

Prospección geofísica para la Arqueología. Contra el bulldozer.

Roger Sala¹. Ekhine García. Maria Lafuente

En el año 2003, un grupo de estudiantes de historia de la Universitat de Barcelona creó la empresa SOT Prospecció Arqueològica, con el doble objetivo de construir una salida profesional a las respectivas carreras y de constituir una plataforma que permitiera un trabajo de investigación en el campo de la prospección geofísica aplicada a la arqueología.

La falta en el Estado Español de una ruta académica específica para la prospección geofísica en arqueología, obligó a los integrantes del equipo a un proceso de autoformación basado tanto en la acumulación de literatura específica como en la asistencia a cursos, seminarios y congresos internacionales. La ayuda de algunos profesionales y académicos recibida en aquel momento inicial ha hecho posible la larga trayectoria que aquí queremos presentar.

La prospección geofísica, fuertemente enraizada teóricamente en la física y la geología, representaba un reto metodológico serio para nuestra formación en física y química. Pero el tiempo y la experiencia demuestran que hay otros escollos más sutiles pero no menos importantes a superar. La comprensión del funcionamiento y comportamiento de los sensores geofísicos no garantiza el éxito de una prospección. El éxito reside en la suma de nueva información que la geofísica es capaz de aportar al equipo arqueológico destinatario del trabajo.

Esta constatación, aparentemente simple, deriva del hecho de que la relación entre arqueología y geofísica en nuestro entorno ha ido a menudo acompañada de grandes decepciones debido a una suma de factores. Algunas de las razones de estos fracasos han sido la falta de un lenguaje común entre arqueólogos y geofísicos, la aplicación de un prisma de interpretación de escala geológica a preguntas arqueológicas, una expectativa excesiva las capacidades de la geofísica, y sobretodo en un mal engranaje del intercambio de información entre arqueólogos y geofísicos. A todo esto cabe sumar también la práctica

¹ SOT Prospecció Arqueològica

inexistencia de profesionales conectados con la potente tradición de geofísica arqueológica del mundo anglo-sajón o francés, asentada sobre procedimientos e instrumentación estandarizados.

Otro de los problemas a los que se enfrenta la geofísica aplicada a la arqueología en nuestro país es el escaso o nulo reconocimiento legal de sus usos. Esto significa que para algunas de las legislaciones de Patrimonio, los resultados de una prospección geofísica no son probatorios de la existencia de un yacimiento arqueológico, por muy claros que estos sean. En consecuencia, estas instituciones priman la prospección visual en sus intervenciones preventivas, perdiendo la oportunidad de reconocimientos geofísicos sistemáticos que aportarían información sobre la globalidad de las zonas exploradas, y no sólo de donde se localicen restos cerámicos en superficie. No hay que olvidar tampoco que la prospección geofísica es una técnica no destructiva que no afecta en absoluto el yacimiento, frente a las catas de rastreo que requieren movimientos de tierra y desencadenan procesos de erosión en las zonas expuestas.

La prospección geofísica: una herramienta más

La prospección geofísica consiste en la medición de las variaciones de las propiedades físico-químicas del subsuelo para crear mapas o representaciones que nos permitan describir su contenido. Aunque estas técnicas originalmente no fueron desarrolladas para tal fin, se ha producido un proceso de traslación de la tecnología desarrollada para la ingeniería y la geología hacia nuestro entorno científico capitaneado por un puñado de empresas y universidades británicas desde la segunda mitad del siglo XX.

Al ser un método que se basa en detectar variaciones físicas o químicas, uno de los conceptos más importantes a tener en cuenta es el contraste de propiedades. Esto significa que hay que utilizar un sistema de prospección que se base en una magnitud que sea diferente en el objeto y en el material del entorno. Es decir, con el método magnético podremos detectar estructuras más magnéticas que el entorno, o bien estructuras menos magnéticas que el entorno. Las que aun siendo de diferentes materiales tengan las mismas propiedades magnéticas no se podrán detectar. En resumen, lo arqueológicamente relevante no siempre lo es desde el punto de vista geofísico, y viceversa.

Obviamente, la geofísica arqueológica actúa a una escala espacial menor que la necesaria en geología. Por otra parte los objetivos también son diferentes, ya que la arqueología se

interesa en describir en detalle los primeros metros del subsuelo y no interesa tanto el análisis en gran profundidad. Por eso en arqueología se suelen realizar prospecciones en extensión con una densidad de lectura alta, pero donde la profundidad explorada no excede 3-4 metros, excepto en casos ligados a la prehistoria, donde el volumen de las estratigrafías obliga a técnicas de escala geológica.

La densidad de lectura se determina en función de la problemática arqueológica a la que se quiera responder (delimitación de yacimientos, descripción de restos constructivos de gran envergadura, descripción detallada de estructuras...). Lo que no hay que perder de vista es que las estructuras de tamaño inferior a la separación utilizada no se detectarán, por lo que la información previa aportada por los arqueólogos es decisiva para una planificación correcta de la prospección.

Las técnicas más empleadas son el método eléctrico, el método magnético y cada vez más el radar. La elección de la técnica depende de las condiciones geológicas del yacimiento y de las características físicas de las estructuras buscadas. Por eso el diálogo entre arqueólogos y geofísicos es tan importante para garantizar el éxito de la prospección.

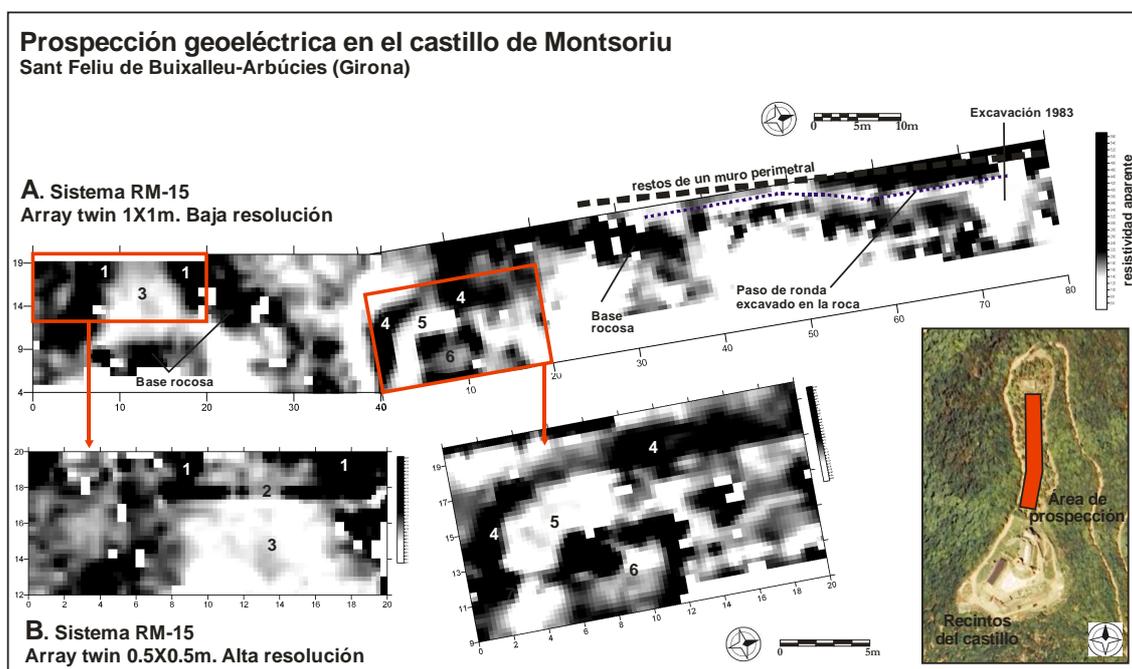
Prospección geoelectrica

La propiedad física que se utiliza para describir el subsuelo es la resistividad eléctrica, es decir, la capacidad del subsuelo para oponerse a una corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la cantidad de material conductor que contenga el suelo, por lo que es muy sensible al contenido en arcilla y agua.

Es un método especialmente indicado para la detección de construcciones en piedra en entornos sedimentarios debido a la mayor resistividad que éstas representan. De forma análoga, es útil para detectar zanjas rellenas en entornos menos conductores.

La técnica consiste en inyectar corriente eléctrica en el subsuelo y medir la diferencia de potencial eléctrico que se crea en los puntos de una cuadrícula. Para ello se utilizan cuatro electrodos que se clavan en el suelo, dos para inyectar la corriente y otros dos para medir la respuesta del subsuelo. La distancia entre electrodos determina el volumen de terreno afectado por la corriente, por lo que distanciándolos se aumenta la profundidad de exploración. En contrapartida, la resolución espacial disminuye. La elección de la

separación idónea no es siempre fácil, y es aconsejable realizar pruebas previas para asegurar el éxito de la prospección.



Prospección geoelectrica en el castillo de Montsoriu Sant Feliu de Buixalleu-Arbúcies (Girona)

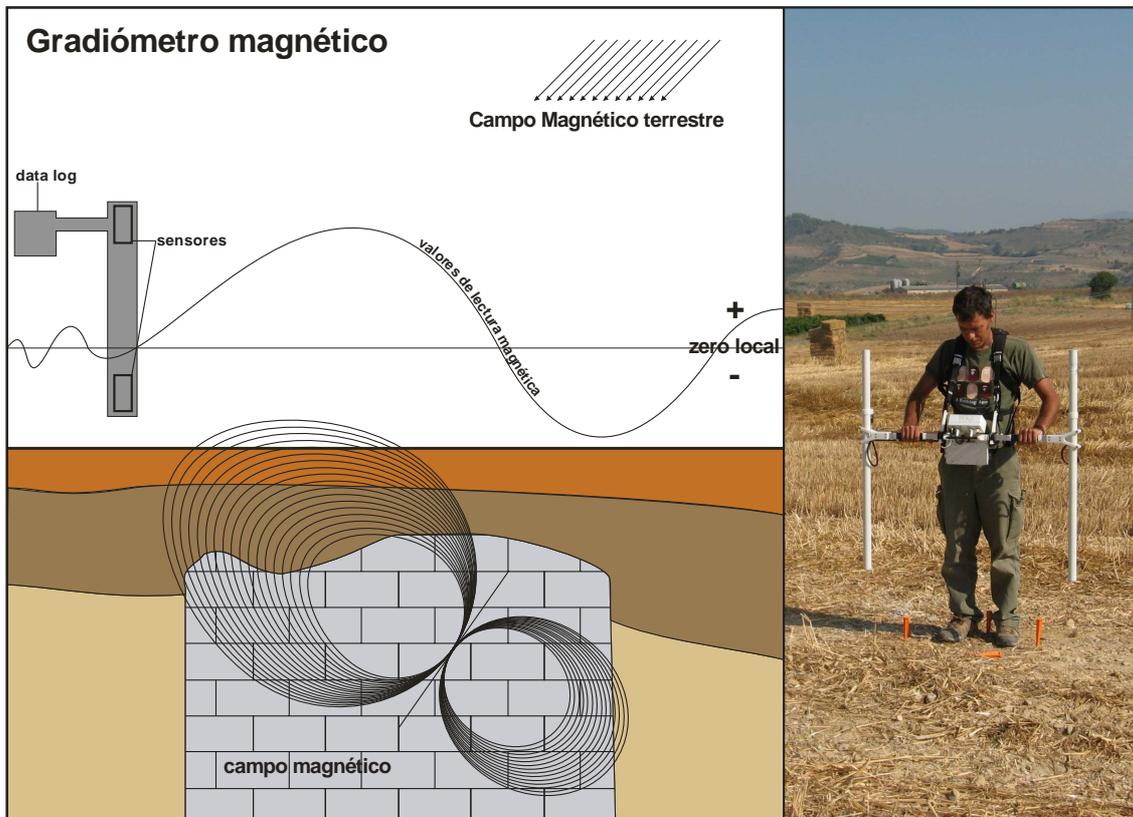
Primer trabajo conjunto con el equipo de investigación del castillo de Montsoriu en 2004. El gráfico permite ver la importancia de la resolución espacial en una prospección. A. La prospección eléctrica (sistema RM-15) con resolución 1mX1m (una lectura por metro cuadrado) permite diferenciar de manera esquemática alguna de las estructuras constructivas. B. La representación de la prospección con resolución de 0.5X0.5m muestra estructuras no detectadas en baja resolución (2) y un mayor detalle (4, 1).

La prospección eléctrica es una de las técnicas más antiguas, pero también una de las más fiables debido a que es poco sensible a interferencias externas. Uno de sus mayores inconvenientes es que el hecho de tener que desplazar los electrodos alarga la adquisición, por lo que el área cubierta en un día de trabajo es significativamente inferior a la de las otras técnicas.

Método magnético

El método magnético consiste en medir las variaciones del campo magnético terrestre a escala local. Esta variación está creada por el efecto de los minerales magnéticos que componen los materiales del subsuelo, que actúan como pequeños imanes. Las estructuras constructivas tienden a ser menos magnéticas que el entorno, lo que permite detectarlas

con este método. En cambio, los silos y las zanjas tienden a provocar un contraste positivo al ser más magnéticos que la tierra no removida de alrededor.



Gradiómetro magnético

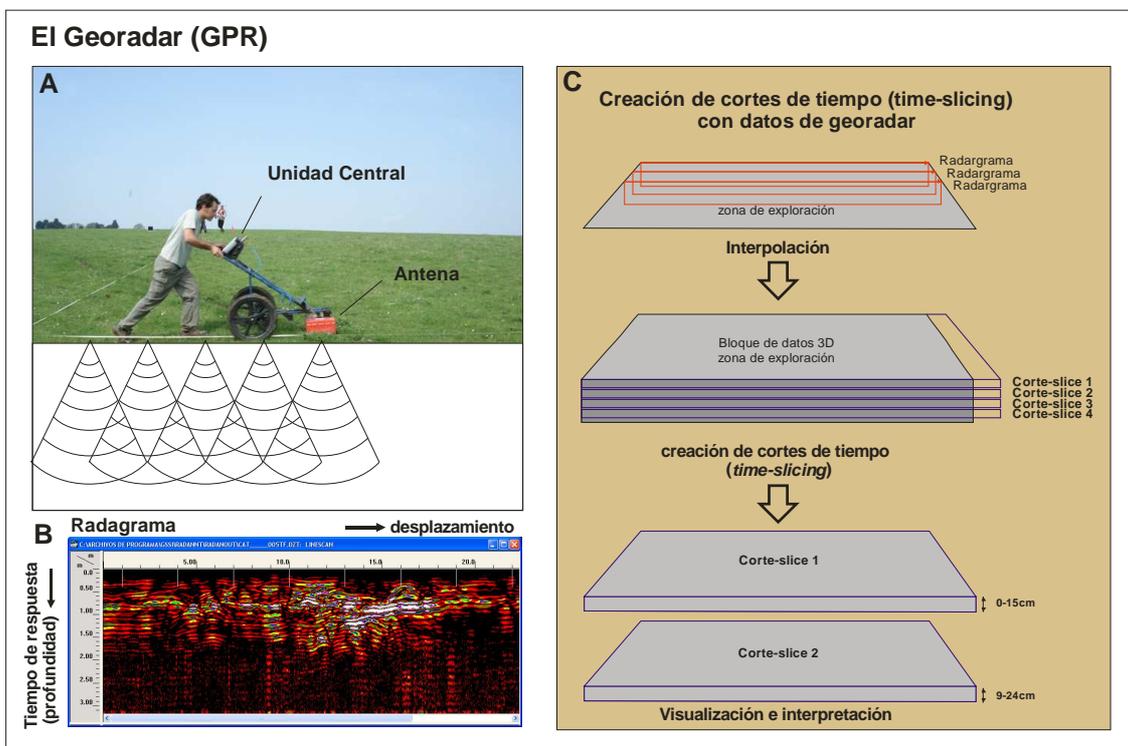
Los restos de acciones y objetos antrópicos tienden a alterar el magnetismo de su entorno. El gradiómetro magnético se calibra respecto a un valor magnético local (zero local), descontando el valor del campo magnético terrestre para centrar la investigación en las variaciones locales que provocan los restos. Calibración de un gradiómetro dual en Puente la Reina-Gares (Navarra).

Por otra parte, esta técnica está especialmente indicada para la detección de hornos, hogares y zonas de incineración. La combustión provoca una serie de cambios físico-químicos en los materiales que transforman la traza magnética de los objetos. (Imagen Gradiómetro Magnético)

Es un sistema sensible a la contaminación magnética típica de las zonas urbanas, por lo que se utiliza en entornos rurales o periurbanos. Los últimos desarrollos de los sistemas de prospección magnética los han convertido en los más utilizados en campo por su rapidez de adquisición y versatilidad.

Método radar

El georadar es un sistema de prospección geofísica basado en la emisión hacia el subsuelo de pulsos electromagnéticos de frecuencia conocida, y en el registro de los ecos que vuelven a la superficie. A medida que la onda emitida penetra en el subsuelo, ésta se altera siguiendo las leyes generales del electromagnetismo. En particular, la velocidad varía en función de una propiedad llamada permitividad dieléctrica. Cuando la velocidad en una estructura es diferente a la velocidad en el entorno se produce una reflexión en la discontinuidad, siendo más intensa cuanto mayor sea el contraste de permitividad entre los dos medios. La onda reflejada vuelve a la superficie y es registrada por la antenna.



Este proceso se repite en cada punto de un perfil; se emite un pulso y se obtiene un registro de la energía recibida en ese punto en función del tiempo. La información de cada perfil se plasma en un radargrama que representa la cantidad de energía recibida en función del tiempo (eje vertical) y en función del avance del radar (eje horizontal). Como el tiempo que tarda cada reflexión está vinculado a la profundidad a la que está el objeto, se obtiene información sobre la dimensión vertical, siendo ésta una de las mayores ventajas del sistema.

La profundidad de penetración (profundidad máxima explorada) está en función de diferentes parámetros, que incluyen la frecuencia del impulso emitido por la antena y la conductividad eléctrica del terreno. La conductividad produce una disminución de energía del pulso, por lo que a mayor conductividad, mayor es la atenuación que se produce. En cuanto a la frecuencia, influye al mismo tiempo en la profundidad de penetración y en el poder de distinguir entre dos estructuras que están cerca. A menores frecuencias la penetración es más profunda, pero a su vez la resolución espacial disminuye. El objetivo de la investigación y las características del terreno determinan la frecuencia idónea para la exploración.

Cada radargrama se puede interpretar como una sección del subsuelo bajo el perfil, pero donde lo que está representado es la energía reflejada desde cada punto del subsuelo. Tradicionalmente ésta era la información que se facilitaba al arqueólogo, quien al no tener experiencia en la lectura de estos diagramas no podía analizar por sí solo esta información. Los avances informáticos permiten en la actualidad una visualización más intuitiva de los datos, y la colaboración entre geofísicos y arqueólogos es más sencilla. Desde el año 2003 nuestro equipo se ha especializado en la técnica *time-slice* o “cortes de tiempo”, vinculándose al desarrollo de esta técnica en colaboración con el Dr. Dean Goodman (Geophysical Archaeometry Laboratory). Se trata de integrar matemáticamente varios perfiles paralelos que permitirán crear un bloque tridimensional de los datos obtenidos. Este bloque se puede cortar horizontalmente para crear un mapa de la posición de estructuras correspondientes a un tiempo concreto (o a una profundidad si se ha realizado la conversión). Se obtiene así una secuencia de plantas de diferentes profundidades, que se pueden comparar con los mapas obtenidos con otras técnicas o con las estructuras ya excavadas.

Sondeos Multisistema: 1 + 1 > 2

No se trata sólo de describir las anomalías geofísicas, sino que también debemos asociar estas anomalías con las acciones y procesos antrópicos que las generan.

Para la interpretación, una de las estrategias que mejores resultados ha dado ha sido – y es – la prospección geofísica multisistema. Es decir, la aplicación de dos o más sensores geofísicos para obtener mapas de diferentes propiedades físicas del subsuelo. La interpretación cruzada permite validar o desmentir las atribuciones de las anomalías a una u otra acción antrópica y así, la información obtenida es mucho más completa que la simple

suma de resultados de cada interpretación (véase prospección multisistema en el yacimiento de Puig-Ciutat).

¿Qué buscamos? Técnicas, geología y paradigmas constructivos.

Las condiciones ambientales, el entorno geológico, la variabilidad de las estructuras o restos a describir, hacen que raras veces se pueda interpretar con certeza toda la información obtenida.

Pero también es importante no perder de vista que incluso la excavación, el puro empirismo descriptivo de los restos materiales plasmados en el plano final, requieren una interpretación, no siempre indiscutible. Hay entonces un paralelismo entre el análisis de resultados geofísicos y el de la interpretación en arqueología. Quizás la diferencia resida en el hecho de que los aciertos y errores de una prospección serán comprobables con la excavación, mientras que la interpretación arqueológica dependerá más bien de la crítica científica y la solidez de sus argumentos.

En cualquier caso la disponibilidad y comprensión de los comportamientos y funciones de los diferentes instrumentos de exploración son básicos para el diseño de una prospección. Ya se ha mencionado también la importancia de recopilar la mayor cantidad de información posible de manos del equipo arqueológico, así como la conveniencia de utilizar más de una técnica para llegar a la fase de interpretación con posibilidades de validar datos. Pero qué pasa cuando nos enfrentamos a yacimientos completamente desconocidos, sistemas constructivos o entornos ambientales no explorados?

La respuesta -las respuestas- se encuentran en la experiencia (y porqué no, en la intuición) del equipo de prospección y en el aprovechamiento de cualquier información, por difusa que nos parezca.

Una cuestión de enfoque: La interpretación en equipo.

Como apuntábamos en la introducción, la experiencia nos ha mostrado la importancia del intercambio de información entre arqueólogos y geofísicos en todo el desarrollo de una prospección, desde el planteamiento de las preguntas a responder hasta su interpretación.

A diferencia de otros recursos a los que recurren los investigadores – dataciones por radiocarbono, análisis de restos de fauna, carpología, dendrocronología, antracología,

etc...- una prospección geofísica se debe plantear como una tarea directamente vinculada al equipo arqueológico. Desde la información inicial (entorno geológico, tipo de restos culturales a describir, materiales constructivos, contaminaciones) hasta la interpretación final de los resultados, el proceso de una prospección se resume en la atribución de anomalías geofísicas a restos de acciones humanas no constatables en superficie. Esta simplificación de la función de la prospección geofísica pone en evidencia el sinsentido de analizar los resultados sin la ayuda de los auténticos especialistas en el análisis de restos de estas acciones, que son los arqueólogos. Los datos sin interpretación no aportan información.

Así pues, el primer paso para una prospección es una buena definición de las preguntas y el análisis de la capacidad de los sensores disponibles para responderlas, en función de las características físicas del yacimiento. Además de la(s) técnica(s) empleada, las preguntas determinarán también el diseño mismo de la estrategia de prospección. La simple delimitación de la afectación arqueológica en un espacio determinado requiere un planteamiento diferente a la resolución de una cuestión específica (existe una cavidad en un punto?,Cuál es la potencia arqueológica de este yacimiento? Hay superposición de niveles de ocupación? etc.).

Evidentemente será el equipo geofísico quien decida la instrumentación, la densidad de lectura y demás cuestiones técnicas de la prospección, pero las decisiones pueden ser completamente erróneas sin el concurso de la información previa que poseen los arqueólogos. Un ejemplo claro en este aspecto sería el planteamiento de una prospección para localizar una hipotética necrópolis sin tener en cuenta la orientación de los enterramientos para emplazar la malla o *grid* de lectura, o con una densidad de lectura superior a la medida mínima de los objetos a describir. En ambos casos, la prospección podría resultar un fracaso aunque los trabajos de campo se realizaran con una precisión exquisita, por la simple razón de que determinados sensores captan mejor las anomalías perpendiculares al eje de su avance, o porque no se puede garantizar la detección de anomalías menores que la densidad de lectura. Este fracaso sería completamente achacable al geofísico por no otorgar la importancia debida a la información arqueológica y actuar en función de ella.

Ya en el proceso de datos y la interpretación, partiendo del hecho de que una anomalía detectada puede tener diversos orígenes humanos o naturales, el geofísico debe

proporcionar criterios de interpretación flexibles para poder suscitar explicaciones arqueológicas.

De South Cadbury a Navarra, de Tarragona a Uzbekistán.

En el transcurso de los últimos años nuestro equipo ha ejecutado docenas de prospecciones en los yacimientos y condiciones más variadas. Pero buena parte de la experiencia metodológica acumulada se debe a la colaboración estable con equipos arqueológicos y a trabajos de investigación conjunta con el catedrático de geofísica de la Universidad de Barcelona, Dr. Albert Casas (Catedral de Tarragona, cuevas de Altamira, etc..) y el Dr. Dean Goodman (Archaeometry Research Laboratory).

El equipo de Imma Ollich y Montse Rocafiguera, que estudia el yacimiento ibérico y medieval de l'Esquerda (Roda de Ter, Barcelona) nos ha prestado un apoyo constante y nos ha permitido experimentar en un yacimiento de gran complejidad. Lo mismo cabe decir del equipo de Jordi Tura y Quim Masdéu, vinculados al castillo de Montsoriu o los proyectos conjuntos con los equipos del Museu d'Arqueologia de Catalunya y los servicios de patrimonio locales de Tarragona y Barcelona.

Por razones de espacio no es posible incluir en este artículo algunos de nuestros proyectos mas interesantes, como las campañas de prospección en el yacimiento arqueológicos de Termez (Uzbekistán), bajo la dirección del Catedrático de Arqueometría de la Universitat de Barcelona Josep M^a Gurt, o las campañas de descripción de la ciudad griega de Temnos (Izmir, Turquía) en colaboración con la Universidad Roma III. Se quedan también en el tintero proyectos innovadores cómo los trabajos en curso en colaboración con lo historiadores Xavier Hernández, David Iñiguez y Xavi Rubio, que nos han permitido acercarnos a nuevas metodologías aplicadas a la arqueología de lo militar. Lo que sigue es una selección de imágenes y comentarios de algunos de nuestros trabajos para facilitar una visión más amplia de los usos y posibilidades de la prospección geofísica aplicada a la arqueología.

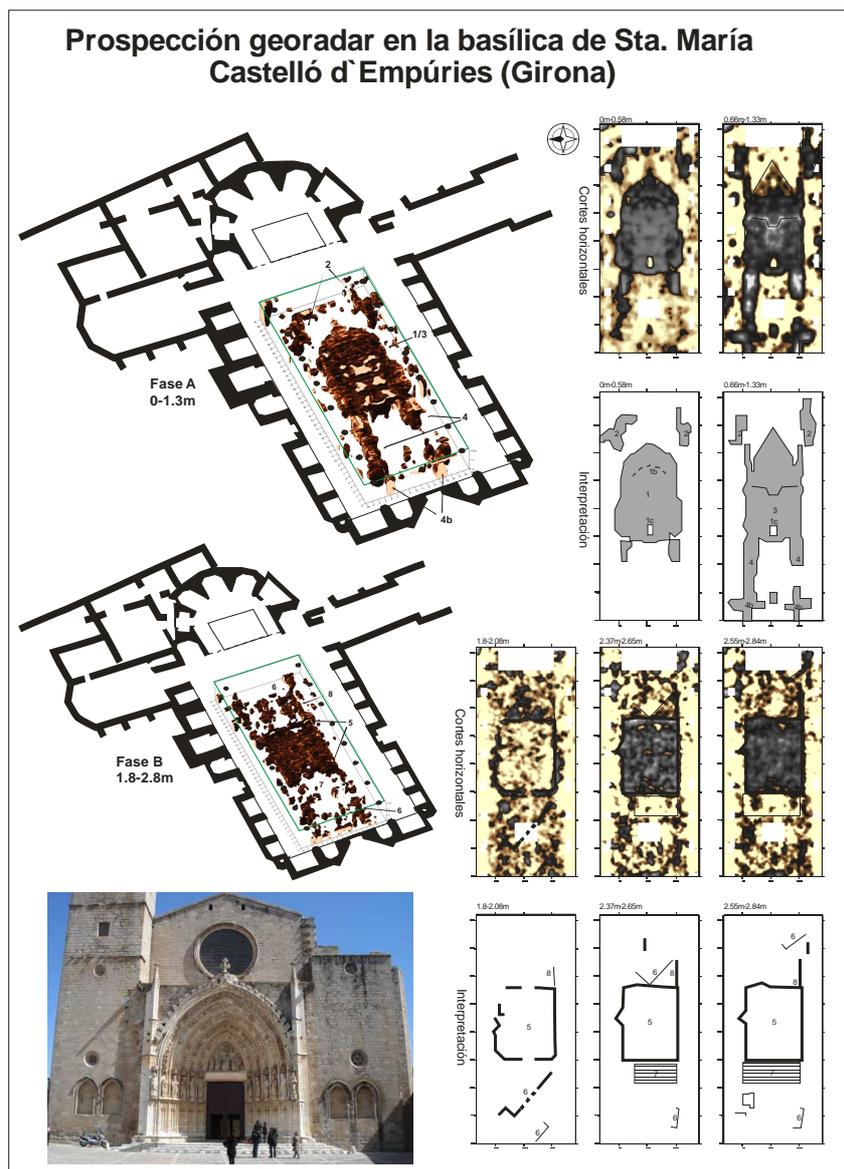
Basílica de Santa María de Castelló d'Empúries (Girona). Estudiando una superposición de estructuras con georadar.

En el marco de la evaluación del patrimonio arqueológico del municipio, se incluyó una prospección geofísica en el interior de la Basílica de Santa María de Castelló d'Empúries. El sondeo sobre esta iglesia se planteó desde el inicio con la intención de documentar los posibles restos arquitectónicos de una iglesia preexistente de estilo románico de la cual sólo ha perdurado el campanario. Gracias al trabajo de investigación de Anna M^a Puig, se plantearon diversas hipótesis de trabajo sobre la ubicación del antiguo edificio en función de los restos todavía visibles. La disposición del campanario románico indica que, si se siguen los ejemplos paralelos cercanos (San Quirze de Colera, Besalú y San Pere de Rodes), podría marcar la posición del transepto de la antigua iglesia. Teniendo en cuenta esta hipótesis, la zona de exploración se ubicó principalmente en la nave central, con una superficie de 19m X 41m, utilizando un equipo de georadar SIR-3000 con una antena de 270MHz. La distancia entre perfiles contiguos fue de 0.40m y la densidad de lectura en sentido de avance del sistema de 0.02m. Para aumentar la densidad de lectura y multiplicar las posibilidades de éxito de la prospección, se efectuaron lecturas en dos ejes perpendiculares.

Los resultados obtenidos mostraron la presencia de dos fases constructivas bajo el pavimento de la actual basílica, que podrían corresponder a uno o más edificios. Las estructuras de la Fase 1 presentan una coherencia formal con el eje de simetría de la actual iglesia, así como una marcada simetría entre ellas hasta cerca de 1.6m bajo superficie. La Fase 2 mantiene sólo esta orientación en sus estructuras mejor definidas (grupos 5, 7 y 8).

A la vista de estos resultados, la pregunta inmediata es si estas dos fases corresponden a un mismo edificio o bien si ha habido otras dos edificaciones antes de la actual iglesia. La geofísica no puede resolver por ella misma esta cuestión, pero la combinación de los resultados obtenidos y los conocimientos arqueológicos permite deducir algunas premisas más.

El grupo de estructuras 5, aun presentando un perímetro variable y estructuras internas, mantiene unas dimensiones muy similares durante más de 1.8m de profundidad. El edificio de la Fase 1 tiene mucha más extensión que el grupo de estructuras 5. Por lo tanto podemos descartar que la estructura 5 esté relacionada con elementos de sustentación de la Fase 1.



**Prospección georadar en la basílica de Sta. María
Castelló d'Empúries (Girona)**

En esta ocasión nuestro equipo trabajó junto a la arqueóloga Anna Maria Puig para la obtención de imágenes del subsuelo de la basílica de Santa Maria. Fase A. Los resultados en 3D muestran claramente el perímetro del ábside central de una construcción previa a la actual entre 0 y 1.3m bajo superficie. Fase B. Desde 1.8m de profundidad se detecta una nueva fase con los restos de una estructura rectangular, que podría responder a una antigua cripta o edificio preexistente.

Por otro lado, nos podemos preguntar si la Fase 2 corresponde a una cripta colmatada relacionada con el edificio de la Fase 1. La principal objeción de esta hipótesis es que las dimensiones del edificio de la Fase 1 presentarían unas medidas que difícilmente concordarían con una cripta tan grande. Además, las secciones transversales evidencian una interrupción vertical que contradiría esta hipótesis.

Prospección geofísica sobre el foro y la necrópolis del yacimiento arqueológico de Santa Criz (Eslava, Navarra). Delimitación de un yacimiento.

El yacimiento romano de Santa Criz se encuentra en el municipio navarro de Eslava. Aunque a día de hoy no se conoce el nombre romano, los materiales encontrados en las catas y excavaciones realizados en estos años por el equipo de la empresa Olcairum indican que se trata de una ciudad importante.

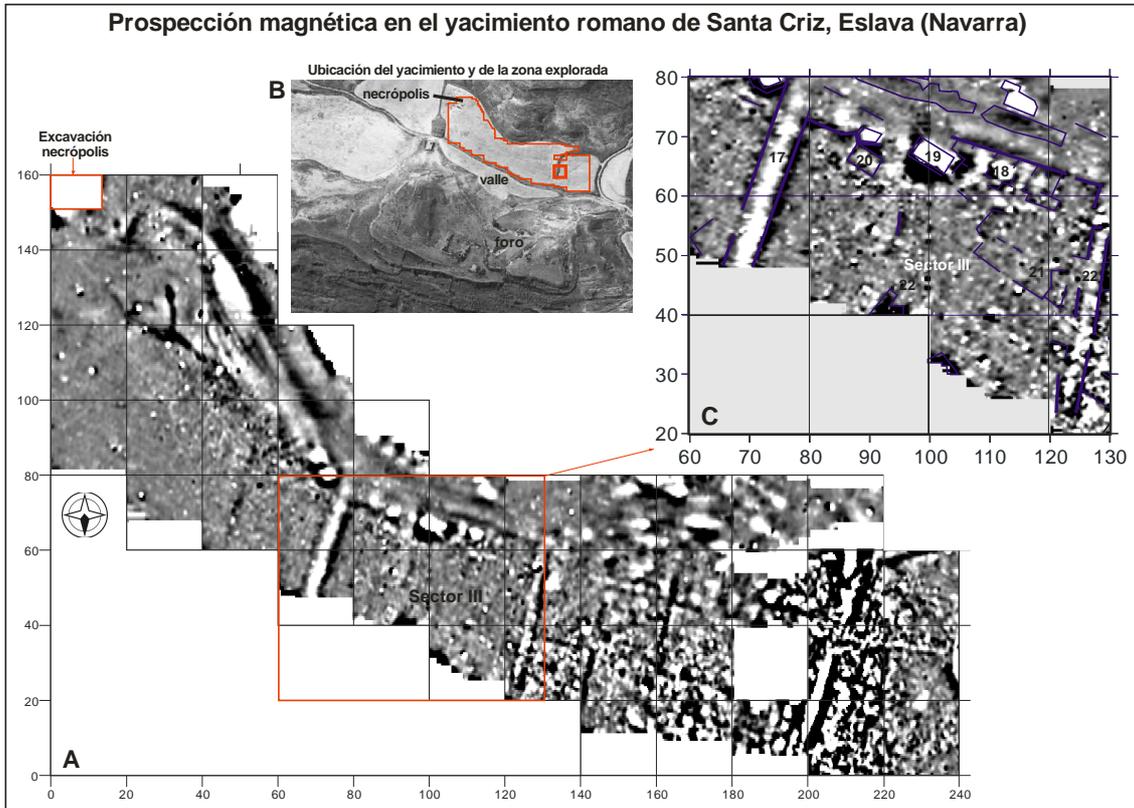
El objetivo de la intervención encargada por el Gobierno de Navarra era proporcionar información que permitiera diseñar un plan director para el yacimiento. Así se quería determinar la continuidad de las estructuras arqueológicas ya conocidas y también delimitar la extensión del yacimiento.

En julio de 2007, después de los trabajos de prospección en la zona del foro y una pequeña parte de la necrópolis en febrero del mismo año, se exploró el resto de la zona considerada necrópolis (1.4ha de superficie). En ambas intervenciones se utilizaron el gradiómetro magnético y el georadar, aunque en la primera se utilizó un gradiómetro FM-256 de Geoscan Research, que posee un solo sensor, y en la segunda se utilizó el gradiómetro Dual Grad-601 de Bartington, que posee dos sensores y además es más sensible en profundidad. En ambas se utilizó el mismo sistema de georadar (SIR-3000 de GSSI), configurando una densidad de lectura de 50cmx25cm con el gradiómetro magnético y 50cmx2cm con el georadar.

Los datos obtenidos en febrero revelaron que la traza magnética de las estructuras detectadas se ubica en valores cercanos al umbral de precisión del instrumento utilizado (valores de 0.2 a 2nT, frente a una sensibilidad de 0.1nT del sistema FM-256). Por consiguiente, se decidió utilizar para la segunda fase un sistema de gradiometría magnética de alta sensibilidad (separación de sensores de 1m) y mayor estabilidad frente al movimiento del operador (Dual Grad-601 de Bartington).

Los resultados de esta segunda fase han ofrecido una visión del encaje de estos restos excavados con el sistema urbanístico de la zona baja de la ciudad (A). Éste estaría organizado en torno a un eje principal –la calzada ya documentada en la excavación– y varios ejes secundarios asociados, que discurren prácticamente en perpendicular a ésta, evidenciando la existencia de dos módulos urbanísticos solapados. Estos ejes delimitan varios espacios con distribuciones internas similares que identificamos con la parcelación

urbana, que incluye posibles talleres metalúrgicos e incluso una posible batería de *tabernae* al paso de la vía principal (B). A los lados de la calzada se aprecian zonas de combustión identificables con estructuras funerarias como las ya documentadas, y en su tramo más cercano a la zona excavada presenta estructuras constructivas asociadas.



Prospección magnética en el yacimiento romano de Santa Criz

Resultados de la prospección llevada a cabo en 2007 para el Gobierno de Navarra con un gradiómetro magnético dual. A. Vista general de los resultados donde se aprecian 2 módulos urbanísticos diferenciados. En la parte superior de esta imagen, la franja negra corresponde a la continuación de la calzada localizada en la excavación. B. Vista aérea de la zona explorada. C. Detalle del sector 3 e interpretación. Destacan dos calles (17 y 22), una posible batería de *tabernae* (18), y otros edificios (19, 20, 21).

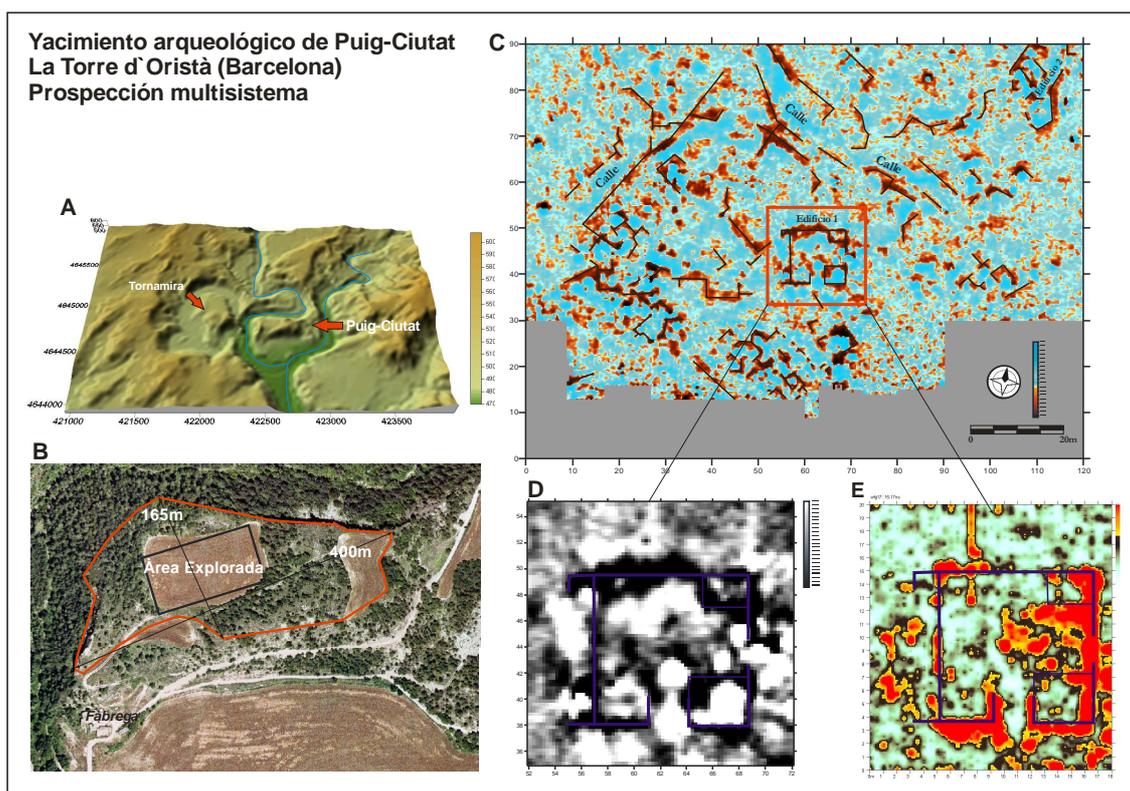
Prospección multisistema en el yacimiento de Puig-Ciutat (La Torre d'Oristà, Barcelona). Evaluación del potencial de un yacimiento desconocido.

La intervención sobre el yacimiento de Puig-Ciutat se llevó a cabo en el año 2005 en el marco de un programa experimental financiado por el departamento de Universidades e Investigación del Gobierno de Cataluña. Este proyecto consistía en la prospección de 5 yacimientos inéditos en una pequeña región rural al norte de la provincia de Barcelona llamada Lluçanès. Los resultados de las prospecciones debían proporcionar criterios de

decisión a las autoridades locales para evaluar la viabilidad de la explotación turística y científica de los yacimientos.

La existencia del yacimiento es conocida desde hace décadas, pero nunca se desarrolló ningún proyecto de investigación sobre el mismo. Se trata de un asentamiento espectacular, de cerca de 4.5ha, que mantuvo su ocupación como mínimo hasta entrado el siglo I a.c, a juzgar por los materiales documentados en superficie. En el año 1.000 aparece en un documento de compraventa de tierras de labor, aún con el nombre de *Civitas*.

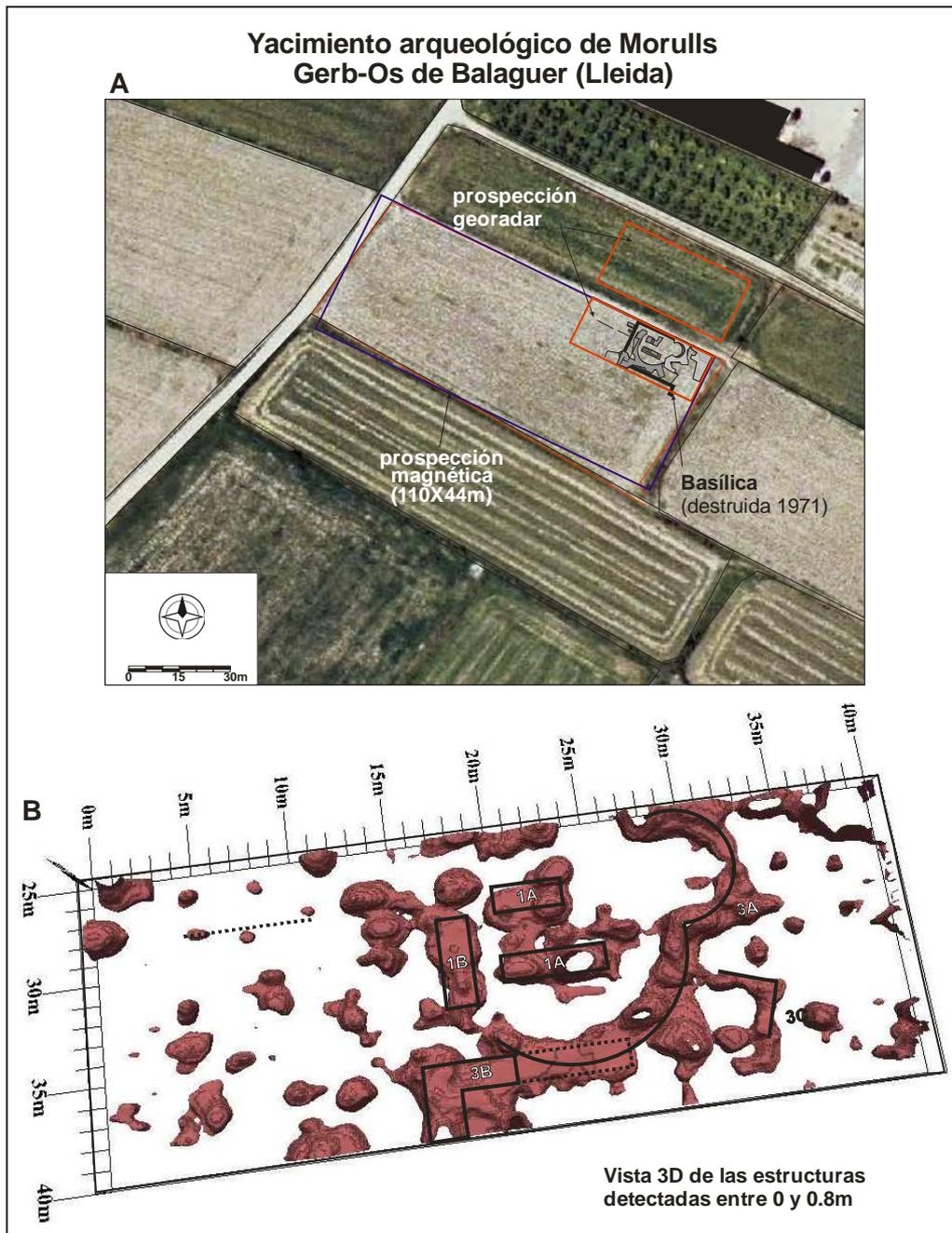
Los resultados de la prospección aportaron gran cantidad de información sobre la distribución urbana del centro del asentamiento. La disponibilidad de diferentes sensores permitió documentar con claridad la existencia de un edificio singular, de forma rectangular, en la zona central (edificio 1) que se reproduce en los gráficos.



**Yacimiento arqueológico de Puig-Ciutat
La Torre d'Oristà (Barcelona)
Prospección multisistema**

Esta prospección es la primera intervención arqueológica en el impresionante yacimiento Íbero-romano de Puig-Ciutat. A. Estratégica ubicación del sitio en un meandro. B. Vista aérea de la zona explorada y en rojo el perímetro mínimo del yacimiento. C. Mapa magnético de la zona explorada. La interpretación (líneas en negro) indica un urbanismo complejo, con posibles superposiciones de estructuras en la zona SW. Posiblemente se trate del centro urbano de la ciudad. D. Detalle del edificio 1 (12X11m) e interpretación. El alto contraste magnético de sus estructuras sugiere materiales constructivos diferentes o un incendio. E. Aspecto del Edificio 1 en la prospección georadar a 0.7m bajo superficie.

Yacimiento paleo-cristiano de Morulls, Gerb-Os de Balaguer (Lleida). Sorpresas bajo tierra.



Yacimiento arqueológico de Morulls Gerb-Os de Balaguer (Lleida)

Resumen de resultados de la prospección multisistema ejecutada en el yacimiento tardo-antiguo de Morulls. A. Vista aérea y zonas de estudio del yacimiento, con esquema de resultados en superposición. B. Vista 3D de los volúmenes detectados en la prospección georadar. La estructura 3ª configura el perímetro de una construcción circular de unos 12m de diámetro con un ábside hacia el Este. 1A y 1B pueden corresponder a enterramientos, mientras que 3B puede corresponder a restos de un edificio posterior.

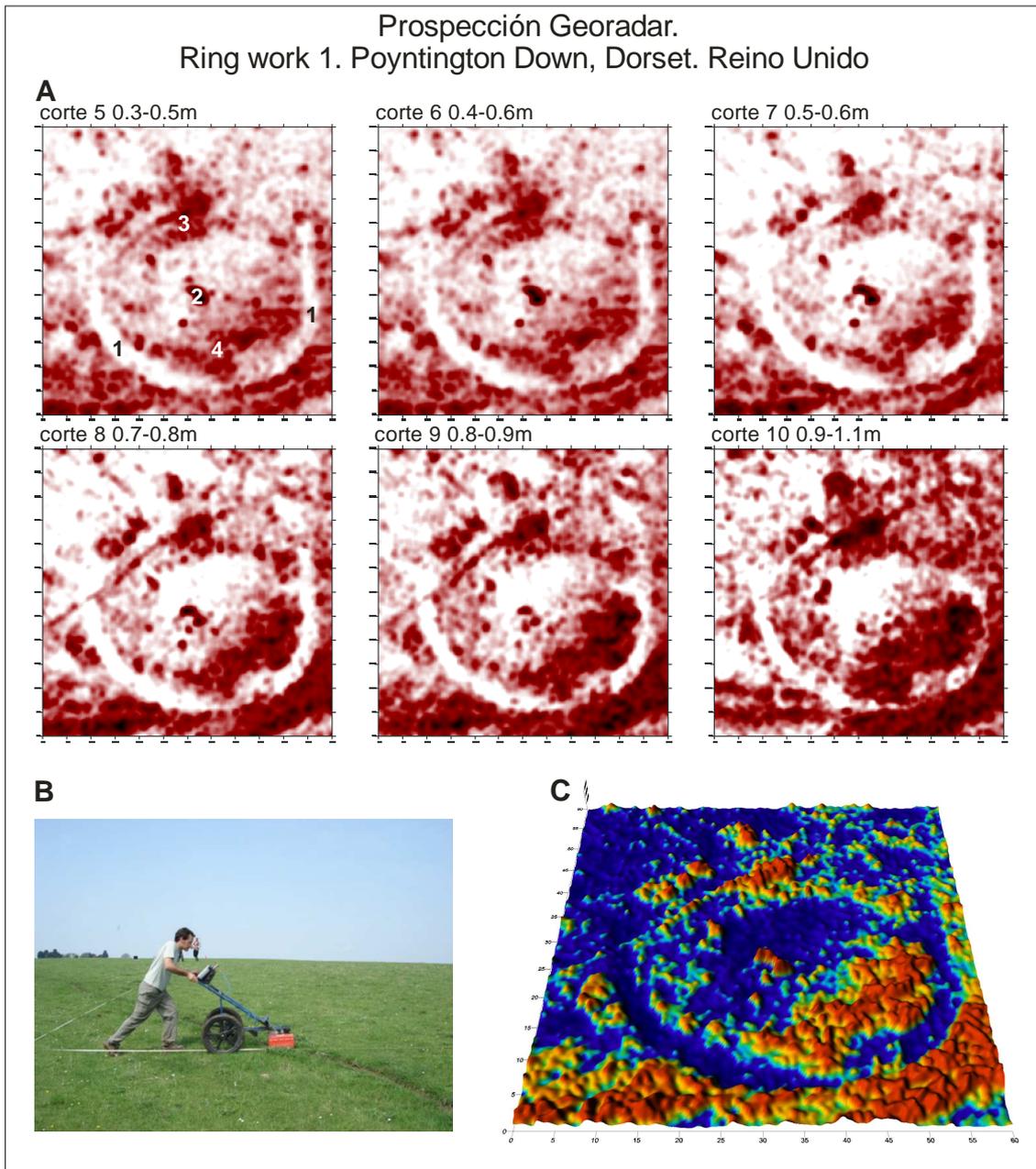
Por encargo del Área de Conocimiento e Investigación del departamento de Patrimonio de la Generalitat de Cataluña se ejecutó una prospección multisistema sobre la ubicación de una antigua basílica paleocristiana, descrita en excavaciones poco documentadas de mediados de los años cuarenta. El objetivo era verificar la destrucción de este yacimiento en trabajos agrícolas durante los años setenta y documentar la presencia de otras estructuras asociadas que pudiesen quedar en los campos de cultivo actuales.

Para este proyecto se planeó una exploración magnética y con georadar, para cubrir la eventualidad de la falta de contraste magnético o eléctrico entre las estructuras y la geología. El entorno geológico aluvial y la incógnita respecto a los materiales constructivos que íbamos a encontrar aconsejaban un sondeo mixto.

Los resultados confirmaron la necesidad de esta estrategia, ya que la prospección con georadar ofreció imágenes espectaculares de un edificio semicircular con un ábside donde el sensor magnético obtuvo simplemente una respuesta convulsa.

Ring Work 1, South Cadbury Environs Project. Reino Unido. Georadar en grandes extensiones.

En el marco de los proyectos de investigación propia y en colaboración con el equipo de Dr. Richard Tabor (Universidad de Bristol) el equipo de SOT se ha desplazado al suroeste de Inglaterra para participar en 2 de las campañas de prospección (2005 y 2007) del proyecto South Cadbury Environs Project. Esta iniciativa, que tiene como objetivo el reconocimiento geofísico sistemático de una amplia superficie entorno al municipio de South Cadbury, nos ofreció la posibilidad de enfrentarnos al reto de aplicar nuestra experiencia en la prospección con georadar a un entorno tradicionalmente considerado hostil a este sistema, como el húmedo clima atlántico.



Ring work 1. Poyntington Down, Dorset. Reino Unido

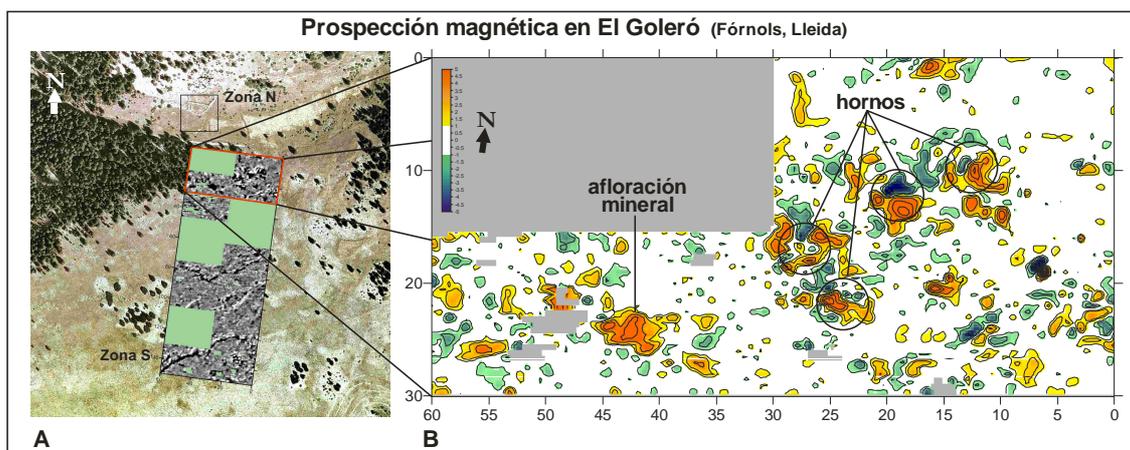
Resultados de la prospección georadar de la campaña 2006 llevada a cabo por Roger Sala y Maria Lafuente en colaboración con el South Cadbury Environs Project, dirigido por el Dr. Richard Tabor (Universidad de Bristol). A. Secuencia de cortes horizontales que muestra la evolución en profundidad del foso circular de 50m de diámetro detectado (1). Las imágenes permiten apreciar los restos de una edificación en la zona central (2), y de dos posibles estructuras de acceso al recinto (3 y 4). B. Imagen de los trabajos de campo, utilizando un equipo GSSI SIR-3000 con antena de 400Mhz. C. Vista pseudo 3D que permite hacerse una idea de la volumetría de los restos.

La intervención del año 2005 se llevó a cabo sobre el enclave de Sheep Slait, dónde previamente el equipo del Dr. Tabor había localizado un espectacular foso circular de unos 50m de diámetro, atribuido a un poblado del Hierro final. Los trabajos de prospección con

georadar se ejecutaron en un solo día, y después de un proceso de “limpieza” de la señal se obtuvo una secuencia de cortes horizontales que permitió estudiar con detalle la geometría del foso y documentar otros restos no localizados en la prospección magnética.

El Goleró, Fórnols (Lleida). Prospección de montaña.

El proyecto de prospección de diferentes zonas de montaña del Pirineo llevado a cabo por el Dr. Josep M^a Palet (ICAC) planteó la necesidad de una prospección sistemática sobre un enclave estratégico descubierto en el entorno de un paso de montaña llamado El Goleró (Fórnols, Lleida). En este entorno, situado a más de 2.000m de altitud, el equipo del Dr. Palet ya había localizado restos de estructuras constructivas identificadas con cercados para ganado y evidencias de trabajo metalúrgico, además de restos cerámicos en superficie que aportaban un marco cronológico muy amplio, desde el neolítico hasta época romano-republicana.



Prospección magnética en el Goleró

Imágenes de los resultados obtenidos en la prospección magnética de la zona S. A. Vista general de la extensión explorada sobre fotografía aérea. En la parte baja se aprecian las trazas magnéticas de los cercados para ganado descubiertos por el Dr. Palet.

B. Detalle del grupo de hornos metalúrgicos detectados en la prospección magnética y afloración de mineral de hierro (limonita).

La prospección magnética aportó datos significativos sobre la identificación de algunos montículos como restos de hornos metalúrgicos, posteriormente excavados y fechados por radiocarbono. Una de las anomalías interpretadas inicialmente como horno resultó ser una

afloración de mineral de hierro, posiblemente explotada simultáneamente a los hornos circundantes.

Los restos de los cercados se definen claramente en la zona sur de la prospección como líneas oscuras.

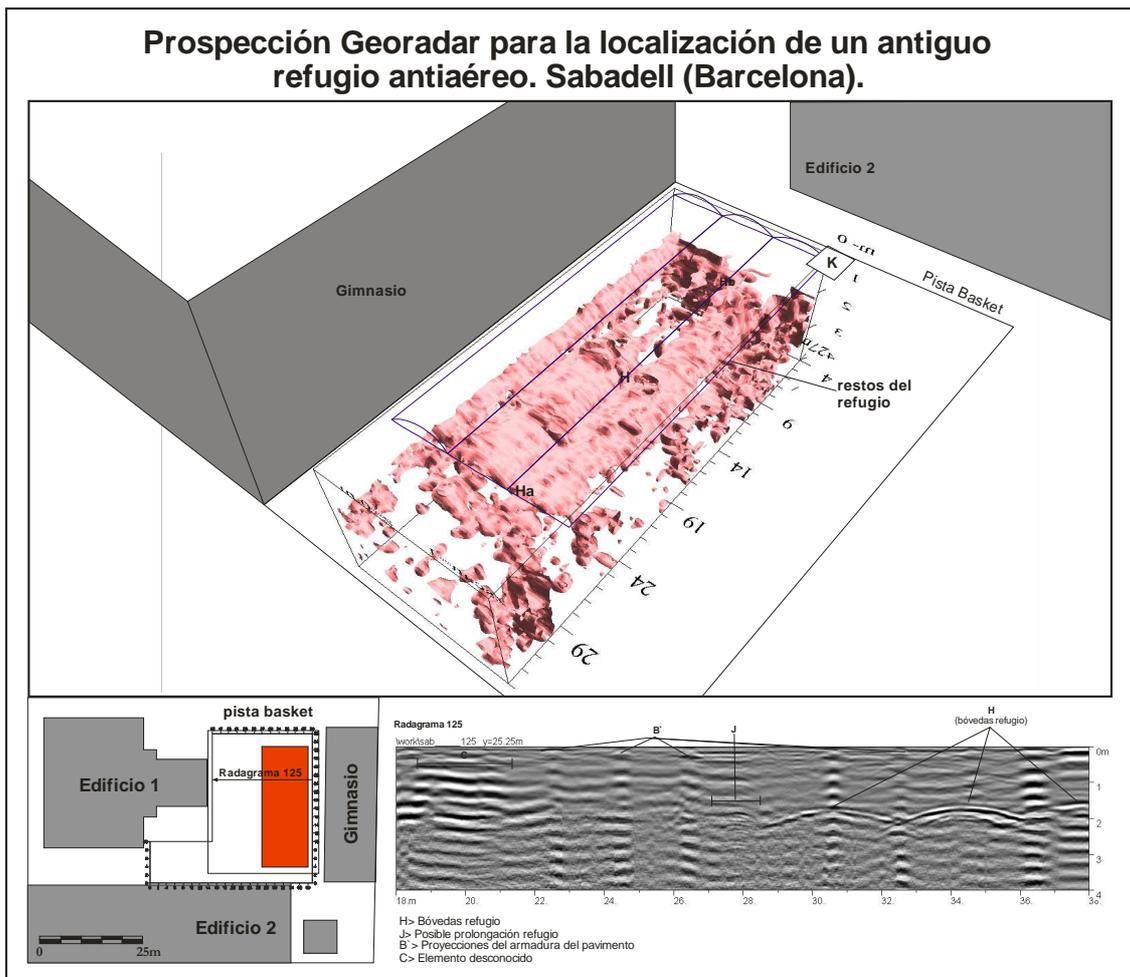
Descripción de un refugio antiaéreo. I.E.S. Pau Vila, Sabadell (Barcelona). Arqueología de la Guerra Civil.

El Museu d'Història de Sabadell (MHS) planteó esta intervención ante la necesidad de ubicar con exactitud la posición de un refugio antiaéreo subterráneo bajo la ubicación del actual instituto de secundaria Pau Vila. Las futuras obras de renovación del centro de enseñanza podían afectar al edificio subterráneo, del que además se habían perdido los accesos al edificio del colegio.

Gracias a las investigaciones de los técnicos del museo de Sabadell se acotó una zona de investigación en el patio central del colegio, ocupada en su mayor parte por una pista de basket. Como es de suponer, la principal preocupación consistía en la localización de al menos uno de los accesos al refugio para poder acceder al mismo.

Los primeros datos obtenidos con georadar revelaron la presencia de una armadura metálica en el pavimento de la pista de deportes que dificultó la visualización de los resultados. Las dimensiones del cuerpo del edificio (10.8m x 30m) se hallaron rápidamente, pero las hipótesis sobre la posición de los accesos se revelaron erróneas, después de la intervención de sondeo arqueológico dirigida por la empresa Janos SL.

De nuevo, el equipo del MHS aportó una fotografía aérea del año 1947 que se pudo georeferenciar según la posición del cuerpo del refugio localizado, revelando que los accesos se encontraban bajo los edificios del colegio. Finalmente, una nueva prospección en el gimnasio permitió localizar una de las entradas bajo el pavimento, pendiente aún de confirmar arqueológicamente.

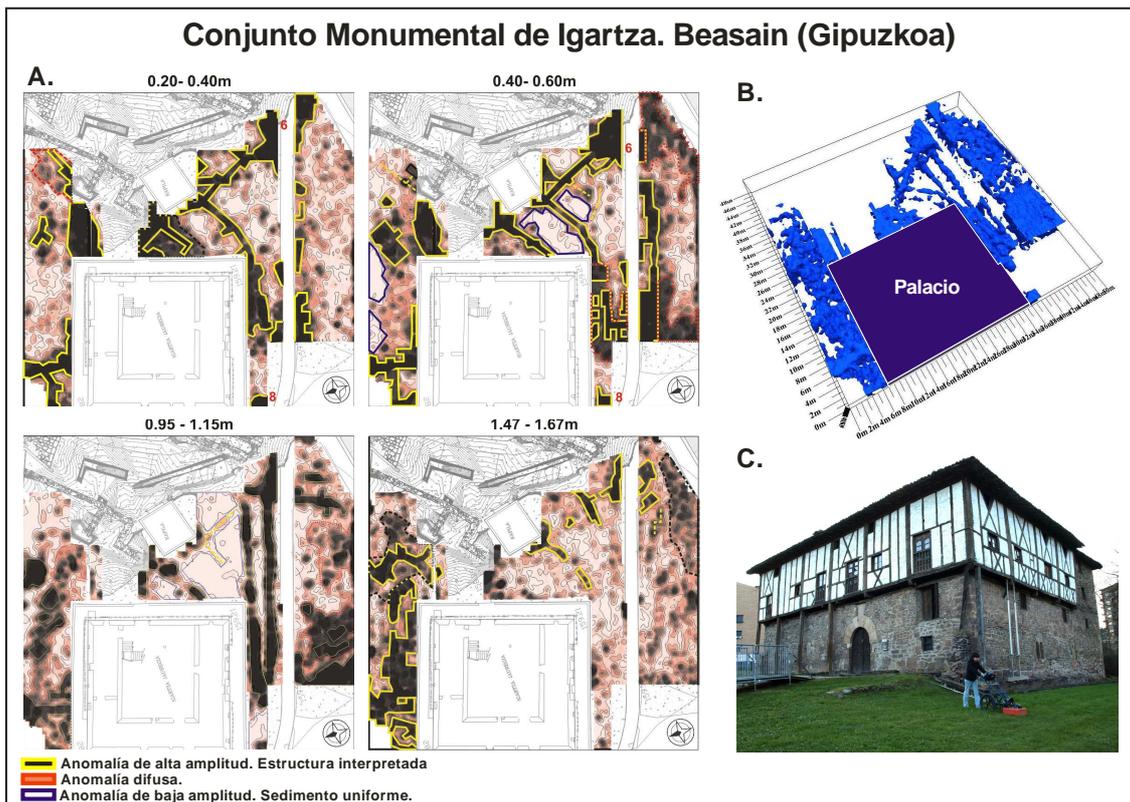


Prospección Georadar para la localización de un antiguo refugio antiaéreo. Sabadell (Barcelona).

El Museo de Sabadell promovió esta prospección para conocer la posición, dimensiones y accesos de un refugio antiaéreo de la Guerra Civil Española. Las entradas se cegaron en los años 1960 para construir un instituto. Su ubicación actual bajo una pista de deportes conllevó un proceso específico de tratamiento de la señal para eliminar la interferencia producida por la malla metálica del pavimento.

Conjunto monumental de Igartza, Beasain, (Guipuzkoa). La prospección como herramienta de planificación.

Dentro del programa de investigación y restauración del conjunto arqueológico de Igartza, promovida por el Ayuntamiento de Beasain y la Sociedad de Ciencias Aranzadi, el equipo de investigación dirigido por Juantxo Aguirre planteó la necesidad de un reconocimiento geofísico del entorno del palacio. Mediante esta prospección se pretendía ubicar y delimitar el conjunto de restos arqueológicos aún no excavados para una planificación sistemática de futuras actuaciones.



Conjuto monumental de Igartza

Resultados de la prospección georadar en el conjunto monumental de Igartza. A. Resultados de la prospección georadar a diferentes profundidades. Los primeros cortes permiten apreciar la continuidad de las estructuras excavadas en la zona Este y los restos de una factoría moderna en la zona Sur. El tercer y cuarto corte muestran nuevas estructuras, como un posible canal relacionado con la producción metalúrgica (0.95-1.15m), y posibles restos de una edificación preexistente en la zona norte (1.47-1.67m). B. Proyección 3D de los elementos detectados. C. Vista de la zona de prospección, cubierta con césped.

El conjunto de Igartza se estructura entorno a tres elementos arqueológicos: un conjunto de transformación y producción metalúrgica, el palacio y el cruce de comunicaciones terrestres, encarnado en el puente sobre el río Oria.

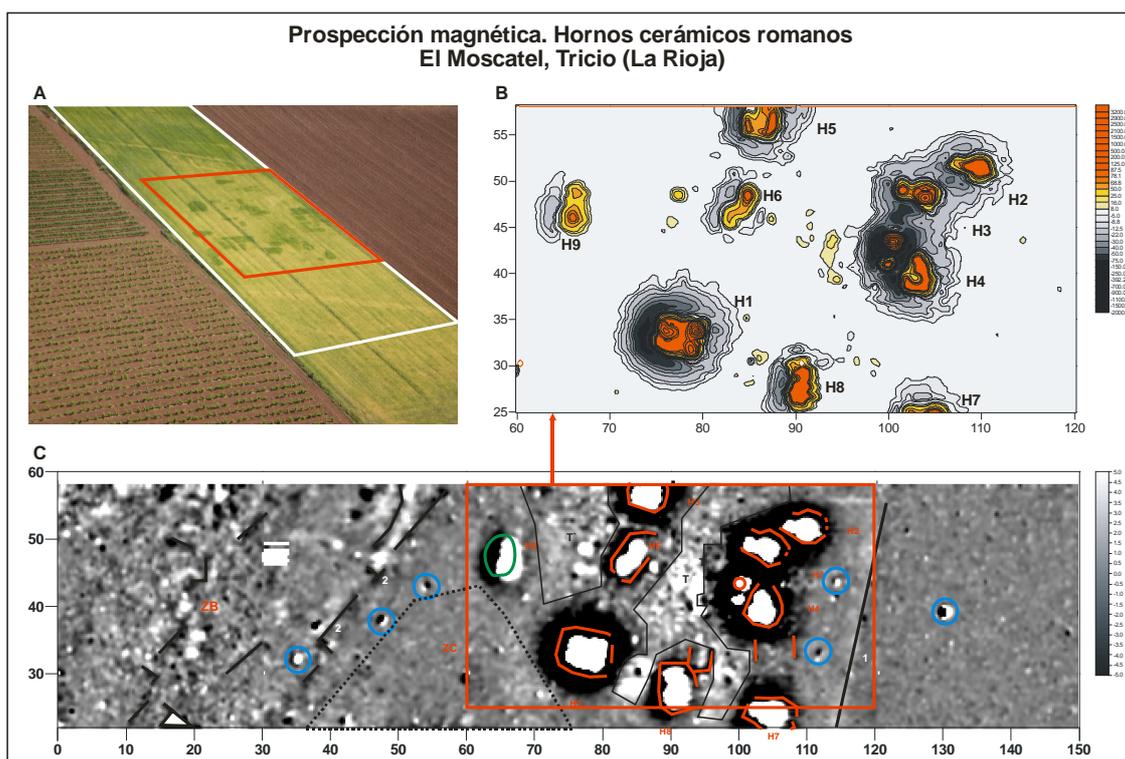
Una vez más, la función y características de los restos arqueológicos condicionaron la estrategia de prospección. La presencia en todo el entorno de escorias procedentes del trabajo de los hornos y la ubicación del yacimiento en el centro urbano de Beasain eliminaron la posibilidad de usar los sensores magnéticos. La limitación de tiempo también descartó la prospección geoelectrica por su lentitud, así que se optó por una prospección con georadar en extensión.

Los resultados mostraron la idoneidad de la elección, permitiéndonos obtener imágenes en buena parte del subsuelo del perímetro exterior del palacio, e identificar la continuidad de algunas estructuras excavadas recientemente. Más interesante aún es la aportación de los

datos obtenidos a la correlación entre las estratigrafías interiores y exteriores del palacio, que pueden ayudar a planificar de forma efectiva futuras investigaciones arqueológicas.

Prospección mustisistema en un centro de producción cerámica en El Moscatel, Tricio (La Rioja).

En el marco de la redacción de su tesis doctoral, la arqueóloga Cristina Novoa requirió nuestros servicios para la descripción y ubicación de un sistema de hornos cerámicos en la finca El Moscatel (Tricio, La Rioja). Las imágenes aéreas en fotografía oblicua tomadas por Cristina Novoa (A) permitieron acotar con precisión el área de estudio. Los resultados de la prospección evidenciaron la existencia de dos zonas, una con 8 hornos (H1-H8) y un posible depósito de desechos (H9), y otra con varios restos constructivos (C, zona derecha de la imagen) que interpretamos como una zona de producción debido a la presencia de indicios de combustiones y restos metálicos.



Prospección magnética. Hornos cerámicos romanos El Moscatel, Tricio (La Rioja)

Descripción del sistema de hornos cerámicos romanos y estructuras anexas para un estudio de la arqueóloga Cristina Novoa. A. Vista inversa: Fotografía aérea oblicua del yacimiento (publicada en RdA N° 315). Se indican la extensión total estudiada (en blanco), y la zona del detalle B (en rojo). B. Detalle del grupo de hornos H1-H8 y un posible depósito de desechos (H9) en isolíneas. C. Representación en escala de grises de toda la extensión explorada e interpretación. ZB: Posible zona de producción. ZC: Zona con baja alteración. T: Zona de acceso a los hornos. Círculos: objetos metálicos.