

PRÓLOGO

El martes 28 de noviembre de 2023, la Real Academia presentaba la 23.7 versión digital del Diccionario de la Lengua Española, donde se reconocía, por primera, vez la voz “Georradar”: Radar que es capaz de detectar materiales y objetos por debajo del nivel del suelo. La mención a este instrumento geofísico está cada vez más presente en los contenidos de los medios de comunicación y, aunque su uso en ingeniería y construcción es habitual, es por su creciente aplicación al Patrimonio Histórico-Arqueológico por lo que recurrentemente sus resultados generan noticias de interés.

Aunque como partícipes de la misma no alcanzamos a dimensionar su trascendencia, vivimos inmersos en un revolución tecnológica y digital que se desarrolla a una velocidad vertiginosa. Esta revolución afecta a los conceptos – ahora mismo asimilamos el de Inteligencia Artificial – pero también a los instrumentos y, cómo no, a los formatos de representación de la realidad.

La confluencia de varios factores permite que las herramientas geofísicas, conocidas hace décadas, hayan alcanzado ahora un grado de desarrollo tal que el concepto de ‘Remote Sensing’ o el de Investigación no Invasiva adquieran una nueva dimensión. Su manejo ya no depende de complejos procesos técnicos, y los productos que obtienen son mucho más completos, y también más comprensibles para los que tenemos una formación histórica y arqueológica. La escala espacial de trabajo se ha ampliado enormemente, dependiendo del instrumento ciertamente, pero en cualquier caso las exploraciones ahora se miden por hectáreas.

La Historia en general, y la Historia Antigua en particular, necesita para su desarrollo continuo como disciplina ser alimentada con nuevas fuentes primarias, y también nuevas perspectivas sobre las fuentes primarias ya conocidas. Es precisamente este impacto sobre el acceso a fuentes primarias materiales a gran escala lo que valoriza el empleo de las técnicas de prospección remota mejorada para el ámbito de las Humanidades.

Los historiadores no pueden permanecer ajenos a estas realidades técnicas que proporcionan nueva e ingente información para el análisis histórico. Sin embargo, la formación y cualificación necesaria para un uso óptimo de las técnicas de exploración no invasivas están lejos de contemplarse en los itinerarios curriculares de los grados en Historia. Paradójicamente, las posibilidades que la nueva panoplia instrumental ofrece permiten reabrir, reconsiderar y dinamizar algunas de las líneas de investigación más queridas y recorridas por la historiografía, eso sí, accediendo a una información primaria que, hasta ahora y en términos de inversión económica y temporal, no resultaba viable. Así, los estudios del mundo urbano y rural antiguo ofrecen ahora inmensas posibilidades, al permitirnos los nuevos instrumentos digitalizar los territorios, conocer las tramas constructivas de las urbanísticas públicas y privadas, acceder a las huellas del palimpsesto del paisaje que informa sobre su ordenación, defensa, jerarquización, comunicación y explotación.

Y en este contexto, sucintamente descrito, ve la luz la obra de la Dra. Isabel Rondán Sevilla. Joven investigadora, representa la visión y la perspectiva de las generaciones de historiadores que tomarán el relevo en las instituciones académicas, para investigar y formar a nuevas promociones, ya digitales, que afrontarán otras formas sociales de entender el uso y la función de la Historia en el siglo XXI.

Isabel Rondán, formada en Sevilla y Cádiz, ha procurado orientar su especialización en tres direcciones: en los estudios de Arqueología Clásica, en los de Historia Antigua, y en el manejo de todas las técnicas y métodos propios de la Investigación no Invasiva. Hoy está vinculada al Área de Historia Antigua de la Universidad de Cádiz, y al Laboratorio de Historia del Instituto de Investigaciones Vitivinícola y Agroalimentario (IVAGRO), sede de la Unidad de Geodetección y Georreferenciación del Patrimonio Histórico-Arqueológico de la UCA. En estos espacios de investigación ha podido acceder a un instrumental de última generación, afrontando y superando el reto de conocer el manejo de todos ellos. Y en este marco ha desarrollado su tesis doctoral, germen de la obra que estamos presentando.

Si las nuevas condiciones técnicas suponen una gran transformación metodológica en la investigación, persisten en cambio los principios epistemológicos sobre los que se sustenta el saber histórico. Es por tanto fundamental que la aplicación de las nuevas técnicas responda a preguntas y objetivos de carácter histórico, única manera de evitar la reedición de unas prácticas, digitales, pero meramente positivistas, en el mal sentido del término.

Así lo ha planteado la Dra. Rondán en su obra, seleccionando un conjunto de casos de estudio, identificando las cuestiones que su análisis deben resolver para avanzar en el conocimiento histórico de esas diversas casuísticas. Los yacimientos analizados reúnen conjuntamente una gran cantidad de problemáticas, que son habituales en las investigaciones histórico-arqueológicas. Algunos de estos problemas se relacionan con la documentación generada en actuaciones anteriores y la necesidad de integrarlas en los actuales formatos digitales. Otras cuestiones se relacionan con la necesidad de abordar la reconstrucción de los paleopaisajes para comprender las realidades geográficas originales de los asentamientos estudiados. Abordar el análisis de lugares singulares en la topografía romana, como *figlinae*, *cetariae*, *suburbia*, *vici* o *mansiones*, con el empleo exclusivo de técnicas no invasivas es un reto no menor, que se ha afrontado con éxito en esta investigación que se presenta.

Para cada caso particular, precedido de un análisis historiográfico concienzudo, una delimitación de objetivos, y una perspectiva enmarcada en el conocimiento de las sociedades antiguas, la Dra. Rondán ha diseñado un método de actuación, combinando las técnicas más adecuadas, según la caracterización histórica apriorística de cada lugar. No son pocas las técnicas y los instrumentos empleados en cada caso, ni los postprocesos, procedimientos y propuestas de análisis, algunos francamente innovadores.

La obra no es solo un conjunto de casos abordados con buenos resultados, como su lectura podrá demostrar, también detalla en sus primeros capítulos el estado del arte, y las características del instrumental empleado, tanto en hardware como en software. Abunda igualmente en las Tecnologías de la Información Geográfica, que permiten construir el escritorio remoto y virtual donde toda la información histórica obtenida puede ser analizada.

En definitiva, la obra que hoy ve la luz expone importantes retos actuales de nuestra disciplina histórica. La revolución técnica que enfrenta dos de nuestras

principales funciones, la documentación de nuestras fuentes primarias de información, ahora en nubes de puntos y formato 3D, y la investigación de los vestigios materiales, mediante procedimientos mucho más efectivos, eficientes y sostenibles para el Patrimonio Histórico-Arqueológico que los hasta hace poco empleados.

Todas estas perspectivas están presentes en este libro, su autora las ha abordado con buenos resultados. Sus propuestas metodológicas son muy necesarias para orientar la irrupción de estas posibilidades en nuestro campo de estudio. Aunque la rápida caducidad de la información es un signo de nuestro tiempo, el trabajo que comparte aquí Isabel Rondán Sevilla constituirá un hito en nuestra historiografía, y marcará el rumbo de nuevas e interesantes contribuciones.

LÁZARO G. LAGÓSTENA BARRIOS

Catedrático de Historia Antigua

Universidad de Cádiz

CAPÍTULO 1

Introducción y presentación

Esta monografía, aunque los trasciende, viene derivada de mi trabajo e investigaciones doctorales. En la obra se aborda el estudio de los establecimientos rurales romanos en el litoral meridional hispano. La compleja realidad del agro romano nos ha llevado a plantear este análisis a través de casos de estudios. Estos presentan características, geográficas y arqueológicas, diferentes y consideramos que estas podrían representar la diversidad de estudio que ofrece el ámbito rural.

Los yacimientos y asentamientos seleccionados se encuentran en el sur de *Baetica* y en sus fronteras meridionales con la *Lusitania* y la *Tarraconense*. Los casos Béticos serán el de Puente Melchor y Miramundo, los dos en el municipio de Puerto Real, Cádiz. Como caso en los confines occidentales de *Baetica* hemos seleccionado la ciudad romana de *Balsa* en el municipio de Tavira, en el Algarve portugués. En el extremo opuesto, los confines orientales, nos desplazamos hasta el yacimiento de Torregarcía, en la Bahía oriental de Almería.

El mundo rural romano, complejo y diverso en la investigación histórica, no ha gozado, al menos hasta los últimos años, del protagonismo que han desarrollado los estudios sobre el mundo urbano. Probablemente por este motivo es frecuente que los trabajos arqueológicos desarrollados en ámbito rural se reduz-

can a un análisis concreto e inconexo con el territorio. En este sentido resulta complicado encontrar dentro de esta historiografía la compleja realidad a la que hacíamos referencia, representada en la literatura clásica al respecto, especialmente en las obras de los agrónomos, y los trabajos de análisis e interpretación de estos.

Durante el análisis de la historiografía hemos apreciado cierta simplificación en la identificación de la realidad rural y categorización de las distintas tipologías de enclaves en este contexto geográfico. Por este motivo el hilo conductor que subyace en los cuatro casos de estudio es precisamente el de exponer la complejidad de este tipo de asentamientos, evitando caer en reducciones interpretativas generales.

No resulta una tarea sencilla, somos conscientes de que además pretendemos representar esa realidad a través de cuatro casos concretos. Sin embargo, consideramos que el cómo lo hemos abordado, desde una perspectiva metodológica, ha sido determinante para alcanzar los resultados que en esta obra se van a desglosar, con una intención premeditada: la creación de flujos o procesos metodológicos extrapolables a otros contextos o casos del mundo rural romanos. El método empleado en este trabajo, y que de alguna manera ocupa un lugar de relevancia en el conjunto del estudio, es lo que pasamos a denominar Investigación Histórica no Invasiva. La metodología no invasi-

va incorpora un conjunto de técnicas y herramientas que buscan obtener información de la superficie y del subsuelo sin que conlleve afección o destrucción alguna del bien patrimonial en cuestión. Algunas de estas herramientas, alejadas *a priori* de nuestra disciplina, nos parecen técnicas eficientes al servicio de la Investigación en Historia Antigua por su capacidad de extracción de datos en realidades físicas diversas y complejas, como es el caso del mundo rural.

En el asentamiento de Puente Melchor, con una gran variedad de modificaciones urbanas y numerosas intervenciones arqueológicas, la mayoría de carácter urgente, pero con cierta inconexión entre ellas, hemos trabajado a una escala superior que en el resto de los casos. Las técnicas empleadas han sido la teledetección sobre ortofotografía histórica y su tratamiento; creación de Modelos Digitales del Terreno y distintas visualizaciones; y un proceso para la restitución del paleopaisaje aglutinando elementos antrópicos, naturales e históricos.

En el caso de Miramundo, caracterizado por lo inédito de su descubrimiento, se ha desarrollado un proceso metodológico sistematizado y organizado desde lo general a lo concreto: prospecciones superficiales a escala parcelaria, microprospecciones ‘intra-site’ y prospecciones geofísicas con georradar. En este sentido la integración de los resultados preliminares de cada técnica y el tratamiento de esos datos han arrojado resultados de gran interés para el conocimiento de este asentamiento rural.

En *Balsa*, al encontrarnos en una ciudad romana, las técnicas empleadas se han ajustado a los resultados esperados, hemos dividido el análisis en tres espacios de la ciudad: necrópolis, *urbs* y *suburbium*. Es este último en el que hemos desarrollado una batería más amplia de herramientas y técnicas puesto que se trata del ámbito de mayor interés según los límites establecidos en esta obra. Hemos desarrollado prospecciones geofísicas con georradar, mediciones magnéticas y medición de resistividades mediante tomografía eléctrica, además de restitución fotogramétrica aérea.

Y el caso del yacimiento de Torregarcía, donde hemos seguido un planteamiento un tanto diferente al resto de los casos de estudio al centrarnos en un espacio muy concreto, el depósito de restos malacológicos o conchero. En este caso el proceso de análisis se ha presentado como un ensayo metodológico mediante prospecciones geofísicas con georradar acotadas a

una zonificación premeditada. El principal interés radicaba no solo en documentar el depósito y caracterizarlo, sino de cuantificarlo y cubicar el montículo.

En definitiva, nuestro interés por profundizar en el conocimiento del agro romano nos ha llevado a explotar al máximo cuatro casos de estudio, representativos, pero a la vez diversos, donde la metodología ha jugado un papel determinante a la hora de comprender qué son estos asentamientos, a qué categorías responden o qué elementos lo componen. Siempre poniendo en el centro de nuestro análisis la interpretación histórico-arqueológica, más allá de aportar una serie de datos sin conexión o validez científica, para luego ofrecer una batería de procesos satisfactorios en otros contextos.

1.1. Estado general de la cuestión

La tendencia tradicional y general de la historiografía, dentro del ámbito de la Historia Antigua, se ha focalizado en el estudio de los enclaves urbanos de una forma más profusa que en los contextos rurales. Aunque en cierta medida esta tendencia se está revirtiendo y el estudio de la ocupación, articulación y paisaje del agro romano está tomando mayor protagonismo en la historiografía de los últimos años (Lagóstena Barrios 2014).

Como hemos comentado, abordamos esta obra sobre asentamientos en el ámbito rural y litoral a través de cuatro casos de estudios con características, geográficas y arqueológicas diferentes, haciendo uso de la Investigación y Metodología no Invasiva en la que entraremos en detalle más adelante. Los casos seleccionados se encuentran en el sur de *Baetica*, Puente Melchor y Miramundo (Puerto Real, Cádiz), y sus confines occidentales, *Balsa* (Algarve, Portugal), y orientales, Torregarcía (Almería) (fig. 1).

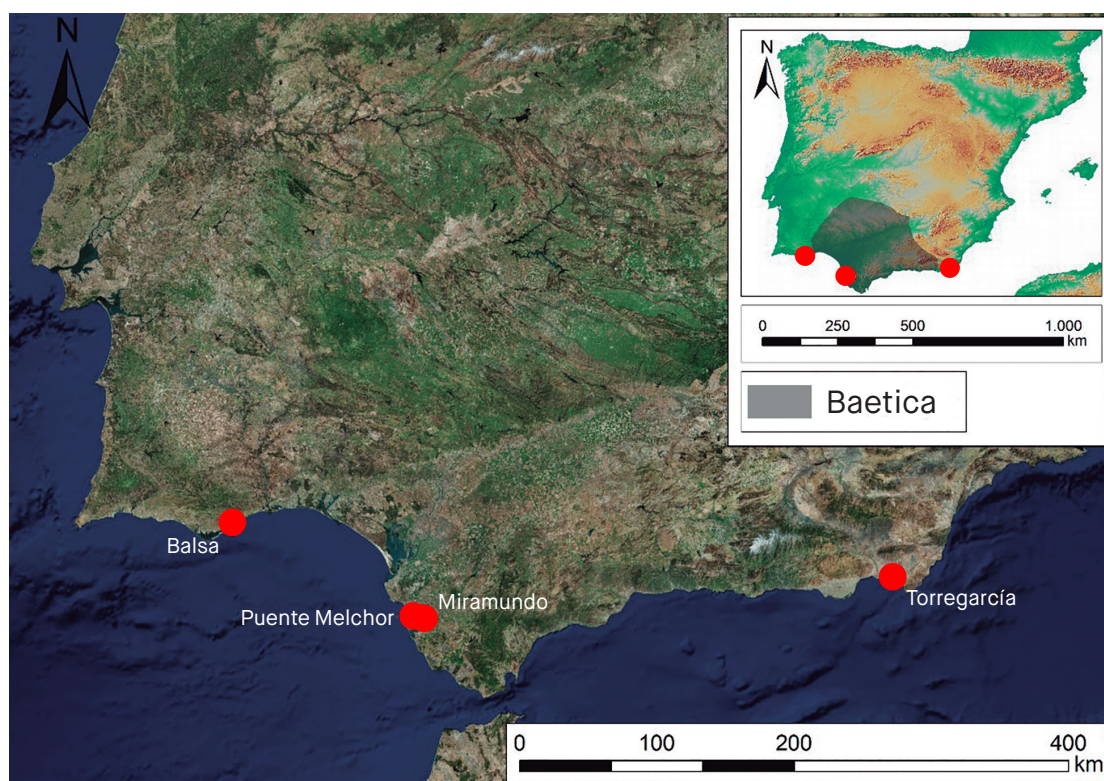


Fig. 1.
Localización
de los casos de
estudio.

Inciendo en las limitaciones de las investigaciones en el agro romano, debemos señalar que el análisis sobre el estado actual de conocimiento del mundo rural romano en el contexto de *Baetica* estas nos resultan incluso más acusadas. Las problemáticas que plantea un estudio sobre el mundo rural romano, solo en el caso de *Baetica*, con unas características particulares, son imposibles de abordar en una obra de este tipo. Si bien debo señalar llegados a este punto, que es precisamente esa la línea de investigación macro que pretendo desarrollar en los próximos años de mi carrera investigadora.

Cuando hacemos mención del agro y a las explotaciones agropecuarias romanas el concepto de las *villae rusticae* es el primero en aparecer. La importancia de estos enclaves, con características arquitectónicas o productivas variadas, en la estructuración del mundo rural es incuestionable. Sin embargo, esta realidad trae consigo una problemática extendida, especialmente en la historiografía rural romana de *Baetica*, la identificación generalizada de un enclave en ámbito rural con esta categoría, a pesar de la existencia de otros tipos de ocupación y explotación del mundo rural que pasan inadvertidos. Esto lo retomaremos desde una visión también práctica en los primeros casos de estudio.

Desde nuestra perspectiva es esencial en este tipo de estudios el análisis y manejo de las fuentes clásicas y técnicas al respecto, hablamos de la literatura agrimensoria y, especialmente, la agronómica. En el caso de la agrimensura existen una recopilación de esos textos, *Gromatici veteres-Corpus agrimensorum Romanorum*- recopilados a mediados del siglo IV d. C. Pero en esta obra hemos hecho uso especial de las fuentes agronómicas, la agronomía y sus autores son las principales referencias para comprender y analizar el paisaje y las categorías de las explotaciones agrarias romanas.

Cuando hablamos de agronomía romana prestamos una especial atención a las obras de M. Porcio Catón, M. Terencio Varrón, L. Iunio Moderato Columela, Plinio, o M. Vitruvio Polión. En el caso de Catón, *De Agri Cultura*, defiende la explotación por parte de pequeños propietarios. Su vinculación a los grupos más tradicionalistas de la oligarquía romana refleja el alejamiento de la realidad agrícola del siglo II a. C., y defiende una realidad más conservadora vinculada al pasado. Varrón, *Rerum Rusticarum*, se aleja de las tendencias defendidas por Catón, apostando por una orientación más mercantilista de estas explotaciones, propias, por otro lado, de la época imperialista. En el caso de Columela, aunque original de *Gades*,

se sabe que poseía tierras cerca de Roma por lo que las experiencias que describe, aunque hace referencias a territorios de Hispania, son esencialmente itálicas. También hacemos referencia a la obra *Opus agriculturae* de Paladio ya en el siglo IV d. C. No puede faltar en esta síntesis otros autores como Plinio el Joven, en su epistolario se hacen diversas referencias a sus posesiones *in Tuscis*, describiendo en sus cartas la explotación de la *villa* en forma de *colonato* y la ausencia de *ergastulum* en la excavación arqueológica *a priori* lo confirmaría. También resultan interesantes autores de época medieval como Ibn al Awan, *Libro de agricultura*, de principios del siglo XIII.

A nuestro parecer, sin duda es la figura y textos de Columela las que nos resultan más completas y complejas y, por tanto, a las que hemos dedicado una especial atención. El tratadista es sistemático y minucioso en sus descripciones, no solo del ámbito villático sino también de otras facetas productivas (Lagóstena Barrios 2007). En este sentido, es este autor el único que desarrolla una diferencia entre los espacios de las villas dedicados al alojamiento de la mano de obra, *pars rustica*, y los espacios dedicados a la producción, *pars fructuaria*¹.

Entre los principales autores que han reflexionado y analizado, a partir de estas fuentes y de la información arqueológica, la conceptualización de las *villae* destacamos la figura de Andrea Carandini, que defiende la aparición de estos enclaves en torno al siglo III a. C en Sicilia. También desarrolla una serie de rasgos propios que definen el concepto de villa de los agrónomos (Carandini 1989). Aunque otros autores como Arnold Joseph Toynbee (1982) apuestan por otros orígenes para las *villae*, según el historiador británico Roma lo habría conocido y adaptado a partir de las Guerras Anibálicas. O la visión más arqueológica de Nicola Terrenato (2001), identificando el origen de las villas como una evolución de las casas aristocráticas de época republicana.

Jaime Molina Vidal, que desarrolla un análisis muy ilustrativo sobre las características de las *villae* en los agrónomos, adapta esos rasgos a contextos geográficos concretos como la península itálica, especialmente en época imperial. Para este autor los enclaves rurales, en *Tarraconensis* y *Baetica*, responderían a

modelos de pequeños o medianos productores (Molina Vidal 2008).

Vislumbramos por tanto una realidad compleja en el mundo rural romano, más allá de la identificación de *villae rusticae*. En este sentido, algunos trabajos recientes han aportado un análisis detallado, no solo de la conceptualización de la villa, sino también en la clasificación de otros tipos de enclaves rurales, con unas características concretas. Cabe destacar en este punto la obra de Juan Francisco Álvarez Tortosa, incide en esta categorización de una forma coherente y argumentada, y que en gran medida nos ha servido para establecer límites tipológicos en el desarrollo de esta obra (Álvarez Tortosa 2023)

1.2. La investigación histórica a partir de la metodología no invasiva

Desde una perspectiva estrictamente metodológica, en esta obra podrán leer el desarrollo y aplicación de una variada panoplia de técnicas y herramientas no invasivas. Consideramos que se trata de uno de los fuertes de este texto: la capacidad de demostrar la eficiencia de este tipo de investigaciones donde la metodología ocupa un lugar importante no solo por su capacidad de ofrecer resultados positivos, como cabría esperar de cualquier proceso metodológico, sino que pretende ser ejemplo teórico-práctico para su desarrollo en contextos similares.

La metodología no invasiva, a la que nosotros haremos referencia como Investigación Histórica no invasiva, podríamos definirla como el conjunto de técnicas, herramientas y procedimientos, que permiten extraer información histórico-arqueológica de la superficie y del subsuelo sin provocar ningún tipo de afección o alteración del bien patrimonial. Esta es la base metodológica matriz aplicada en cada caso de estudio, pero incidimos en la importancia de definición del problema histórico a resolver, en ningún caso pretendemos que el método esté por encima de las cuestiones históricas.

1. Col. r.r., 1.6.1, 1.6.3.

Sin duda, si queremos señalar el origen de este tipo de experiencias en el ámbito histórico-arqueológico debemos hacer referencia a la geofísica, parte de la geología que estudia la Tierra desde el punto de vista de su composición física. Nos remontamos a mitad del siglo pasado, concretamente al año 1946, cuando el pionero Richard Atkinson desarrolla la primera prospección geofísica en un yacimiento neolítico, concretamente utilizando la técnica de la resistividad eléctrica. En 1956 Martin Aitken y Edward Hall, investigadores del Laboratorio de Investigación de Arqueología e Historia del Arte de la Universidad de Oxford, utilizan un prototipo de magnetómetro para la localización de la ciudad romana de *Durobri-vae*, en Northamptonshire (Boschi 2009, 293).

Tradicionalmente estas técnicas estarían incluidas en el concepto de Teledetección (Chuvieco Salinero 1990), más extendido en los últimos años con el término anglosajón *remote sensing*. La teledetección se referiría a los diferentes métodos de observación remota que permiten elaborar imágenes para realizar una interpretación, de carácter histórico-arqueológico en nuestro caso. Aunque habría que adaptar el concepto para incluir en esa definición los métodos que miden también cualidades energéticas de los componentes del subsuelo.

En los últimos años este enfoque metodológico está creciendo exponencialmente y así queda reflejado en las publicaciones científicas. En el panorama internacional, destacamos el trabajo *Good Practice in Archaeological Diagnostics. Non-invasive Survey of Complex Archaeological Sites* (Corsi, Slapšak y Vermeulen 2014), que incluye más de una veintena de aportaciones mediante este tipo de metodologías, divididas según la técnica empleada. Cabe señalar al menos otros tres foros en el ámbito internacional centrados en este tipo de trabajos de base no invasiva: *International Society for Archaeological Prospection* (ISAP)²; *Aerial Archaeology Research Group* (AARG)³; *International Mediterranean Survey Workshop*.

Y dentro del ámbito nacional merece atención la experiencia RITECA II (*Red de Investigación Transfronteriza Extremadura-Centro-Alentejo*), proyecto de nivel europeo de acercamiento y crecimiento en la

investigación y desarrollo entre estas regiones⁴. Este proyecto se ha plasmado en una monografía en la que destacan la aplicación de las técnicas mencionadas y algunas otras y se argumenta su sinergia con otras disciplinas (Mayoral Herrera 2014). La experiencia RITECA II ha tenido continuidad con un proyecto INNOACE⁵, finalizado en el año 2021, denominado *Métodos no invasivos en Arqueología y Agricultura de Precisión para la revalorización del Patrimonio y el desarrollo de una actividad productiva agraria productiva y sostenible*, coordinado por el IAM-CSIC, CI-CYTEX y la Universidad de Évora.

El auge de trabajos de investigación con el uso de esta metodología, ahora hablamos solo dentro del ámbito español, está en clara vinculación con la adquisición de las herramientas e infraestructuras necesarias por parte de los grupos de investigación de nuestra disciplina. Llegados a este punto no podemos dejar de mencionar a la Unidad de Geodetección, Análisis y Georreferenciación del Patrimonio Histórico de la Universidad de Cádiz⁶, coordinada por el catedrático de Historia Antigua de esta Universidad, Lázaro Lagóstena Barrios. Es gracias al equipamiento y formación facilitada desde la Unidad, al instituto donde se adscribe, IVAGRO, y por supuesto al profesor Lagóstena, por los que ha sido posible el desarrollo de los casos de estudios y por ende la elaboración de la obra que están leyendo.

La Unidad, fue creada en 2016 con fondos de la Convocatoria de Infraestructura y Equipamiento Científico-Técnico (2013). Actualmente es servicio periférico de la Universidad y ha obtenido tres proyectos más de Infraestructuras en las Convocatorias de la Junta de Andalucía (2017) y Ministerio (2018 y 2019), con una inversión total de 1,5 millones de euros. Lo que la convierte en uno de los grupos de referencia dentro de la disciplina de la Historia Antigua en el ámbito nacional.

4. *Red de Investigación Transfronteriza Extremadura-Centro-Alentejo*: <http://riteca.gobex.es/>

5. *Proyecto INNOACE*: <http://www.innoace.eu/?page=2&idioma=>

6. Unidad de Geodetección, Análisis y Georreferenciación del Patrimonio Histórico de la Universidad de Cádiz: <https://agustindehorozco.uca.es/georradar/>

2. *International Society for Archaeological Prospection* (ISAP): <https://www.archprospection.org/index.html>

3. *Aerial Archaeology Research Group* (AARG): <http://a-a-r-g.eu/>

1.3. Estructura de la obra

Debido a la composición de esta obra, fundamentalmente conformada por casos de estudio independientes, donde los cuatro contextos que se han estudiado conforman un capítulo propio, en algún caso interconectado, y con un desarrollo complejo, hemos considerado oportuno detenernos brevemente en señalar cómo se ha estructurado el texto, en base a qué criterios, con el fin de facilitar su lectura.

Previo a los capítulos donde se han desarrollado los casos de estudios, hemos introducido un apartado sobre la metodología no invasiva, el equipamiento y los recursos empleados en cada uno de ellos. En varios capítulos se usan las mismas técnicas o incluso el mismo equipamiento, siempre adaptado a las casuísticas. Por este motivo y para facilitar y amenizar la lectura de cada caso, sin necesidad de interrumpir la literatura con elementos técnicos, que, aunque importantes, dificultan la fluidez del relato, en el capítulo que sucede a este se desarrollarán todos los aspectos técnicos sobre los métodos y procesos empleados.

A continuación, desarrollamos los capítulos centrales de la obra, dedicados cada uno de ellos a los asentamientos y yacimientos seleccionados, estos se han abordado partiendo de una serie de interrogantes que vamos a ir resolviendo en nuestro proceso metodológico. Es decir, partimos, como no podría ser de otra manera, de una serie de cuestiones históricas, diferentes en cada caso, y se resolverán a través de un flujo metodológico de base no invasivo, sistematizado, ordenado y coherente. A su vez cada uno de estos capítulos, en la medida de lo posible, ha seguido una subestructura común, con la intención de crear un discurso científico claro que pueda ser aplicado en otros contextos de características similares.

El hecho de que cada capítulo esté planteado y desarrollado como una investigación independiente, con su propio subapartado de conclusiones, no imposibilita la interrelación de algunos los resultados alcanzados en varios casos, tanto desde perspectivas histórico-arqueológicas, como desde una visión estrictamente metodológica. Es por ello por lo que cerramos esta obra con un capítulo dedicado a las conclusiones y las perspectivas metodológicas finales.

Más allá de este breve inciso sobre cómo se estructura el texto, aprovechamos para plantear algunas cues-

tionones generales que queremos dejar reflejadas desde el inicio, y es el cómo hemos abordado los casos de estudio desde diferentes escalas. La representación espacial y las diferentes escalas de trabajo que se pueden proponer con el uso de la metodología que desarrollaremos es uno de los temas que más nos preocupan en el enfoque actual de nuestras líneas de investigación. Y es por ese motivo por el que hemos querido representar en esta obra un trabajo a diferentes escalas. En Puente Melchor la escala de trabajo con la que hemos enfocado el estudio es macro o semi-macro. Es decir, el planteamiento que hacemos en Puente Melchor va más allá del asentamiento en sí mismo, el análisis sobre el paisaje y su proyección en el territorio responde a una visión espacial diferente que en el resto. Por su relación, a nuestro parecer dentro de la articulación del territorio, con Miramundo, la escala de trabajo es diferente, podríamos decir que micro. Algo similar ocurre en el capítulo sobre *Balsa*, aunque aquí hemos trabajado diferentes espacios del *municipium*, y por supuesto, mucho más singularizada es la escala trabajada en Torregarcía.

En este sentido conceptos como Paisaje y Paleopaisaje, entendidos en clave histórica son parte fundamental de nuestro análisis. Hacemos referencia en estos casos a la interpretación de paisajes relictos, aquellos entendidos desde una visión holística, incorporando visiones desde tres variables: el medio ambiente estudiado; la acción de las sociedades sobre el mismo, históricamente hablando; y la percepción histórica del este, desde una perspectiva cultural (Lagóstena Barrios 2021, 244). Por tanto, utilizamos estos conceptos en términos distintos a los que usamos el de territorio o un determinado contexto geográfico (González Villaescusa 1996).

Por otro lado, y para finalizar con este apartado, en esta obra las ilustraciones y cartografía expuestas tienen un peso que va más allá de una representación gráfica. Por la metodología que hemos desarrollado, los resultados e interpretaciones propuestas, y las diferentes escalas de trabajo, hemos advertido que no se comprenderían lo suficientemente sin este tipo de visualizaciones. En este sentido, consideramos que se trata de una de las bondades de la obra, lo que ha supuesto un esfuerzo considerable. La mayor parte de las imágenes son de elaboración propia, por lo que solo se ha hecho referencia a su origen en el pie de figura de aquellas que no lo son o que se han maquetado a partir de otras publicaciones.

CAPÍTULO 2

Técnicas, herramientas y equipamiento

Cada uno de los cuatro casos que componen esta obra han seguido un proceso metodológico concreto, las técnicas y herramientas que hemos empleado en cada uno de ellos se ajustan, como no puede ser de otra forma, a las problemáticas de cada caso, siempre con la intención de mostrar un proceso que pueda ser extrapolable y aplicable a contextos arqueológicos similares. En este apartado de la obra sintetizamos los principios teóricos-prácticos que rigen las técnicas y herramientas empleadas, así como las características y configuraciones del equipamiento utilizado.

2.1. Teledetección aérea: restitución fotogramétrica y LiDAR

Con esta categoría a la hora de clasificar las técnicas desarrolladas en la metodología no invasiva de esta obra nos referimos a los sensores⁷ aéreo-transporta-

7. Entendemos por sensor un dispositivo que permite captar diferentes magnitudes físicas o químicas y transformarlas en variables eléctricas que son decodificadas para su interpretación.

dos, aunque también estarían incluidos la obtención de imágenes vía satélite. Dentro de este grupo los sensores RGB, sensores térmicos y termográficos, multi e hiperespectrales, cuya diferencia radica en el número de bandas que componen las imágenes obtenidas, y sensores LiDAR. Y por otro, aquellos que están instalados en plataformas espaciales⁸. En esta obra hemos hecho uso de datos obtenidos mediante sensores RGB y sensor LiDAR aerotransportados⁹.

La fotogrametría aérea es la técnica que permite obtener de manera precisa la forma, dimensiones y posición en el espacio de un determinado objeto o superficie a través de la realización de fotografías. La fotogrametría aérea RPAS ('Remotely Piloted Aircraft System') ha adquirido un especial interés en arqueología gracias al uso extendido de drones. Los productos fotogramétricos, especialmente los obtenidos desde vehículos aéreos, tienen un potencial uso en la caracte-

8. Destacamos el Plan Nacional de Teledetección (PNT) a través las imágenes obtenidas por los satélites Sentinel dentro del programa Copernicus: Instituto Geográfico Nacional, Satélites Sentinel: <https://pnt.ign.es/satelites-sentinel>

9. Hacemos referencia a este tipo de teledetección aérea porque es que la hemos usado, sin embargo, la misma explicación cabría para los sensores terrestres, con la diferencia de que las mediciones o fotografías se realizan desde el plano tierra.

terización superficial del terreno con una resolución adecuada al ámbito de trabajo.

La fotogrametría, aérea o terrestre, permite estudiar de manera precisa la morfología, las dimensiones o la posición espacial de un objeto o de una determinada superficie a través de la realización de un conjunto de fotografías. En nuestras investigaciones el empleo de la fotogrametría aérea tiene el foco en la creación de productos de restitución topográfica de alta resolución, aquellos que denominamos de micro-topografía: ortomosaicos, modelos topográficos, curvas de nivel a diferentes isolíneas, etc. De esta manera se obtienen productos topográficos que en combinación con los de otras técnicas, ofrecen la posibilidad de combinar y ampliar las interpretaciones parciales a partir de cada herramienta (Calvillo Ardiola, Calvillo Risco y Lagóstena Barrios 2021). La escala que maneja esta técnica, una escala micro o semi-micro, le aporta un potencial interés para la caracterización de un yacimiento dentro de un terminado paisaje modelado con datos LiDAR.

Por otro lado, la técnica LiDAR, por sus siglas en inglés 'Light Detection and Ranging' o 'Laser Imaging Detection and Ranging', consiste en un sistema láser aerotransportado que permite medir la distancia entre el punto emitido y el objeto o superficie, midiendo realmente el tiempo que tarda en llegar al objetivo y volver a ser captado por el sensor. El pulso láser puede llegar con uno o varios retornos, según las superficies con las que incide. El resultado final es la obtención de coordenadas de los puntos de múltiples retornos, es decir una nube de puntos tridimensional. A partir del filtrado de la nube obtenida se crean Modelos Digitales de Elevaciones (MDE), estos modelos son representaciones visuales y matemáticas de los valores de altura en relación con el nivel del mar. Los MDE se dividen en dos tipos, Modelos Digitales del Terreno (MDT), que incluyen solo la morfología del terreno y Modelos Digitales de Superficie (MDS), que incorporan a su vez elementos vegetales y antrópicos. El desarrollo tecnológico recientemente ha permitido que estos sensores puedan ser incorporados en drones, lo que está aportando datos de enorme interés para la detección de elementos en el terreno con una muy alta resolución. En este sentido, la restitución fotogramétrica mediante RPAS también permite la elaboración de este tipo de productos o modelos, que nosotros hemos denominado como de micro-topografía, puesto que la superficie

objeto responde a una escala espacial muy concreta. También incluimos en esta categoría los escáneres láser terrestre que siguen el mismo planteamiento, pero desde la perspectiva del plano tierra y que complementan a la fotogrametría terrestre tradicional.

Una vez definidas las dos técnicas empleadas dentro de esta categoría pasamos a desarrollar los principios teórico-prácticos que nos parecen destacables de estas técnicas, especialmente del LiDAR, y por supuesto desde una perspectiva histórico-arqueológica, aunque también paisajística, pues es la que ha recibido nuestra especial atención

El uso de la ortofotografía histórica, y también de la actual, encuentra su origen en la Arqueología Aérea, la detección de elementos o anomalías en superficie a partir de fotografías aéreas. El uso de drones en arqueología, concretamente en la Arqueología Aérea (Brophy y Cowley 2005, Ceraudo 2014), está extendido, sobre todo para la detección de anomalías superficiales, las denominadas 'crops marks', relacionadas con elementos, positivos o negativos, soterrados, y que no son perceptibles desde una perspectiva superficial (Mayoral Herrera 2014, 28-33).

No es la función que aquí se le ha otorgado al uso de dron, la escala es otra, aunque a través de la fotogrametría aérea también podríamos realizar interpretaciones del mismo tipo (Boswinkel 2015, Bintliff, Noordervliet y van Zwiene 2016). No es, ni debe, ser objeto de esta obra el análisis sobre el estado de la cuestión de la Arqueología Aérea y su desarrollo en las últimas décadas, sin embargo, nos parecen interesante señalar algunas referencias de interés para comprender el devenir del uso de la fotogrametría aérea y sus productos en la investigación histórica no invasiva. El análisis de las ortofotografías históricas, pese a las limitaciones que presenta (Montufo Martín 1992, 443-445) y la evolución desarrollada especialmente a partir de los años 70 del siglo XX sigue siendo un eficiente recurso para el análisis arqueológico de la superficie, especialmente para aquellos estudios relacionados con límites territoriales o parcelarios y redes de comunicación.

Por otro lado, en relación con los sensores LiDAR, y el tipo de datos obtenidos a partir de estos, en nuestro caso, lo hemos usado más que para detectar huellas superficiales de interés, que también, para mostrar el potencial de la herramienta en la comprensión y representación del Paisaje y el Territorio (Nunninger, Fruchart y Opitz 2010, Catalán González 2021). Des-

de nuestra perspectiva, y a pesar de no ser una obra publicada recientemente, dada la velocidad en la que este tipo de herramientas han ido mejorando, nos parece relevante reseñar la obra editada en 2013 por Rachel Opitz y David Cowley, *Interpreting Archaeological Topography* (2013), que refleja la realidad del LiDAR en nuestra disciplina.

Esta herramienta, de aplicación para otros fines y disciplinas, ha sido definida como una de las innovaciones más relevantes en los últimos años en el campo de la Arqueología Aérea (Bewley, Crutchley y Shell 2005, 636). Además, el rápido y constante desarrollo de la tecnología y la resolución de los sensores empleados, así como los sistemas de procesado de los puntos medidos, han redundado en la calidad interpretativa de los resultados obtenidos mediante láser escáner aéreo. El acceso a datos LiDAR públicos y la implementación de este tipo de sensores en drones, ha acercado este registro a los investigadores de la Historia, de manera que existe una muy extensa lista de referencias bibliográficas de interés tanto desde el punto de vista teórico-práctico (Crutchley y Crow 2018, Chase, Chase y Chase 2017, Grammer, y otros 2017, García Sánchez 2018)¹⁰, como de aplicación concreta en muy pocos años.

2.1.1. Equipamiento y fuentes de datos de la teledetección aérea

Comenzando por los equipos o sistemas tecnológicos que permiten desarrollar las técnicas mencionadas, desde una perspectiva autónoma, son los drones y los avances que han experimentado en cuanto a la posibilidad de transportar distintos sensores, el mejor exponente de equipamiento útil para la realización tanto de fotogrametría como LiDAR aéreos.

En el caso de las fotogrametrías aéreas hemos empleado el sistema RPAS Mavic 2 Pro de la casa DJI, un dron muy práctico y operativo para áreas no muy extensas. El sensor que monta para la realización de fotografías es un Hasselblad 1" CMOS de 20 MP, consiguiendo una resolución máxima por fotografía de 5472 x 3648.

10. Señalamos algunas referencias teórico-prácticas de los últimos años.

Hasta hace muy poco tiempo era prácticamente inviable el transporte de sensores LiDAR en drones comerciales, sin embargo, en la actualidad esta realidad ha cambiado. Aunque aún no existe un elevado número de equipos, insistimos accesibles para uso comercial, que integren sensores LiDAR de calidad, sí que los hay. Los avances tecnológicos, tanto en la reducción de tamaño y peso como en la capacidad y autonomía de los drones comerciales están facilitando un rápido tránsito.

Sin embargo, en España tenemos la suerte de que existen planes nacionales, públicos y gratuitos, de mapeados LiDAR de toda la Península, planes que se actualizan y que constituyen una fuente de datos óptima, al menos para determinadas escalas. Son estas las que hemos usado y explotado en este trabajo. Por otro lado, a pesar de haber realizado fotogrametrías con dron, los datos de estas son útiles a una determinada escala, también hemos acudido a fuentes de datos públicas con datos obtenidos mediante fotogrametría aérea, pero a escala nacional.

Dos son las fuentes públicas de las que hemos obtenido los recursos: el Instituto Geográfico Nacional (IGN)¹¹ y la Red Información Ambiental de Andalucía (REDIAM)¹². En el caso del IGN cabe destacar el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea iniciado en 2004 y que tiene como objetivo la obtención de ortofotografías de todo el territorio nacional en un periodo de actualización fijo¹³. Por su parte la REDIAM, que también integra y da acceso a datos provenientes de entidades nacionales como el IGN, incluye información ambiental de carácter localista, muy interesante para estudios de zonas concretas, generalmente con una mayor resolución. Estas fuentes son la base general a partir de la cual se han obtenido gran parte de los datos cartográficos y de información ambiental.

En el caso del uso de productos obtenidos mediante fotogrametría aérea en estas fuentes de datos destacamos las ortofotografías históricas, se han usado los ortomosaicos obtenidos a partir de vuelos históricos, especialmente el Vuelo Americano Serie B

11. Instituto Geográfico Nacional, Centro Nacional de Información Geográfica: <https://www.ign.es/web/ign/portal>

12. Red de Información Ambiental de Andalucía, Portal Ambiental de Andalucía: <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/acceso-rediam>

13. Instituto Geográfico Nacional, Plan Nacional de Ortofotografía Aérea: <https://pnoa.ign.es/>

(1956-1957) y el Vuelo Interministerial (1973-1986)¹⁴. Por su parte los datos LiDAR empleados, provienen del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea LiDAR (PNOA LiDAR), concretamente la Segunda Cobertura (2015-2020). La densidad de puntos de este vuelo en el espacio que hemos estudiado es de 1,5 puntos por metro cuadrado de media.

2.2. Prospección geofísica mediante georradar

Los métodos geofísicos son sin duda uno de los más usados en nuestra investigación histórica no invasiva. En gran medida el uso de una u otra herramienta, dentro de estos métodos propios de la geofísica, depende de la composición de los suelos, y por ende del tipo de elemento arqueológico que esperamos detectar. Los métodos geofísicos se dividen en dos tipos, activos o pasivos.

Las prospecciones mediante georradar o GPR ('Ground Penetrating Radar') es uno de los métodos geofísicos de tipo activo, el sistema se basa en la medición de un campo artificial que modifica la lectura de las propiedades físicas del suelo. En este caso, consiste en la medición de las reflexiones de las ondas electromagnéticas transmitidas por el sensor que se producen cuando hay cambios en la constante dieléctrica de los materiales.

En términos prácticos, la antena emisora transmite una onda electromagnética que se propaga por el subsuelo, parte de esa energía es transmitida, disipada y reflejada. Cuando ese pulso electromagnético pasa de un medio a otro con propiedades electromagnéticas distintas, parte de la señal es reflejada y captada por el sensor receptor. Es esta señal registrada tras su procesamiento la que aporta información sobre el subsuelo. Es decir, crea campos electromagnéticos para sondear modificaciones en la constante dieléctrica de los materiales soterrados. La velocidad con la que se propagan esas ondas difiere según las diferen-

tes propiedades fisicoquímicas del subsuelo, la permisividad eléctrica, conductividad, permeabilidad magnética del subsuelo, así como de las características de las ondas emitidas (Annan 2001, Annan 2003, Daniels 2004, Jol 2009).

El uso del método geofísico GPR tiene un amplio abanico de aplicaciones. Inicialmente fue usado sobre todo para la detección de túneles y elementos negativos como pozos, aunque también ha sufrido un importante desarrollo de la mano de la ingeniería militar. En el caso de la investigación histórica y arqueológica es el método geofísico que se ha incorporado de forma más tardía, más si cabe en el ámbito nacional, pero quizás también sea el de más amplio desarrollo, por el tipo de registro que arroja, en los últimos años. En este sentido, es habitual las publicaciones de trabajos sobre métodos geofísicos con georradar con enfoques teórico-prácticos desde la perspectiva de la disciplina histórico-arqueológica (Scollar, y otros 1991, Conyers 2011, Zhao, y otros 2013, Manataki, y otros 2015), y que son de enorme importancia para la aplicación a casos de estudios concretos por parte del investigador de la Historia, y, por tanto, fundamentales en una obra como esta.

2.2.1. Equipamiento y softwares en las prospecciones geofísicas GPR

Hemos utilizado en las prospecciones GPR hasta tres equipos diferentes, esto según las necesidades y características del espacio a prospectar, así como por razones estrictamente metodológicas, para comparar y contrastar datos tomados con sistemas diferentes. En el caso de estudio de Miramundo hemos utilizado el georradar Stream X, en el caso de *Balsa* hemos utilizado este mismo, el Mk IV DXG2428 y el Hi-Mod RIS 1A, y en el caso de estudio de Torregarcía también el georradar Hi-Mod. A continuación, pasamos a describir las características de estos georradares, así como los softwares empleados tanto para la adquisición como para el procesado de los datos.

Comenzamos por el sistema Stream X de la compañía italiana IDS ('Ingegneria Dei Sistemi'). Se trata de un georradar multicanal formado por un array de 16 antenas distanciadas 12 cm entre sí. El sistema de antenas está formado por dos módulos, 8+8 dipolos

14. Plan Nacional de Observación Aérea-PNOA-, *Ortofotografías Históricas*: <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

orientados en paralelo en relación con la dirección del muestreo (polarización vertical). Los sensores trabajan con una frecuencia central de 200 MHz. El total de antenas otorgan al equipo un tamaño de 2 m, aunque el ancho de barrido efectivo es relativamente menor, 1,80 m de ancho de 'scan' o transecto. Las antenas se conectan a una Unidad Central (DAD) que registra todos los datos de la exploración. Los parámetros concretos en la adquisición de los datos han sido de 80 ns en lo que se refiere a la profundidad con 512 muestras por barrido o 'scan' y una velocidad promedio de propagación de la onda de 10 cm/ns.

El equipo trabaja propulsado mediante vehículo motorizado, en este caso un vehículo 4 x 4, de manera que dispone de un sistema de grúa, manejado por el piloto, que permite adaptarse en gran medida a las características superficiales del terreno de exploración. La velocidad máxima de adquisición de datos con estos parámetros es de 15 km/h, esto unido al ancho de barrido efectivo y la operatividad del sistema mecánico, lo convierte en un equipo muy productivo y eficiente en campo, pudiéndose explorar hasta 3 ha en una jornada de trabajo en condiciones de terreno óptimas.

Por su parte el georradar Mk IV, modelo DXG2528, de la casa 3DRadar, se trata de un georradar multifrecuencia y multicanal formado por un array de 28 antenas distanciadas 7,5 cm entre sí. A diferencia del equipo Stream X, también multicanal, el MK IV se caracteriza por el uso de la tecnología 'step-frequency' que consiste en la emisión, prácticamente simultánea, de pulsos electromagnéticos a diferentes frecuencias cubriendo un ancho de banda mucho mayor que los sistemas tradicionales. El rango de frecuencia que puede cubrir este equipo en su toma de datos va desde 30 a 3000 MHz, de manera que siempre proporciona la máxima resolución a todos los niveles de profundidad. Cubre un ancho de barrido efectivo de 2,10 m. Las 28 antenas se conectan a una unidad central (GeoScope) donde los datos son registrados.

El desarrollo de las prospecciones con estos dos equipos multicanales se ha complementado con el uso de sistemas GPS-GNSS lo que ha permitido obtener datos de la geofísica GPR con precisión espacial desde su adquisición. El Stream X se complementó con el Leica Geosystems modelo GS14 (antena) y CS15 (controladora). Este receptor cuenta con correcciones

en tiempo real RTK realizadas desde la ERGNSS Red Nacional de Geodesia, en este caso. Con el equipo Mk IV empleamos el receptor GPS-GNSS. HiPer SR de la casa Topcon, realizadas desde la RGNSS (Red Geodésica Nacional también. El rendimiento de medición y precisión para tiempo real cinemático (red RTK) está estimado en Hz 10 mm + 1,0 ppm/V 15 mm + 1,0 ppm. El DATUM utilizado, según el Real Decreto 1071/2007 de 27 de julio por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España, es el Sistema Europeo de Referencia Terrestre, ETRS89, siendo las coordenadas elipsódicas (latitud, longitud y altura) transformadas a un sistema de coordenadas geográficas UTM ('Universal Transverse Mercator') referidas al huso 29 N y 30 N.

En tercer y último lugar, el georradar Hi-Mod RIS 1A también de la compañía italiana IDS. Este sistema difiere, por su configuración y tamaño, de los dos georradars descritos anteriormente. El Hi-Mod es un equipo monocanal y permite realizar mediciones con dos frecuencias centrales, 200 y 600 MHz, es aquí, además de en su operatividad, donde se encuentran las fortalezas de este georradar. Con la frecuencia de 200 MHz se posibilita obtener información de las capas más profundas, mientras que con la de 600 MHz optimizamos la resolución de los datos en las capas menos profundas. Además, toma los datos de manera simultánea en ambas frecuencias, por lo que solo tenemos que seleccionar una u otra durante la visualización de los mismos tras el proceso.

La adquisición de datos máxima se puede realizar a 9 km/h, las dimensiones de la caja de antena 38 x 43 cm, con 512 muestreos por barrido (@512 Sample/Scan), con intervalo de escaneado 42 scans/m y polarización de antena horizontal (HH). Como en el caso del equipo multicanal de la misma casa, Stream X, la antena del Hi-Mod se conecta a la unidad central, DAD.

En lo que se refiere a los softwares de adquisición y procesado de los datos, en el caso de los georradars Stream X y Hi-Mod los datos fueron tomados con el programa ONE VISION y procesado con GRED HD. Ambos softwares están desarrollados por IDS y permiten además trabajar con datos de otros equipos de la misma casa. El software ONE VISION, además de la configuración de la adquisición, permite importar archivos vectoriales y ráster con geoposicionamiento lo que facilita sobremanera la tarea de recolecta. El programa GRED HD, posibilita la realización de diferen-

tes procesos tanto en dos como en tres dimensiones, utilizando todo el potencial de los diferentes filtros y algoritmos de procesamiento de datos geofísicos GPR. La interfaz principal (fig. 2) del programa permite analizar las alteraciones geofísicas en dos vistas de radargramas, o secciones, longitudinales y transversales, así

como sobre las tomografías o vistas en planta del área explorada. Además, se puede activar una “vista topográfica” analizando las anomalías según los desniveles reales de la superficie en cuestión, herramienta de enorme importancia para comprender las dinámicas de los elementos soterrados.

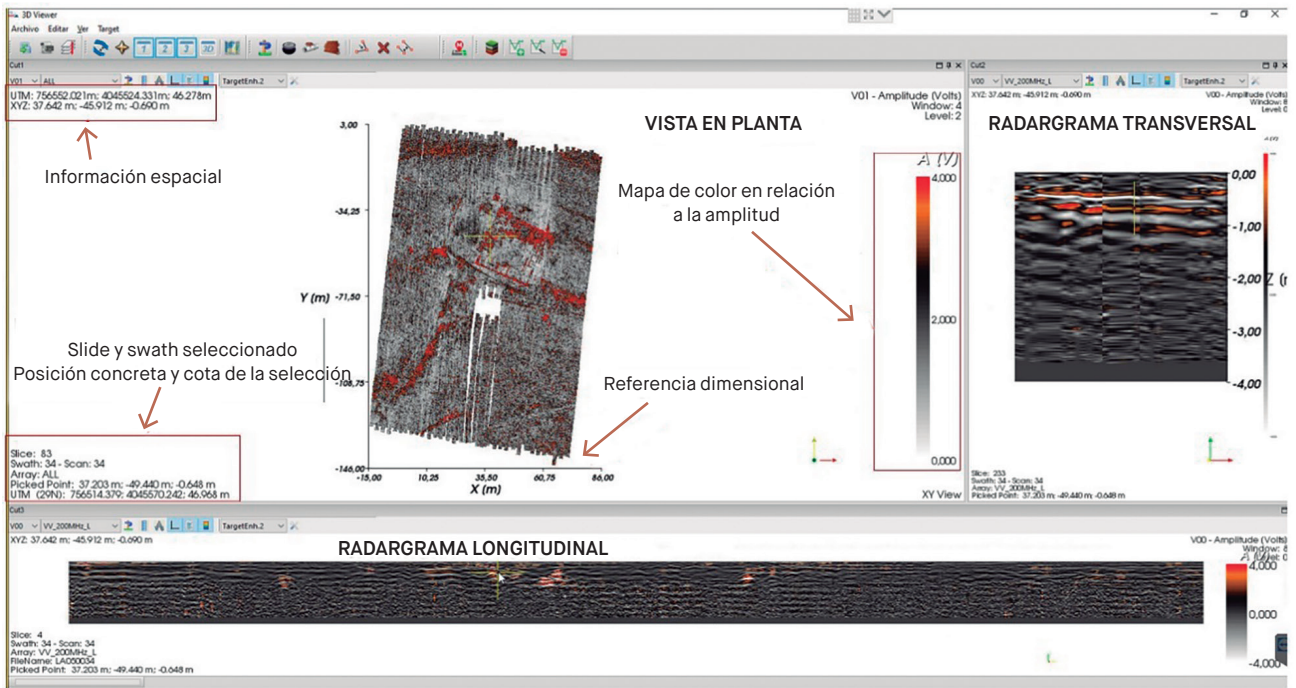


Fig. 2: Interfaz de la vista de tres secciones del software GRED HD.

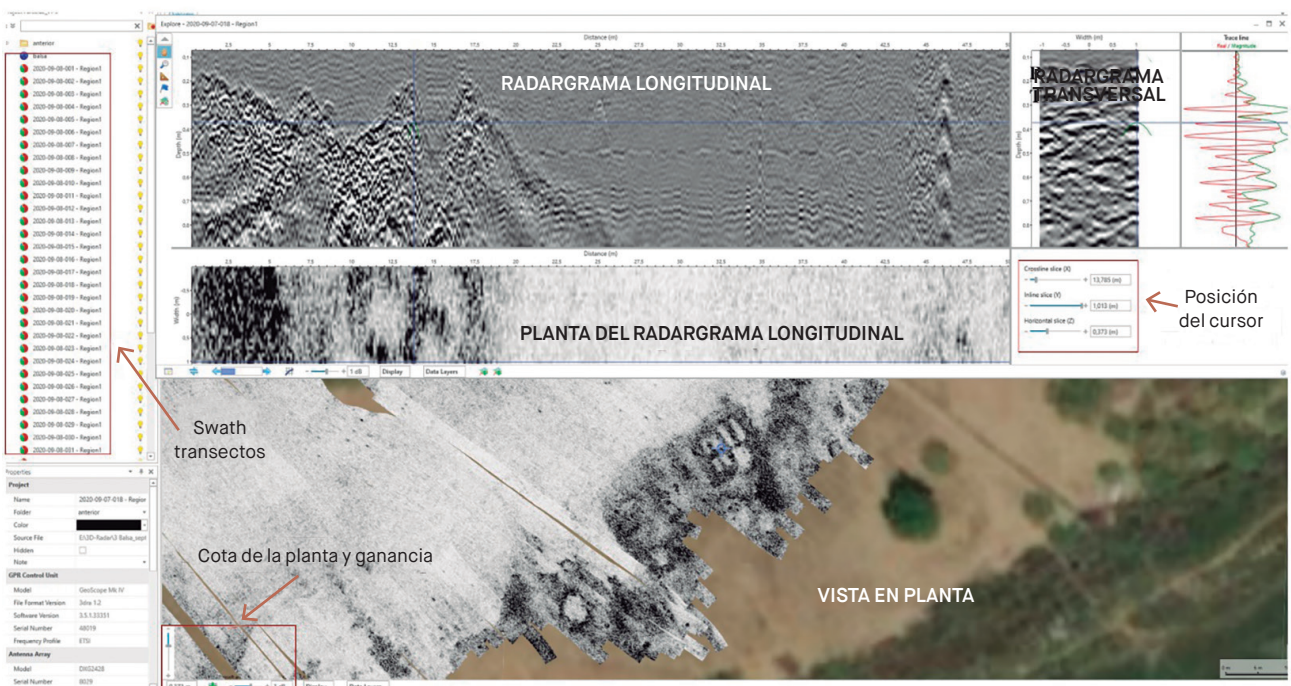


Fig. 3: Interfaz y principales elementos del software Kontur Examiner 3.

Con el georradar multicanal y multifrecuencia de 3DRadar hemos empleado el programa GeoScope Control para la captación de los datos, desarrollado por la compañía Geofísica Consultores. Permite configurar diferentes parámetros de adquisición de datos y visualizar en tiempo real el modelo tridimensional a medida que se desarrolla la prospección. Muestra un preproceso de los datos *in situ* y así verificar que estos han sido tomados correctamente. Para el procesado de los datos de este equipo hemos utilizado el Kontur Examiner 3. El software está desarrollado por la casa 3DRadar, permite realizar diferentes tipos de procesados de los datos radar en tres dimensiones, utilizando todo el potencial de diferentes filtros de tratamiento y algoritmos de procesado en 3D. Permite procesar, visualizar y navegar por los datos tomados aun cuando el tamaño de estos alcanza un volumen considerable. Posibilita la visualización de los datos GPR en tres dimensiones a través de los radargramas longitudinales y transversales, además de las plantas genéricas y plantas de los radargramas (fig. 3).

2.3. Prospección geofísica magnética

La magnetometría es otro de los métodos geofísicos de prospección del subsuelo, a diferencia del GPR es de tipo pasivo. La técnica magnética detecta las diferencias entre las propiedades magnéticas de los suelos. Las anomalías magnéticas se representan por amplitudes que dependen del contraste de susceptibilidad magnética del suelo y los elementos magnéticos soterrados, del volumen de estos y de la profundidad a la que se encuentran (Aspinall, Gaffney y Schmidt 2009).

Hay dos tipos principales de magnetismo, inducido y remanente. El magnetismo inducido de un material indica su sensibilidad a la magnetización por influencia de un campo magnético, el campo magnético terrestre normalmente. En este caso, son los minerales ferromagnéticos los que arrojan valores más elevados de susceptibilidad. Por el contrario, la magnetización remanente es la que permanece en los elementos tras su formación. Comúnmente este último tipo de magnetismo se debe a un calentamiento de

los materiales por encima de la temperatura de Curie (magnetización termo-remanente), lo que provoca un cambio en el alineamiento de los imanes que se mantiene tras su enfriamiento. Bajo estas circunstancias los materiales arrojan también valores altos de susceptibilidad magnética. Este tipo de magnetización es de enorme interés para la documentación de algunos contextos arqueológicos, como, por ejemplo, espacios de producción cerámica con estructuras fornáceas, chimeneas u otros espacios de producción de metales (Fassbinder 2016, 503-504). La unidad en la que miden estas amplitudes es el nanotesla. Aunque existen otros tipos de magnetización son estos dos los principales de interés para la investigación histórica mediante prospección magnética.

Desde la perspectiva del uso de este método para la detección de estructuras arqueológicas soterradas, el contraste de la susceptibilidad magnética de la estructura en cuestión, en relación con los elementos en su entorno, mostrará una magnetización inducida en la dirección del Campo Magnético Terrestre (Fassbinder 2015, 85, Piro 2009, 31). Por otro lado, el contraste de la susceptibilidad magnética se ve acentuado por la presencia de elementos con concentración de minerales ferrosos o de materiales con capacidad termo-remanente. De igual manera, modificaciones, aunque sean muy sensibles, de la química en la composición de los suelos provocan también variaciones en la medición del magnetismo. Según esta última idea, cuando la exploración magnética se realiza en un parcelario agrícola, la técnica será favorable para la detección de las huellas consecuencia del arado o labranza, así como senderos, límites parcelarios o fosas (Fassbinder y Becker 2003, Fassbinder 2015, 89-90).

También es conveniente, al menos desde nuestra perspectiva, para el empleo de este tipo de mediciones conocer al menos dos circunstancias generales:

La superficie terrestre suele arrojar datos de magnetismo más altos que la roca, por tanto, estructuras arqueológicas excavadas arrojaran valores de nanotesla positivos y los elementos de relleno negativos (Fedi, y otros 2017, 204).

Y otro tipo de alteración o anomalía magnética frecuente es la de tipo dipolo, una misma estructura arroja dipolos magnéticos positivos y negativos (Aspinall, Gaffney y Schmidt 2009, 69, Boschi 2009, 306). Debido a la actuación, por ejemplo, del calor sobre la orientación de los dipolos magnéticos de los cristales

les individuales de magnetita, conservando esa nueva orientación en el enfriamiento.

Si lo comparamos con los datos que ofrece la técnica GPR, la exploración geofísica con magnetómetro no arroja información de 'slices' en profundidad, es decir, no hay una tomografía donde podamos controlar el valor Z de los datos. Las imágenes obtenidas representan un resumen del magnetismo medido en un determinado paquete del subsuelo, de media de hasta 1,5 m en profundidad, en el caso de nuestras mediciones. Esta representación es lo que se denomina magnetograma, suele visualizarse en escala de grises debido a un motivo doble: de un lado, la intensidad del campo magnético es un rango de datos de un solo parámetro, por lo que resulta una visualización físicamente sensible si se representa en una escala de una misma medida; por otro lado, el ojo humano posee la capacidad de diferenciar y discriminar hasta 60 escalas del gris (Fassbinder 2016, 501-502).

En conclusión, el método magnético supone una rica fuente de información tanto para la detección de estructuras arqueológicas positivas, ínsulas, edificios, planimetrías urbanas, etc. (Fuertes Santos y Meyer 2019)¹⁵. Pero también supone un método eficaz para la detección de otros espacios arqueológicos distintos, gracias a los condicionantes magnéticos que están implicados en la composición de estos espacios, fondos de cabañas, alfares-testares, huellas de cultivo, etc. La conjunción GPR y magnetómetro, suponen la mejor combinación, o al menos la más extendida, en la investigación histórica mediante el uso de metodología no invasiva.

2.3.1. Equipamiento y softwares en las prospecciones magnéticas

Hemos utilizado en las mediciones magnéticas dos equipos distintos, pero muy similares, ambos en el caso de estudio del *municipium* de Balsa, uno en la zona de necrópolis y otros en el espacio suburbial de la ciudad.

Por un lado, el magnetómetro MX V3, un equipo multicanal y modulable de la casa SENSYS Magnetometers & Survey Solutions, concretamente es el modelo fluxgate gradiometer FGM650/3. Este magnetómetro es un muy versátil y permite adaptarse a las circunstancias espaciales y de operatividad del espacio objeto de la exploración magnética. La configuración mínima del equipo es de 3 gradiómetros y la máxima de hasta 16 canales, puede ser empujado por uno o varios operarios o remolcado por un vehículo motorizado. En su configuración completa posee un ancho de barrido efectivo de 3,75 m, lo que lo hace un equipo muy eficiente en grandes espacios, pudiendo realizar mediciones en su máxima configuración y remolcado por vehículo de unas 10 ha en una jornada de trabajo. El espaciado entre los canales o gradiómetros es de 25 o 50 cm lo que, junto a la frecuencia de muestreo, 20, 100 o 200 Hz, redundan en la resolución de los datos obtenidos. optamos por la configuración de 5 sensores o gradiómetros, con un separado de 25 cm y una frecuencia de muestreo de 100 Hz, lo que ha permitido hacer mediciones, por cada sensor, cada 1,38 cm. Los gradiómetros se conectan a una unidad central, MX Compact V3, donde se registran todos los datos tomados, esta a su vez se conecta a una tableta controlada por el operador a través del software de adquisición de datos.

El otro magnetómetro empleado fue el MXPDA, también de Sensys y prácticamente igual al descrito salvo por algunas modificaciones del carro de transporte, así como las conexiones. También trabajamos con una configuración de 5 gradiómetros cada 25 cm y una frecuencia de 100 Hz.

Para ambos equipos se empleó como sistema de posicionamiento el equipo está conectado a un sistema auxiliar GNSS con correcciones RTK realiza también desde la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP). En este caso con una configuración GPS Base + Rover. Es decir, la Base se conecta a la Red y transmite las correcciones al Rover (integrado en el equipo MX V3) mediante radiofrecuencia. El equipo utilizado como Base es el Stonex S10 y como Rover el S10A.

La adquisición y procesado general de los datos magnéticos se hace a través de distintos softwares: uno para la adquisición de datos en campo, MonMX; otro para la unión de los datos GPS en cada transecto, DLMGPS; y finalmente el software de visualización y exportación de la información magnética, el software

15. Por señalar un ejemplo exitoso, cercano y reciente, de la aplicación de la prospección magnética en la documentación a gran escala de la planimetría de una ciudad romana de la Bética.

MAGNETO. Todos ellos desarrollados por la empresa Sensys.

El software de adquisición de los datos en campo utilizado ha sido el MonMX. El software permite seleccionar las distintas configuraciones de trabajo, número de canales o gradiómetros, así como el modo de movimiento del equipo, remolcado o empujado manualmente, y todos los parámetros anteriormente mencionados. No solo trabaja con este equipo, el MXV3, sino que se adapta a las características de otros magnetómetros de la misma casa.

En este flujo de adquisición, procesado y visualización de los datos magnéticos pasamos al software MAGNETO. Este es el principal motor de visuali-

zación de los datos magnéticos medidos en campo, muestra el magnetograma con el rango o escala de valores, en nanotesla, desde el mayor valor de susceptibilidad magnética hasta el menor negativo. También permite, además de distinta escala de grises otras escalas de colores. Su principal potencial, además de la exportación de diferentes formatos, son los cortes o *clipping* que podemos realizar de manera intuitiva sobre el magnetograma, según los intereses de representación. También resulta muy eficaz la representación de curvas de nivel de susceptibilidad magnética, podemos señalar la representación de estas isolíneas que ayudan a la interpretación de los datos (fig. 4).

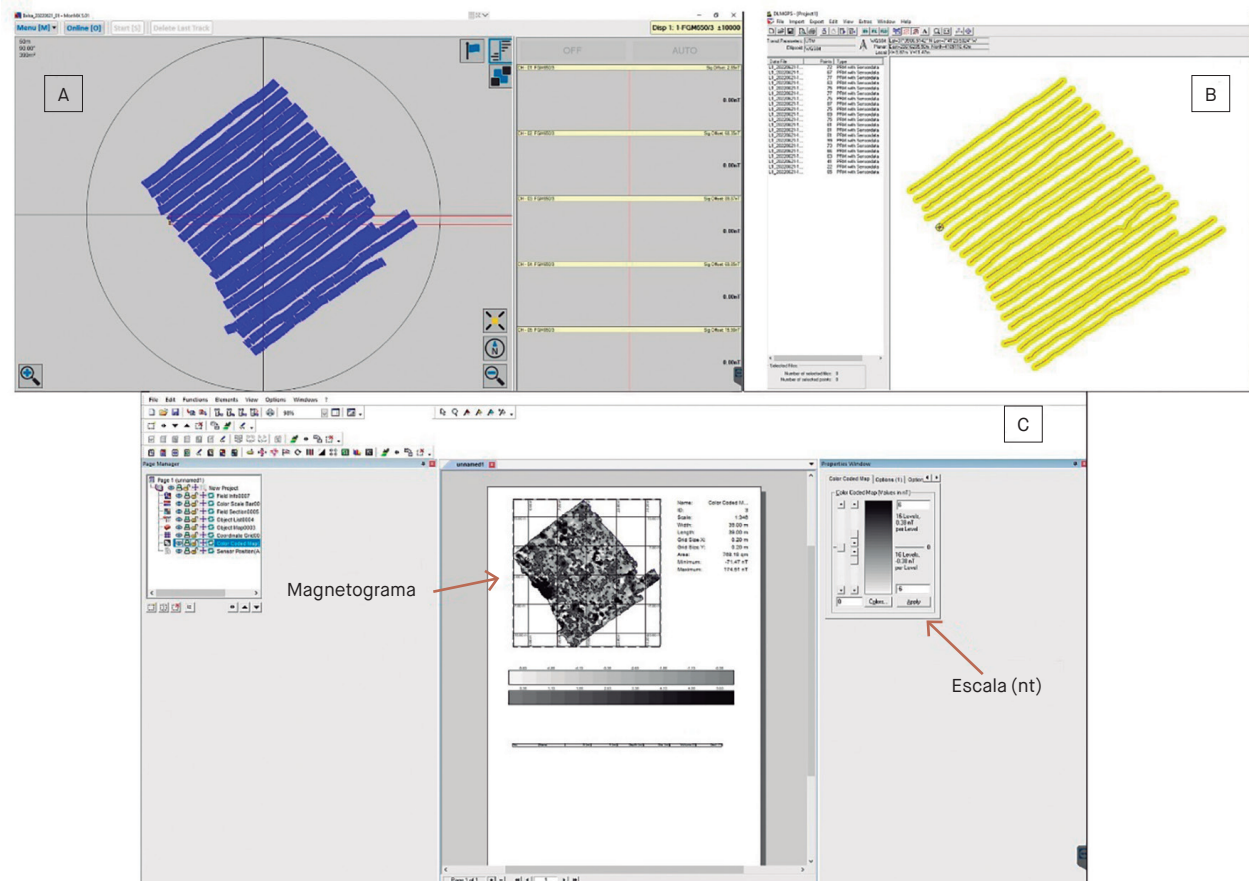


Fig. 4: Interfaz de los softwares implicados en la medición y procesado de los datos obtenidos mediante prospección magnética: A.- MonMX; B.- DLMGPS; C.- MAGNETO.

2.4. Mediciones geoelectricas

La tomografía eléctrica o ERT es otro método de prospección geofísica, geoelectrico, que mide la re-

sistividad, aunque algunos equipos pueden medir otras magnitudes, de los elementos que componen el subsuelo (Linford 2006, 2220, Drahor, y otros 2008, Tsokas, y otros 2011, 1310-1311). La resistividad no es más que la resistencia que ofrece un determinado