciones compuestas por muros de mampostería de piedras areniscas y calizas, junto con cantos rodados, y suelos superpuestos de *opus caementicium*, además de una estructura rectangular de carácter hidráulico de grandes dimensiones provista de muros de mortero hidráulico, así como un pozo, dos bases de columna de piedra arenisca, apoyos de postes y un hogar.⁸

De los restos arqueológicos muebles encontrados en sus diferentes niveles arqueológicos destacamos gran cantidad de fragmentos cerámicos romanos (*tegulae*, ímbrices, cerámica común, TSH, cerámica engobada, cerámica de almacenaje, cerámica africana, etc.); agujas de hueso; restos de vidrio; restos metálicos (cencerro, monedas, una *tabula ansata*, pinjante de bronce, etc.); estucos; carbones, etc.⁹

8. *Idem.*

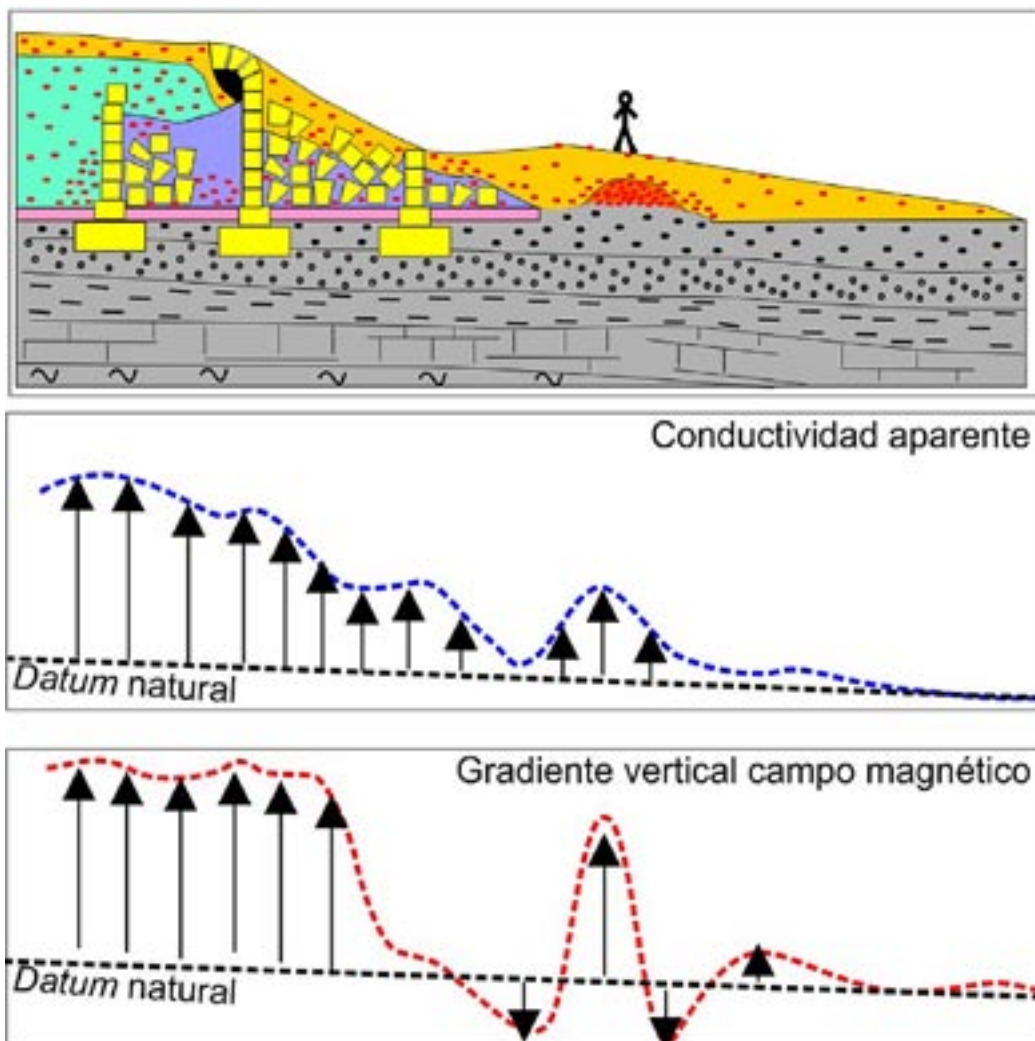
9. *Idem.*

DIMENSIONAMIENTO Y VARIABLES DE LA GEOFÍSICA

En este apartado se abordan algunos de los pasos previos a la prospección. Los aspectos a valorar contemplan tanto las variables teóricas de las técnicas utilizadas como también las conclusiones obtenidas del conocimiento del contexto arqueológico, la medida directa de contrastes geofísicos en el terreno o el análisis comparado por parte de distintas técnicas de prospección.

¿Qué contrastes representan las estructuras o restos arqueológicos con respecto al medio natural en el que vamos a trabajar?

Uno de los aspectos previos a ser valorados es si las estructuras o elementos arqueológicos presentan un contraste con respecto a los materiales naturales del subsuelo. Es decir, valorar cuáles son los valores esperables para el medio natural y cuáles serían los valores de los elementos arqueológicos a analizar. Estos valores, en el caso de la búsqueda de elementos no naturales, son, en mu-

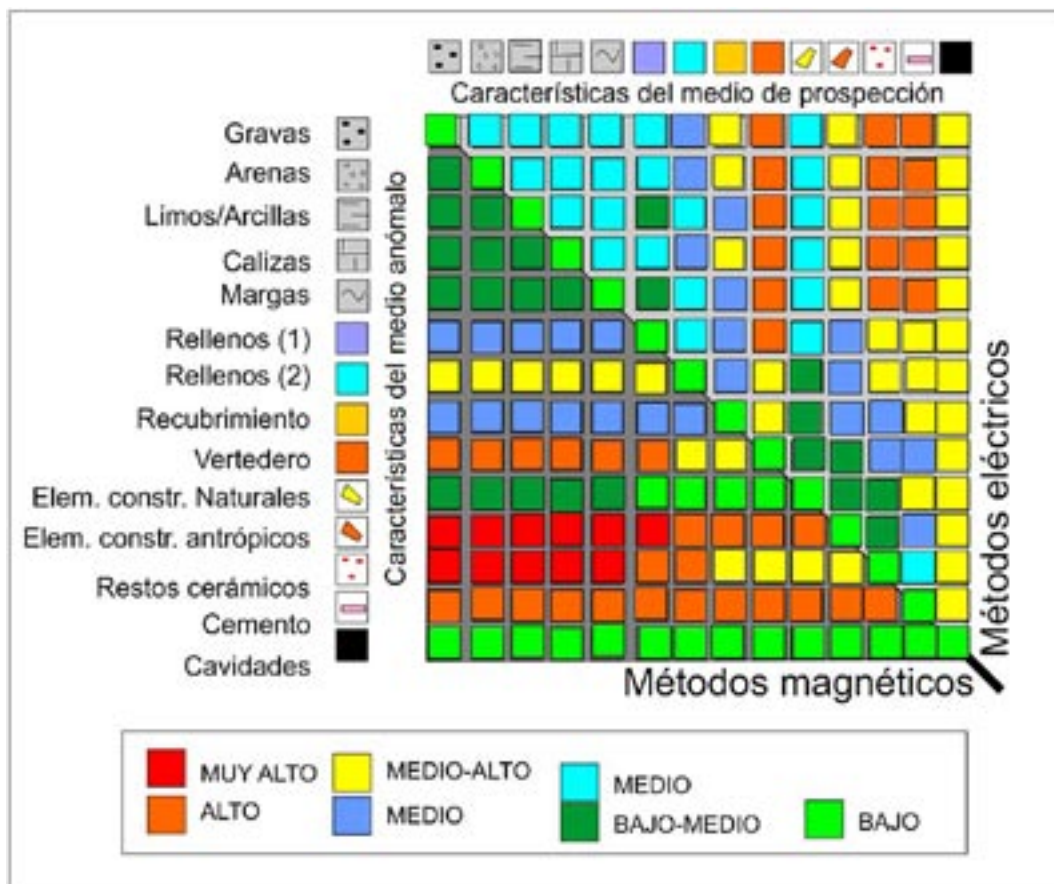


4. Modelización matemática (método directo) de los resultados que podrían obtenerse sobre el yacimiento teórico considerado a partir de técnicas magnéticas y electromagnéticas.

chos casos, varios órdenes de magnitud inferiores o superiores al medio natural. En este caso, haciendo referencia a un contexto teórico para un medio con estructuras constructivas en el subsuelo, se identifica que los contrastes entre los distintos niveles arqueológicos (materiales con diferente concentración de restos constructivos) y los terrenos naturales son de tipo medio-alto. En el caso de la figura n.º 4, se pueden identificar,

por ejemplo, variaciones de la susceptibilidad magnética entre elementos cerámicos y el terreno natural pero también el contraste entre materiales de recubrimiento de origen natural pero con alto contenido en restos cerámicos con respecto al medio natural.

En este análisis también se puede identificar la presencia de variaciones conjuntas de distintas propiedades geofísicas.



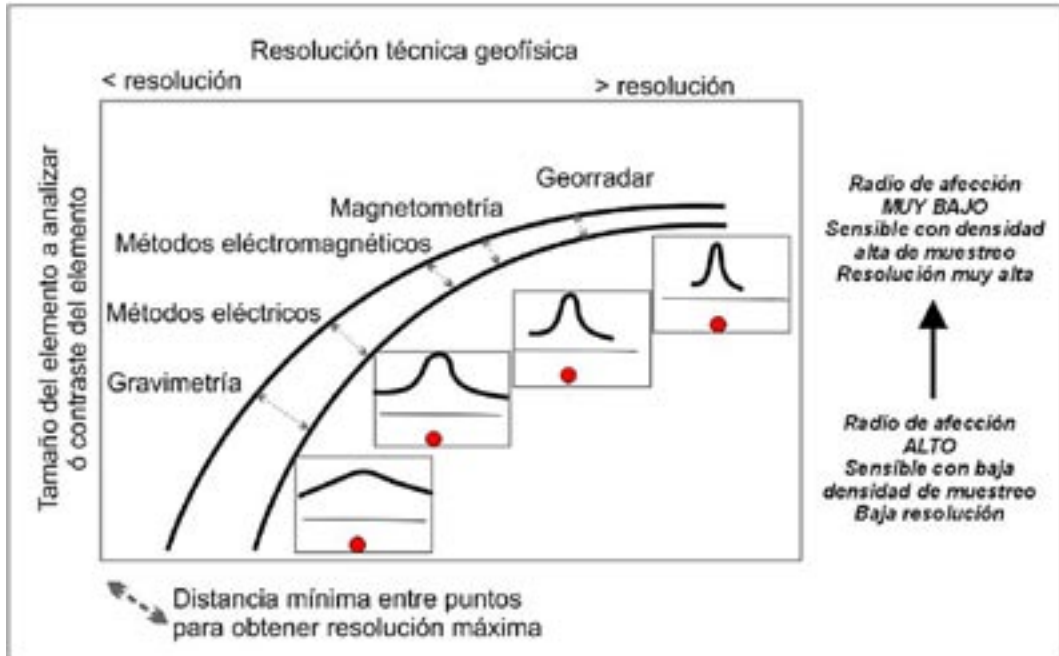
5. Ábaco de valoración de contrastes entre medios para variaciones de propiedades geofísicas entre métodos magnéticos y eléctricos y distintos materiales.

sicas como susceptibilidad magnética o conductividad eléctrica. Estos cambios, aun coincidentes arealmente entre distintas técnicas geofísicas, pueden tener distinto origen. Por ejemplo, variaciones de la susceptibilidad magnética de los materiales constructivos y anomalías de conductividad asociadas a cambios del espesor de los materiales de recubrimiento por encima del yacimiento que muestran mayores espesores en las zonas compartimentadas por estructuras en el subsuelo.

Además de las características intrínsecas de los elementos a analizar, tam-

bién influye el contraste geofísico entre el medio de interés y en el que se encuentra el elemento (por ejemplo, un elemento cerámico puede desarrollar una anomalía superior en varios órdenes de magnitud con respecto al medio natural, pero si este elemento se encuentra dentro de un medio constructivo, la impronta de la anomalía estará presente pero el contraste con el medio circundante será mucho menor).

En este sentido, además de las propiedades geofísicas intrínsecas del elemento a analizar, también debe valorarse el contraste con el medio en el que se



6. Análisis de resoluciones por distintas técnicas de prospección geofísica y rangos de afección lateral de las anomalías generadas por elementos de contraste medio-alto en el subsuelo.

encuentra dicho elemento. Con el objetivo de analizar estas variables, en la figura n.º. 5, se incluye una comparativa entre la señal que puede presentar un elemento aislado de alto contraste y el medio en el que se incluye. En este sentido, dependiendo de los objetivos de la prospección, y teniendo en cuenta los rangos de variación de propiedades físicas y las características del yacimiento, se puede realizar una evaluación preliminar de las técnicas más recomendables para el análisis geofísico aplicado a la arqueología.

¿Qué resolución necesitamos para la prospección? ¿De cuánto tiempo disponemos y de qué superficie se trata?

La resolución de prospección depende de las características de los equipos utilizados (sensibilidad de los sen-

sores para analizar anomalías de bajo contraste o pequeña intensidad), de la técnica utilizada (dependiente principalmente de la onda analizada y de la perturbación que produce el elemento anómalo en el registro obtenido) y de forma indirecta de la densidad de toma de datos o la distancia entre los puntos de medida. Con el objetivo de analizar estas variables podemos definir una serie de términos para su análisis.

La *resolución intrínseca* depende del contraste de los elementos a analizar con respecto al medio en el que se incluyen y es dependiente de las técnicas utilizadas para la prospección. La *resolución instrumental* que depende del equipo utilizado para la prospección y es una medida de la capacidad de discriminación del equipo ante señales de baja intensidad [fig. n.º 6]. La *resolución óptima* sería

aquella en la que se analiza el contraste de los elementos a analizar, la sensibilidad de los equipos de estudio y también la densidad de toma de datos para la resolución de las anomalías o el establecimiento de su distribución. En este caso, para un determinado contraste, técnica y equipo, el incremento de la densidad de toma de datos permitiría definir de forma más precisa la extensión y distribución de las anomalías. Por debajo de una determinada densidad de toma de datos las anomalías se desdibujarían o no se podrían definir. Sin embargo, el incremento del número de puntos de muestreo depende del equipo, técnica y contraste, de forma que el incremento de puntos de medida no necesariamente provoca un incremento de la resolución o de la definición de las anomalías. Estos aspectos, además de las variables analizadas de los contrastes de los elementos arqueológicos, deben ser abordados para la planificación de las técnicas geofísicas a aplicar, las densidades de muestreo necesarias y los patrones de prospección.

La obtención de una distribución homogénea de puntos de medida a lo largo de la zona de estudio también puede preconfigurar el grado de definición en planta de las anomalías, como también las características locales de la zona de prospección. En este sentido, la relación ruido/señal también puede determinar el éxito de la prospección. El término ruido se refiere a la presencia de elementos capaces de afectar al registro de las señales geofísicas y que no presentan una relación con los elementos de interés en la prospección. En este término se incluyen elementos de origen antrópico que pueden afectar al registro, afección indirecta de campos eléctricos o electromagnéticos (líneas de alta tensión, antenas repetidoras de telefonía móvil

y a menor escala los propios teléfonos móviles de los técnicos que realizan la prospección), y también la presencia de elementos en el subsuelo asociados al propio yacimiento. Este aspecto es importante cuando por ejemplo el contraste asociado a los restos cerámicos en un yacimiento es mayor que los propios elementos constructivos enterrados y donde las anomalías geofísicas dibujan la extensión de los elementos cerámicos y no la distribución ordenada de estructuras constructivas en el subsuelo.

Un tercer aspecto a ser considerado dentro de la densidad del muestreo y de la valoración de la resolución es el tiempo necesario para la prospección, el estudio e interpretación de los datos. En un momento determinado podría ser interesante analizar un yacimiento con técnicas de alta resolución, con alta densidad y procesado detallado. Pero el éxito de la prospección reside en colaborar y reducir los trabajos posteriores de excavación detallada, por lo que una dedicación temporal de estudio mayor que la propia excavación, o muy por encima del 20% del tiempo necesario para la excavación, produciría una aproximación geofísica no idónea.

Procesado de los datos, definición de qué entendemos por anomalía de interés y que registros no son importantes para el objetivo del estudio

El análisis del contraste de los elementos de interés para una prospección configura no sólo la posibilidad de detección de los mismos por técnicas geofísicas indirectas, sino que también pre-configura posteriormente a qué registros, anomalías o señales prestamos atención en el análisis de los datos. Estos aspectos permiten maximizar la posibi-

lidad de identificación o discriminación de las anomalías frente al fondo natural de cada una de las técnicas o procesados. Estos aspectos se relacionan con: I) la definición de las dimensiones del elemento de referencia para el estudio, II) eliminación de las anomalías de alto contraste, baja repetitividad o fuera de la resolución de los equipos de estudio, III) aislamiento de las interferencias externas o irregularidades en la zona de estudio durante la prospección, IV) utilización de medias ponderadas por sector de estudio para la homogeneización de los datos y obtener una distribución isotropa del mallado de puntos de estudio o V) la maximización de anomalías con respecto al nivel-base de la zona de estudio.

TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN, EQUIPOS Y METODOLOGÍA

Como se indicaba anteriormente, la elección de las técnicas de prospección y equipos depende de los objetivos considerados para el estudio del yacimiento y de los contrastes de los elementos en el subsuelo. Considerados los planteamientos anteriores se realiza aquí un análisis sobre su aplicación en los dos yacimientos mencionados en Tarazona. La prospección en la zona de estudio consistió en la medida de la intensidad y gradiente vertical de campo magnético terrestre [magnetometría; figs. núms. 7 a y 7 b], medida de la variación de la susceptibilidad magnética de los materiales de la zona de estudio de forma directa [medida de la susceptibilidad magnética; fig. n.º 7 c], prospección indirecta de las variaciones de la susceptibilidad magnética y conductividad eléctrica aparentes de los materiales del subsuelo para distintas frecuencias de estudio

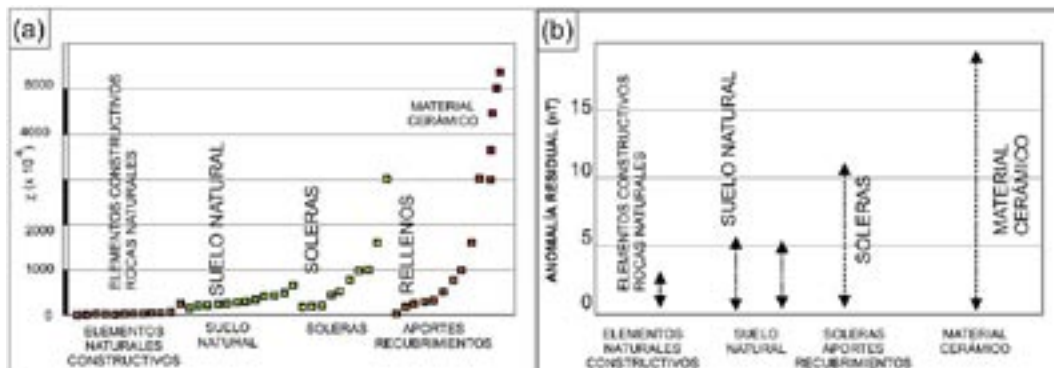
[prospección electromagnética multifrecuencia; fig. n.º 7 d] y análisis de las variaciones geométricas y de contrastes de las propiedades electromagnéticas de los materiales del subsuelo [prospección por georradar con distintas antenas y cambio de la penetración efectiva y de la resolución; figs. núms. 7 e y 7 f].

Magnetometría

Medida de las variaciones de la intensidad del campo magnético terrestre y del gradiente vertical de campo magnético como indicadores de la variación de la susceptibilidad magnética de los materiales del subsuelo. El campo magnético terrestre, responsable entre otras cosas de la orientación de las agujas de las brújulas, es un campo potencial relacionado con el funcionamiento de nuestro planeta como un gran imán. La intensidad del campo magnético terrestre depende de factores externos que configuran las variaciones de tipo temporal a corto plazo (principalmente actividad y viento solar), de la posición del punto de estudio (principalmente latitud) y de los tipos de materiales por debajo de la superficie terrestre. Las anomalías creadas por los objetos dependen de sus propiedades (básicamente la susceptibilidad magnética) y de su posición, siendo mayores las anomalías de aquellos elementos localizados más próximos a la superficie que aquellos más profundos y que pudieran presentar mayores contrastes laterales. En el caso de una prospección geofísica de tipo arqueológico el objetivo es la búsqueda de elementos con alta susceptibilidad magnética en las proximidades de la superficie de estudio o los cambios del espesor de los materiales de aporte o del contenido en elementos de alta sus-



7. Fotografías de los equipos utilizados para la prospección y rutina de muestreo en campo para los distintos equipos de prospección geofísica utilizados. (a) Implantación del equipo magnetómetro base para el control de las variaciones naturales del campo magnético terrestre (equipo PMG-01); (b) prospección areal con magnetómetro en configuración gradiente y GPS (magnetómetro de efecto Overhauser, GSM-19) (c) medida de susceptibilidad magnética en campo en elementos superficiales para analizar los contrastes de variación de los materiales de la zona de estudio; (d) equipo y prospección electromagnética de frecuencia variable (GEM-02); (e y f) equipos de georradar utilizados en la zona de estudio con antenas de 250 y 500 MHz (e) y 100 MHz (f).



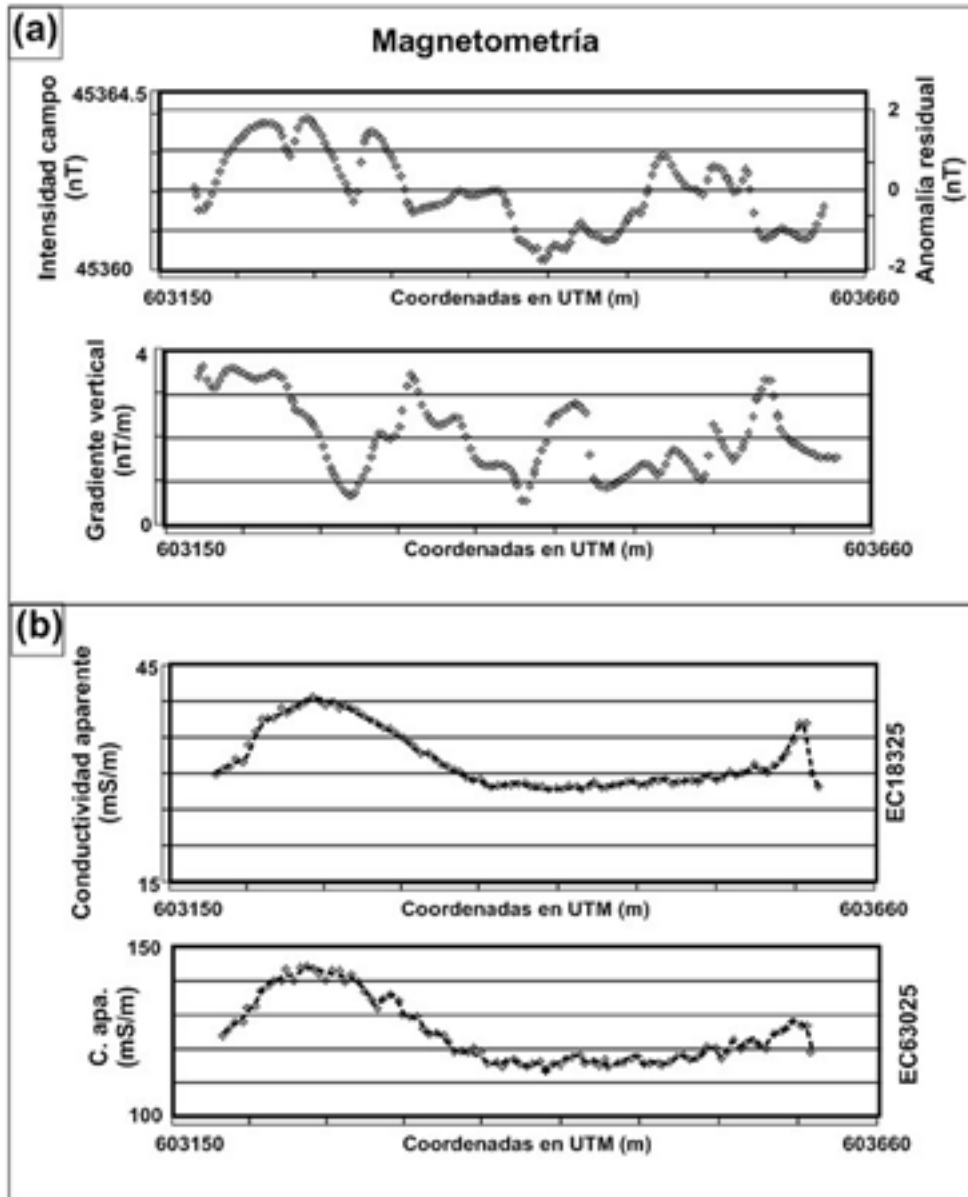
8. Resultados obtenidos de las medidas de susceptibilidad magnética en campo y rangos de variación para los distintos tipos de materiales (a) y modelización directa de las anomalías que pueden desarrollar los elementos identificados en función de sus rangos de variación de la susceptibilidad magnética.

ceptibilidad. En este contexto, los materiales metálicos y de origen cerámico suelen presentar anomalías bien definidas y de alto contraste. La prospección consiste en la medida sobre la superficie de estudio de la intensidad del campo magnético y, en paralelo, se utiliza un segundo equipo que permite realizar un registro de las medidas naturales de la intensidad de campo magnético terrestre durante el tiempo de la prospección. El análisis comparado de los registros de ambos equipos permite identificar las anomalías de campo magnético que se relacionan con variaciones del tipo del material en el subsuelo y no están relacionados con la variación natural del campo magnético terrestre.

Con el objetivo de analizar los contrastes que podrían obtenerse en el yacimiento estudiado se realizó también una campaña previa de medida directa de la susceptibilidad magnética de los materiales de la zona de estudio [fig. n.º 8]. Estos resultados permiten valorar el contraste presente entre los distintos materiales de la zona y también en los casos en que existan contrastes, deter-

minar cuál sería el rango de anomalías que podrían ocasionar en las medidas de magnetometría.

Estos resultados muestran que los elementos cerámicos presentan cambios de la susceptibilidad magnética de varios órdenes de magnitud en relación al entorno. Estos elementos pueden desarrollar anomalías respecto a los datos locales por encima de los 20 nT cuando estos se analizan a 1,5 metros de la superficie de estudio (configuración del equipo durante la prospección). Por otro lado, los materiales de origen natural o sin presencia de restos cerámicos son responsables del desarrollo de anomalías por debajo de los 5 nT, tanto en los materiales de origen natural, como de relleno o recubrimiento de las estructuras o elementos constructivos de origen pétreo. En este sentido, las mayores anomalías se identifican en los materiales de origen cerámico pero también se identifican anomalías en los materiales de tipo lutítico-arcilloso, no por las características geológicas de estas unidades, sino por su contenido variable en elementos cerámicos.

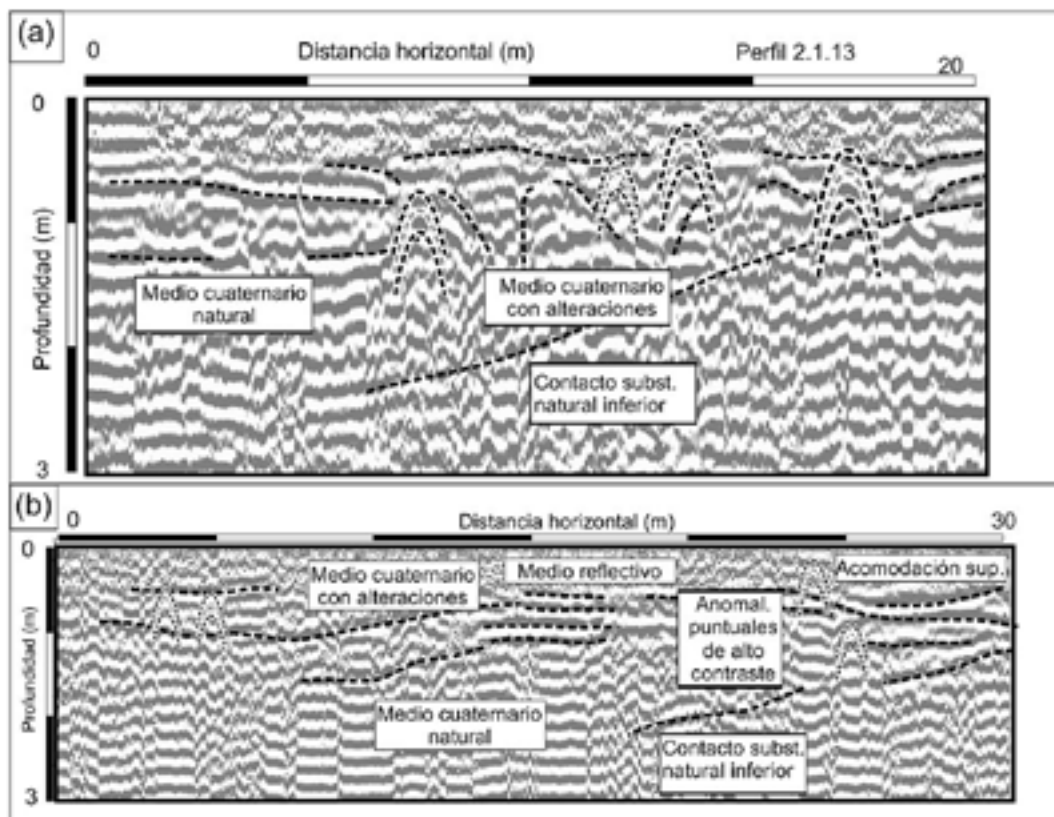


9. Comparativa de cambios identificados a través de la prospección por magnetometría y electromagnética de frecuencia variable (a) medida de la intensidad de campo magnético terrestre, gradiente vertical de campo; (b) variaciones de la conductividad eléctrica aparente en la zona de estudio obtenida del tratamiento de los datos de la prospección electromagnética para 2 frecuencias.

Prospección electromagnética de frecuencia variable

Medida de las variaciones de la conductividad eléctrica y susceptibilidad

magnética aparente de los materiales del subsuelo a través de métodos electromagnéticos. A diferencia del método anterior, que utiliza un campo potencial, la prospección electromagnética



10. Perfiles de georadar realizados en la zona de estudio con algunas de las anomalías más significativas identificadas en los mismos (a y b) ejemplo de procesamiento sobre un perfil realizado con el equipo de 250 MHz donde se identifican algunos reflectores (contactos de unidades en el subsuelo) y anomalías puntuales con geometría hiperbólica.

multifrecuencia consiste en el análisis de la variación de las características de una onda electromagnética emitida por el equipo y el registro de la señal retornada.

Las variaciones del registro obtenido dependen tanto del cambio de los materiales atravesados por la onda emitida como de la variación de su estado (principalmente grado de humedad). Las frecuencias configuradas en el equipo, comprendidas entre los 65 y 5 KHz, permite un análisis para un medio arcilloso habitual, entre los 1 y 7,5 metros de profundidad. La medida di-

recta de la conductividad eléctrica real para niveles localizados por debajo de la superficie de estudio es difícilmente abordable en campo y requiere de estudios detallados.

Por esta razón no se ha realizado un análisis previo de los contrastes directos de dichas propiedades, pero sí se ha hecho un análisis preliminar de las características de los materiales de estudio y un análisis comparado con los registros obtenidos de la prospección por magnetometría de la que sí se tenían datos directos. Los resultados obtenidos del análisis comparado [fig. n.º 9] muestran

una regresión general de correlación entre ambas técnicas, mayores valores de la intensidad de campo magnético en correlación con medios de alta conductividad en el subsuelo, o la presencia de anomalías puntuales de alto contraste que sólo afectan a las variaciones de la intensidad de campo magnético y no a las de conductividad aparente.

Georradar

El georradar o GPR (*Ground Penetrating Radar*) es una técnica de prospección también electromagnética y que permite la caracterización geométrica de los materiales del subsuelo en función de sus características electromagnéticas. La prospección permite obtener perfiles a modo de ecografía del terreno, donde se integran los resultados de la medida formada por las variaciones de las propiedades electromagnéticas de los materiales del subsuelo, a través de la emisión de una onda modulada y la obtención del registro de las ondas reflejadas en el subsuelo. En lo que respecta a las resoluciones y la sensibilidad de las técnicas a los cambios de los materiales en el subsuelo, esta técnica presenta la mayor resolución de las técnicas de prospección geofísica (dependiendo del equipo en rangos de varios centímetros) pero requiere de muestreos más densos de prospección que otras técnicas (mayor densidad de toma de datos a lo largo de las líneas de prospección y menor distancia entre ellas). A partir de los registros de georradar se pueden definir cambios de los materiales en el subsuelo [fig. n.º 10] en función de la presencia de: I) variaciones de la reflectividad (grado relativo de definición de la onda reflejada), II) presencia de reverberaciones o reflexiones múltiples de la onda propagada, III) grado de

atenuación (valoración cualitativa de la pérdida de definición o de reflexiones en el subsuelo) o IV) la presencia de anomalías con geometría hiperbólica (presencia de contrastes laterales netos o cambios rápidos de la estructura, comportamiento o tipo de los materiales del subsuelo).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA SU APLICACIÓN EN LA CARACTERIZACIÓN DE YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS

El análisis de los resultados de la prospección geofísica en los diversos sectores de análisis ha mostrado una distinta señal de las técnicas e influencia de los cambios de los materiales en el subsuelo. Estos resultados permiten adscribir su origen como asociados a estructuras arqueológicas pero también identificar algunas de las variables a ser tenidas en cuenta en prospecciones similares en otros contextos. Estos aspectos atienden principalmente a la resolución de distintas técnicas geofísicas (propiedades de estudio y contrastes), a la resolución de los registros, la posición de los elementos de estudio con respecto a la superficie de análisis y a la influencia de elementos externos a la prospección (ruidos).

La prospección por magnetometría mostró una alta resolución de registro, anomalías con pequeñas longitudes de onda compatibles con la presencia de elementos de alto contraste en condiciones subsuperficiales y es capaz de resolver, al menos, los cambios de la densidad de elementos cerámicos y la concentración de elementos de origen metálico en el medio de recubrimiento localizado por encima del yacimiento. Las anomalías identificadas y compara-

das con los elementos superficiales del yacimiento permiten identificar anomalías de bajo contraste, que aun estando presentes, ofrecen una interpretación menos directa, dado que anomalías similares pueden encontrarse asociadas a elementos no necesariamente en correlación con la estructura arqueológica del yacimiento.

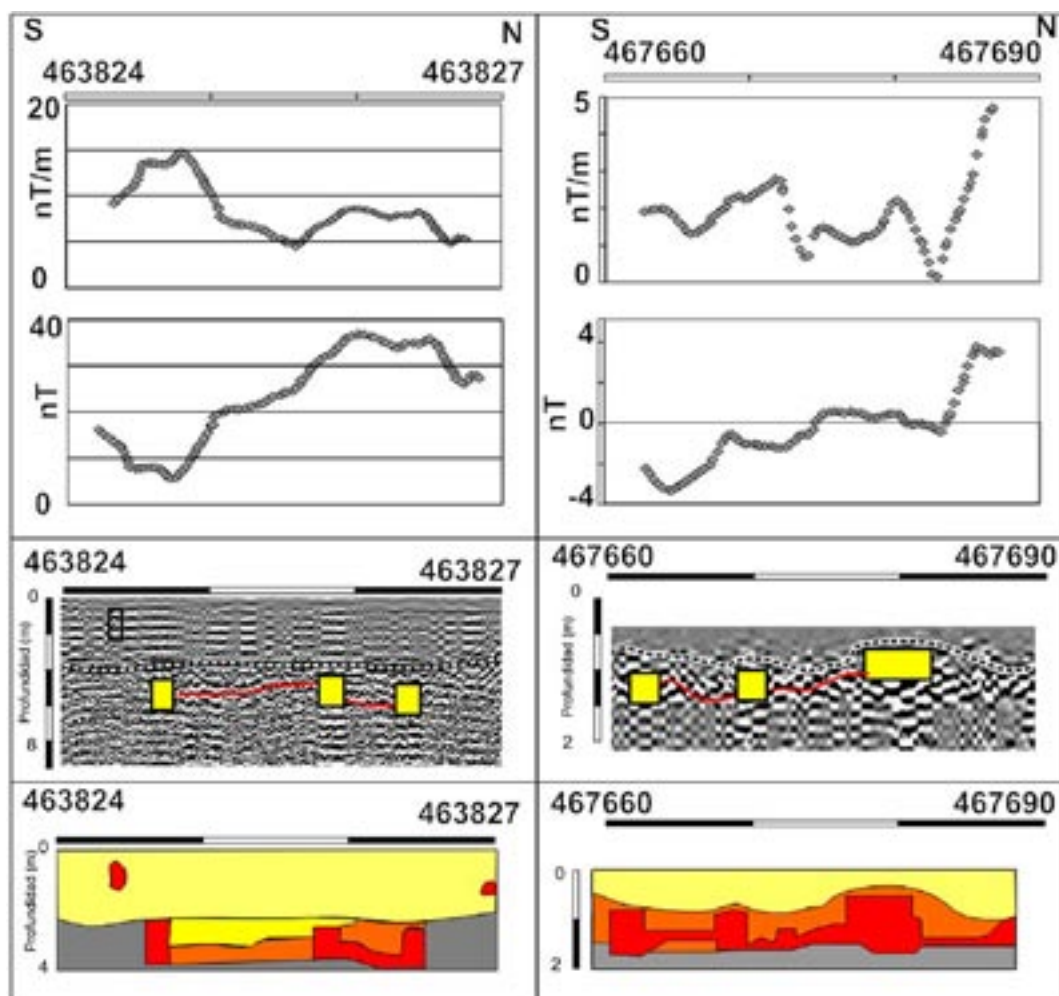
Los resultados de la prospección electromagnética muestran cambios paralelos a los identificados en la prospección magnética. Sin embargo, las anomalías presentan menores tasas de cambio y se identifica una distribución de anomalías más progresivas que las identificadas por magnetometría. Las anomalías de conductividad se disponen sobre las anomalías magnéticas según una envolvente o siguiendo una curva mucho más suavizada, es decir, que presentan una menor resolución de identificación de anomalías con las dimensiones de los elementos de interés en la prospección.

El análisis en detalle de las distintas secciones obtenidas de las propiedades geofísicas y comparadas con las medidas directas realizadas en las estructuras arqueológicas accesibles desde la superficie, permite definir una serie de correlaciones entre los cambios geofísicos y anomalías con los elementos arqueológicos en el subsuelo. Los elementos constructivos arqueológicos, que representan bloques pétreos en el subsuelo rodeados de materiales de naturaleza arcillosa, dan lugar a pequeñas anomalías con geometría hiperbólica en los perfiles de georradar, descensos de la intensidad de campo magnético terrestre, pequeños dipolos inversos de gradiente vertical de campo e incrementos de la conductividad aparente de los materiales en el subsuelo. El desarrollo

de estas anomalías muestra una mayor correlación y limitación lateral en el caso del georradar y en la prospección magnética que en la prospección electromagnética de frecuencia variable, en la que el radio lateral de influencia de las anomalías de conductividad se extienden mucho más que el elemento de interés en el subsuelo.

Además de la resolución identificada dependiente de las técnicas utilizadas y de las propiedades analizadas, existe un cambio significativo entre los registros obtenidos en el yacimiento del Polígono Industrial y de la Dehesa. Estas variaciones en el registro geofísico corresponden principalmente a cambios de las propiedades de las zonas analizadas. La profundidad de los elementos de estudio produce un cambio en la sensibilidad en el registro, con atenuación e incremento del radio de las anomalías para las técnicas magnética y electromagnéticas, o en el caso del georradar con anomalías aisladas en condiciones superficiales (yacimiento de la Dehesa) o medios de comportamiento anómalo y de mayor desarrollo lateral en condiciones más profundas (caso del yacimiento del Polígono Industrial). Este aspecto produce que la resolución de discriminación en el yacimiento de la Dehesa sea mucho mayor o que en el del Polígono la densidad de muestreo (distancia entre perfiles) necesaria para el análisis sea también menor.

En el caso de las variaciones del campo magnético terrestre o del gradiente vertical de campo, se identifican cambios paralelos entre anomalías con geometría hiperbólica y muros en el subsuelo, y variaciones de varios nT en el campo magnético terrestre. Sin embargo los rangos de variación de la in-



11. Análisis comparado de distintas técnicas de prospección geofísica aplicadas en los dos yacimientos analizados.

tensidad de campo magnético en cada uno de los yacimientos son muy diferentes [fig. n.º 11].

En el caso del yacimiento de la Dehesa, las anomalías asociadas a estructuras arqueológicas se encuentran en el rango de variabilidad esperada para los elementos arqueológicos analizados y este rango representa la variabilidad completa a escala de todo el yacimiento. Sin embargo, en el caso del yacimiento del Polígono Industrial, se identifican

cambios similares asociados a estructuras arqueológicas pero la variabilidad en todo el yacimiento presenta rangos de varios centenares de nT (varios órdenes de magnitud por encima de las anomalías arqueológicas). Este mayor rango de variación produce una pérdida de la capacidad de identificación de las anomalías asociadas a las estructuras arqueológicas y donde las mayores variaciones se relacionan con elementos antrópicos recientes. Algunas de estas anomalías se pueden relacionar con la presencia

de verjas metálicas que rodean el yacimiento, y estructuras constructivas de protección de las estructuras arqueológicas en el interior del yacimiento y que presentan también naturaleza metálica. Aspectos similares se han identificado en el caso de la prospección electromagnética de frecuencia variable, donde las variaciones asociadas a los elementos metálicos presentan mayores rangos de variación que los propios elementos de estudio objetivo de la prospección. Esto supone que para el caso del yacimiento del polígono la relación señal/ruido haga inviable una interpretación detallada de la estructura arqueológica en el subsuelo, mientras que en el caso del yacimiento de La Dehesa, esta relación sea mínima y donde todas las anomalías identificadas se deben a variaciones en el subsuelo.

Por otro lado, la correlación entre anomalías y estructuras arqueológicas, no es inequívoca, puesto que bloques naturales en el interior del terreno natural, o elementos sin conexión actual con la estructura constructiva arqueológica pueden generar anomalías similares. Es el caso de la presencia de bloques constructivos sin relación con la fábrica constructiva actual o bloques pétreos naturales. En estos casos se identifican anomalías similares para las distintas técnicas analizadas y el principal cambio reside en la ausencia de una correlación lateral directa de las anomalías a lo largo de la zona de estudio. En estos casos, la ausencia de un patrón ordenado de anomalías, especialmente en el caso del georradar, permite discriminar entre anomalías sin correlación y elementos aislados en el subsuelo y la presencia de patrones ordenados de anomalías y que se correlacionan con la presencia de estructuras constructivas en el subsuelo.

CONCLUSIONES

El análisis preliminar de las variables asociadas a yacimientos arqueológicos y su relación con elementos conocidos de dos yacimientos de la ciudad de Tarazona ha permitido establecer una serie de consideraciones sobre la aplicabilidad de la prospección geofísica en la localización, caracterización e interpretación geofísica de yacimientos arqueológicos. Este análisis se fundamenta en un estudio sistemático y multidisciplinar que sienta las bases de la aplicación como rutina habitual del estudio de yacimientos arqueológicos en contextos similares, de acuerdo con la pauta seguida en los yacimientos analizados, o en otros contextos, a partir del dimensionamiento y progresión planteada en la rutina presentada.

La rutina planteada presenta una distribución que puede integrarse fácilmente con una aproximación más tradicional de modo arqueológico con la que presenta grandes similitudes. De igual forma que el estudio previo durante la fase 1 requiere de una investigación de contexto para dimensionar la tipología de yacimientos y contrastes, y que preconfigura la fase 2, en arqueología el cambio de metodología que se produce dependiendo del periodo arqueológico analizado presenta un dimensionamiento previo similar.

En el caso de la prospección geofísica, la presencia de elementos de alto contraste y próximos a la superficie de estudio, presenta anomalías sin patrones ordenados pero donde se pueden realizar zonaciones en función de comportamientos anómalos con respecto al medio natural esperable como se identifica en los casos de prospección arqueológica superficial previa pero no

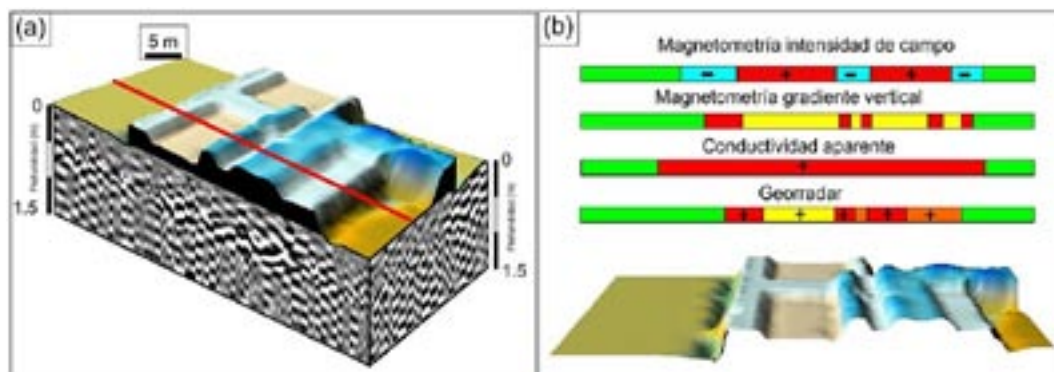
dependiente del afloramiento superficial dichos elementos.

En este caso, la prospección geofísica aunque es más sensible a elementos próximos a la superficie, puede permitir identificar restos en el subsuelo sin necesidad de evidencias superficiales. Los resultados planteados y siguiendo la propuesta de aproximación planteada en la figura n.º 1 de este trabajo, permitiría la aplicación de distintas fases de aproximación geofísica, con objetivos parciales diferentes y que podría desarrollarse de acuerdo con los siguientes apartados:

– Prospección areal de baja resolución con el objetivo de caracterizar sectores donde se identifiquen contrastes de las propiedades analizadas y fuera del comportamiento esperable para los materiales naturales. En este sentido, tanto la prospección por magnetometría (intensidad y gradiente vertical de campo) como la prospección electromagnética de frecuencia variable son técnicas de prospección rápidas, donde el radio lateral de influencia de los elementos antrópicos en el subsuelo puede ser suficiente como para un análisis de resolución métrica y abordar amplias superficies para la delimitación de yacimientos. Sin embargo, presenta inconvenientes en sectores en los que además de señales antrópicas asociadas a elementos de yacimientos arqueológicos, existen otras contribuciones de elementos no asociados a los yacimientos (como verjas metálicas o elementos de protección). Este es el caso del yacimiento del polígono, donde las anomalías antrópicas no asociadas a la fábrica constructiva arqueológica, presentan rangos de afección al registro analizado de varios órdenes de magnitud mayores que el registro arqueológico.

– Prospección detallada de zonas con anomalías o sectores con registros no naturales. La prospección por georradar se aísla de los elementos fuera de la vertical de prospección, y puede permitir la identificación exacta de la posición del elemento anómalo, o el análisis detallado de la distribución en planta de las anomalías. Se indicaba en los apartados precedentes, que el registro geofísico es sensible de igual manera a un elemento puntual que a otro que forme parte de una estructura lineal, la discriminación entre ambas se debe establecer a partir de la distribución de las anomalías en planta. En este caso, el mayor detalle en la identificación del origen de las anomalías y su menor afección lateral, supone una aproximación de mayor resolución con el georradar para establecer la presencia de anomalías puntuales aisladas y anomalías con patrones ordenados en el subsuelo. En este sentido, la prospección geofísica por georradar podría representar una aproximación viable en medios con alta influencia de restos antrópicos no arqueológicos, puesto que se encuentran aislados de las influencias laterales o externas. Sin embargo, la densidad de toma de datos, por debajo del metro de prospección entre perfiles, con disparos progresivos a lo largo de los perfiles de escala centimétrica y la necesidad de realizar perfiles en dos direcciones perpendiculares, puede suponer una reducción drástica de la viabilidad de prospecciones cuando se pretende identificar de forma preliminar yacimientos o grandes superficies de terreno.

En la figura n.º 12 se presentan los resultados integrados de georradar y de correlación lateral de anomalías entre perfiles próximos y los modelos que pueden obtenerse de dicho análisis con



12. (a) bloque diagrama establecido a partir de perfiles de georadar y establecimiento de la correlación lateral entre perfiles para la identificación de estructuras arqueológicas en el subsuelo (b) rangos para la capacidad de identificación y discriminación de las estructura arqueológicas por medio de las distintas técnicas de prospección analizadas en este trabajo.

separación entre perfiles de 1 metro. En estos casos, el rango de discriminación lateral estará en el mismo rango de la separación entre perfiles. Se incluye también en la misma figura los rangos de sensibilidad de distintas técnicas de prospección a los elementos arqueológicos de estudio. Esta valoración se hace coincidente con el modelo desarrollado para los perfiles de georadar y valorando la variación con respecto al *datum* local (anomalías positivas o negativas), el grado de contraste lateral con el medio en el que se encuentran y el radio de afección lateral que preconditiona la distribución en planta de las anomalías

y la distancia necesaria para su identificación a partir de dicha técnica.

La rutina de trabajo planteada, aunque con episodios o fases no novedosas, representa en su integración una aproximación pluridisciplinar y multitécnica que puede colaborar significativamente en el dimensionamiento de trabajos de investigación arqueológica en el futuro. Este dimensionamiento metodológico plantea la distribución de las fases o etapas de investigación, priorizar los trabajos y metodologías, y los tipos de actuaciones para obtener intervenciones económica y temporalmente más eficientes.