

# Estudios geofísicos en yacimientos arqueológicos andaluces. Periodo 1985–2010

José Antonio Peña | Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada. Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Granada. peruano@ugr.es

## 1. Qué son los métodos geofísicos y cómo se aplican

Estas líneas pretenden presentar algunos métodos geofísicos a un público heterogéneo, compuesto en su mayoría por arqueólogos, que frecuentemente han mantenido una relación “distante” con los métodos geofísicos aplicados a la Arqueología. Así se ha prescindido de todo formulismo y se ha centrado el tema en el análisis, un tanto informal aunque riguroso, de las posibilidades de aplicación de los métodos más usuales para aportar datos a la resolución de problemas arqueológicos.

Se suele definir la Geofísica como el resultado de la correcta aplicación de un conjunto de métodos y técnicas físicos y matemáticos al estudio del interior de la Tierra. Su ámbito de aplicación va desde toda la Tierra hasta unos pocos centímetros del subsuelo, en función del método empleado y del modo en que se aplica cierto método. En la mayoría de los casos hay una relación inversa entre la resolución y la profundidad, si se desea más profundidad es a costa de perder resolución y viceversa.

Se suele llamar Geofísica de alta resolución, al estudio geofísico de los primeros 500 m o 300 m bajo el subsuelo. Dado que en arqueología raramente se sobrepasan los 10 m de profundidad, cuando se opera en este ámbito suele denominarse geofísica de muy alta resolución. Al implicar espesores muy pequeños es necesario usar instrumentos de alta sensibilidad: gravímetros sensibles hasta el microgal, magnetómetros de sensibilidad en el rango del picotesla, sismógrafos con gran velocidad de muestreo, etc.

Es necesario enumerar tres principios fundamentales de los métodos geofísicos para comprender mejor sus posibilidades de aplicación en Arqueología.

1. Cualquier método geofísico se basa en el contraste de alguna propiedad física entre el material/estructura buscado y los materiales que lo envuelven. Si no hay diferencia en el valor de la propiedad considerada (constante dieléctrica, resistividad, velocidad de las ondas elásticas, cualquier propiedad física medible...) entre el material/estructura buscado y su entorno, el material/estructura no se puede detectar con un método basado en esa propiedad.
2. Cada método geofísico tiene una resolución limitada que no permite detectar más allá del rango del experimento. Por ejemplo, el tamaño de las cavidades detectables en gravimetría está limitado por el tamaño de la red de medidas, el objeto más pequeño detectable por el georradar está limitado por la frecuencia central de la antena, por la profundidad y el contraste de constante dieléctrica del objeto.
3. La Geofísica elabora modelos que siempre son imágenes aproximadas de la realidad porque están limitados por precisión en la toma de medidas y el método matemático usado para calcular el modelo. Así, un perfil de resistividades “reales” es un modelo que se calcula para explicar las resistividades experimentales (aparentes) que hemos medido sobre el terreno y, por tanto, no es la fotografía de un corte del subsuelo. Podría decirse que es una visión del subsuelo hecha con otros ojos; como si se utilizasen unas gafas que solo permitieran ver la distribución en profundidad de una determinada propiedad física, la cual no tiene porque coincidir con lo que veremos cuando excavemos. No obstante, es una ventaja formidable el disponer de un modelo que nos oriente sobre los distintos tipos de materiales/estructuras subyacentes.

De modo que hay que considerar una imagen geofísica como una visión miope del subsuelo; generalmente más miope cuanto más rápido de aplicación es el método. Y en ningún caso es comparable con el grado de detalle que nos proporciona la excavación.

Otro aspecto importante es que los métodos geofísicos, aunque son una importante ayuda a la investigación arqueológica, no son una panacea y no siempre se pueden aplicar. Hay problemas que no tienen solución geofísica, sea

por la resolución de los métodos aplicables, sea por las condiciones locales (es inútil hacer una prospección magnética en un lugar que ha funcionado como vertedero, o hacer una prospección rádar sobre unas arcillas empapadas de agua salobre). Por otro lado no tiene sentido aplicar el método por el método mismo, en algún caso es más barato excavar si de antemano se sabe exactamente donde hay que hacerlo.

La correcta aplicación de los métodos geofísicos requiere que se sigan una serie de pasos:

- Definir claramente el problema a resolver: tamaño, composición, profundidad, roca encajante, antecedentes...
- Establecer que método(s) se aplicarán en base al contraste entre los materiales, resolución deseada, extensión a explorar y recursos disponibles.
- Planificar el trabajo de campo: equipos, dispositivo experimental, permisos, desplazamientos, control de coordenadas reproducibles, preparación del terreno (desbroce, estaquillado), logística, hojas de explotación, etc.
- Adquisición de datos: metodología de adquisición, control de producción, seguridad, inspección de calidad y almacenamiento de los datos de campo, procesado básico en casos excepcionales.
- Procesado de los datos: teoría física, programas de tratamiento, etc.
- Interpretación geofísica de los resultados con la ayuda de toda la información disponible, geológica y arqueológica, y aprovechando la sinergia entre métodos cuando se han usado varios.
- Interpretación arqueológica de los resultados. El modelo geofísico normalmente es más pobre que el modelo arqueológico, el arqueólogo ve en el modelo geofísico rasgos que al geofísico le pasan desapercibidos o le parecen irrelevantes. El arqueólogo tiene otra idea de lo que cabe esperar en un yacimiento, la colaboración entre ambos profesionales en esta etapa enriquece notablemente el resultado final del estudio.

Se ha explicado en múltiples ocasiones la utilidad de los métodos geofísicos en la investigación arqueológica, en cualquier caso no está de más recordar algunas de sus ventajas:

- Son métodos no destructivos, en ningún caso se produce una alteración permanente del terreno; es decir pueden proporcionar una información valiosa de los primeros metros del subsuelo sin tocar una sola piedra. No hay que renunciar a obtener información, más allá de la que proporcionan la foto aérea y la prospección superficial, sobre una extensa superficie porque no se tengan los medios o la oportunidad de excavarla.
- Su aplicación es mucho más barata que la excavación arqueológica. Explorar media ha por magnetometría o 1.500 m<sup>2</sup> con rádar 3D, cuestan aproximadamente lo mismo que excavar 1 m<sup>3</sup> usando un sistema de registro medianamente exigente.
- Pueden usarse como herramientas para la planificación, cuando las disponibilidades presupuestarias son limitadas, como suele suceder casi siempre en la investigación arqueológica. Excavar un pequeño sector un metro a la derecha o a la izquierda puede ser la diferencia entre un resultado positivo y una pérdida de tiempo y recursos.

## **2. Por qué se han usado más los estudios geofísicos en Andalucía que en otras comunidades autónomas**

Gran parte de la investigación geofísica aplicada a la Arqueología que se ha hecho en Andalucía es investigación contratada, realizada por empresas dedicadas a la prospección geofísica, la mayoría radicadas fuera de Andalucía; por departamentos de universidades extranjeras, o por departamentos e institutos de universidades españolas; estos últimos a través de la mediación de las respectivas OTRIs.

Los contratos suelen llevar cláusulas de confidencialidad, en la mayoría de los casos por tres años y en algún caso hasta por diez. Cuando caduca la cláusula, el trabajo, que en su momento podía ser novedoso, ha perdido actualidad y ya han sido publicados estudios semejantes en las revistas más punteras, el resultado es que se publica solo una pequeña parte de este tipo de investigaciones. Algunos trabajos son intervenciones breves para resolución de problemas puntuales y una vez resuelto el tema no queda constancia de la intervención.

Otro aspecto es como se publica, en el caso de que se haga. En Andalucía los arqueólogos deben publicar el resultado de sus intervenciones en el Anuario Arqueológico de Andalucía, pero es una práctica bastante extendida que la

publicación de cualquier estudio que el arqueólogo considera “complementario”, como los estudios geológicos o prospecciones geofísicas, estén resumidos en un apéndice dentro del trabajo general, sin aparecer en el título; generalmente tampoco aparecen como firmantes los autores de estos trabajos “complementarios”, lo que hace más difícil el rastreo de las investigaciones realizadas. Los trabajos publicados no son necesariamente en revistas de Arqueología, hay trabajos que se publican en libros–homenaje, que generalmente tienen poca difusión, otros son llevados a los congresos hispano–portugueses de Geodesia y Geofísica, que generalmente no son consultados por los arqueólogos, finalmente algunos van a revistas internacionales sin relación con la Arqueología o Antropología como el *Journal of Applied Geophysics*, *Geophysical prospecting*, *Geophysica*, etc.

Con estos antecedentes resulta muy aventurado cuantificar las intervenciones geofísicas en yacimientos arqueológicos andaluces. En cualquier caso, Brito–Schimmel y Carreras (2005) en su estudio sobre la aplicación de métodos geofísicos en Arqueología en España hacen una estimación basada en un rastreo bibliográfico entre 1980 y 2003 y sitúan a Andalucía en el primer puesto en número de intervenciones (41), duplicando en número a la siguiente comunidad, Cataluña. Lo autores indican que el hecho es debido en parte a la política de la Junta de Andalucía, que favorece los proyectos arqueológicos que combinan la prospección con la excavación. Otra causa podría ser la gran extensión de la comunidad y el consiguiente elevado número de yacimientos arqueológicos, pero el caso es que hay regiones igualmente extensas donde las intervenciones geofísicas en arqueología son anecdóticas.

Alguna influencia debe tener el hecho de que en universidades andaluzas se lleva impartiendo desde los años noventa del pasado siglo la geofísica aplicada a la Arqueología, sea como complemento de otras asignaturas (Arqueología de Campo, Arqueología del Territorio, Arqueometría), o como asignatura diferenciada. Concretamente en el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada hace más de quince años que se explica la Geofísica Aplicada a la Arqueología, incluyendo prácticas con instrumentos, como asignatura diferenciada en cursos de doctorado y posteriormente como asignatura optativa de master. Se podría estimar que al menos mil egresados con formación arqueológica formados en Andalucía han tenido contacto directo con estos métodos.

### **3. Revisión de los diferentes métodos, fundamentos, empleo en Arqueología, cómo han evolucionado a en el tiempo y actuaciones en Andalucía**

Los métodos de prospección geofísica pueden clasificarse de muchas maneras, una clasificación bastante extendida es la que se propone a continuación.

Métodos pasivos. Son aquellos que no introducen ninguna perturbación en el terreno.

Prospección gravimétrica, basada en las diferencias del campo gravitatorio local.

Prospección magnética, basada en las diferencias del campo magnético local.

Métodos activos. Miden la respuesta a una perturbación introducida en el terreno.

Prospección eléctrica, introducen una corriente continua en el terreno.

Prospección sísmica, producen una perturbación elástica.

Prospección radar, introducen trenes de pulsos de radiofrecuencia.

#### **3.1 Gravimetría**

El método consiste en la comparación de los datos de la aceleración terrestre medidos con un gravímetro en una rejilla de puntos sobre el terreno y los valores teóricos que corresponden a esos mismos puntos. Los datos adquiridos en el campo han de sufrir una larga serie de minuciosas correcciones para ser comparados con los valores teóricos, y la diferencia entre ambos se plasma en mapas de anomalías gravimétricas, que permiten hacer deducciones sobre excesos o déficits de masas en el subsuelo. Una de los principales usos de la prospección gravimétrica es para la detección de cavidades.

En este método la adquisición de datos es tremendamente exigente y muy consumidora de tiempo. El control topográfico–altimétrico ha de ser muy fino, la rejilla de puntos de lectura ha de ser proporcionada al tamaño del objeto

buscado, y el procesado de datos es muy exigente y laborioso. Por otro lado los gravímetros útiles en Arqueología han de ser extremadamente sensibles, hasta el microgal, de ahí que a este método de prospección se le denomine con frecuencia microgravimetría. Los avances de los últimos años han estado ligados fundamentalmente al procesado de los datos.

Debido a todos los antecedentes indicados son pocos los estudios de microgravimetría, la mayoría de los realizados son para detección de cavidades y no llegan a 10 los orientados a fines arqueológicos.

### 3.2 Prospección magnética

El método magnético mide el campo magnético local en una malla de puntos extendida sobre una superficie; normalmente realizando medidas a lo largo de perfiles paralelos. En teoría, si el terreno es homogéneo, el mapa que se origine al representar los valores medidos y corregidos no tendrá anomalías, si las tiene deben achacarse a heterogeneidades en el subsuelo. Las anomalías que se miden son de dos tipos: unas más débiles se deben a magnetismo inducido, provocado por la respuesta de los materiales soterrados al campo magnético excitador (el campo magnético terrestre), y otras más fuertes debidas a magnetismo remanente, magnetismo “permanente” que presentan algunos materiales con independencia del campo excitador actual, por ejemplo los hornos.

Su principal utilidad en prospección arqueológica es que permite reconocer grandes extensiones en un tiempo breve, se puede prospectar media *ha* por jornada de trabajo (algunos autores afirman que incluso varias *ha*), lo que permite obtener una primera visión del terreno subyacente en un tiempo–costo muy razonable. Por otro lado el procesado de los datos no es excesivamente complejo, con lo que se pueden tener unos resultados previos al poco de finalizar la adquisición de datos.

El método es un tanto “miope”; por ejemplo, la anomalía producida por un muro de medio metro de ancho, un metro de alto, enterrado a medio metro de profundidad, tiene cuatro metros de anchura, y además, en nuestras latitudes es de forma bipolar. Así los mapas de anomalías que se originan, en la mayoría de los casos son poco expresivos, de modo que si hay unos cuantos muros separados entre sí pequeñas distancias la anomalía que se origina es el resultado de la suma de las anomalías producidas por cada muro, lo que a veces origina una mancha informe. Únicamente si los cuerpos productores de las anomalías están convenientemente separados se obtienen mapas “vistosos”.

El método es muy sensible a la contaminación férrica, lo que lo hace inaplicable en las proximidades de las cercas metálicas que rodean muchos yacimientos. Si el yacimiento ha sido parcialmente excavado se detectarán las decenas de clavos que se dejan como referencias temporales o perennes. Hay veces que si no se ha excavado y está en riesgo de expolio, es frecuente que se proteja sembrándolo de virutas férricas, con lo que se consigue confundir a los detectores de metales de los clandestinos, pero también anularlo para una investigación mediante prospección magnética.

Los avances principales se han producido en la mejora de la instrumentación. En pocos años los magnetómetros de protones de los noventa han quedado obsoletos debido a su lentitud de toma de datos, tardan varios segundos en realizar una lectura y no tiene sentido dedicar un día de trabajo frente a los nuevos magnetómetros que resuelven lo mismo en una hora. Su papel ha sido asumido parcialmente por los magnetómetros de efecto Overhauser, con sensibilidad equivalente y mayor velocidad de lectura.

Los nuevos magnetómetros de *flux gate* tienen una sensibilidad más que aceptable y sus configuraciones multi-sensor y velocidades de muestreo le permiten una productividad notable; por otro lado los magnetómetros de vapor alcalino llegan a sensibilidades del orden del picotesla, lo que unido a sus altas velocidades de adquisición les permite actuar en grandes extensiones con anomalías muy débiles.

En Andalucía se han hecho numerosas prospecciones magnéticas con magnetómetros de protones a lo largo de los años 90 del pasado siglo, posteriormente se han realizado prospecciones mucho más extensas con magnetómetros de *flux-gate*, a cargo fundamentalmente, de grupos británicos y alemanes. El resto de las actuaciones corresponde a prospecciones con magnetómetros de vapor alcalino, concretamente nuestro grupo usa una pareja de sensores de vapor de potasio (Fig. 1).

Es frecuente que se combine la prospección magnética con otros métodos de prospección geofísica, concretamente con la prospección rádar en modalidad 3D sobre una fracción de la superficie prospectada con magnética, de este modo se consigue una valiosa información para interpretar el mapa de anomalías magnéticas y un buen detalle en los lugares donde aparecen las anomalías magnéticas más interesantes.

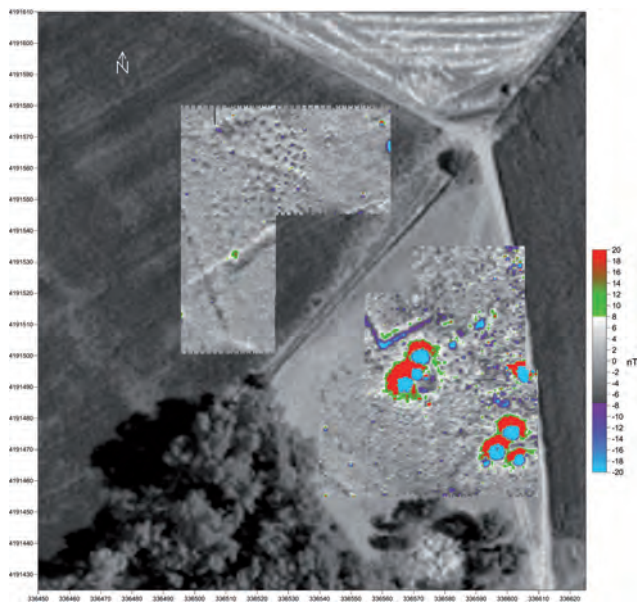


Fig. 1. Mapa de anomalías magnéticas sobre ortofotografía correspondiente al yacimiento romano del Cortijo de Quintos, cerca del aeropuerto de Córdoba. Los círculos coloreados corresponden a hornos romanos; mejor conservados los de la parte sur, como mostró la prospección rádar complementaria y la siguiente excavación arqueológica. La anomalía angular en violeta corresponde a una zanja. Las anomalías del sector noroeste corresponden a antiguas lindes (Peña et al. 2008)

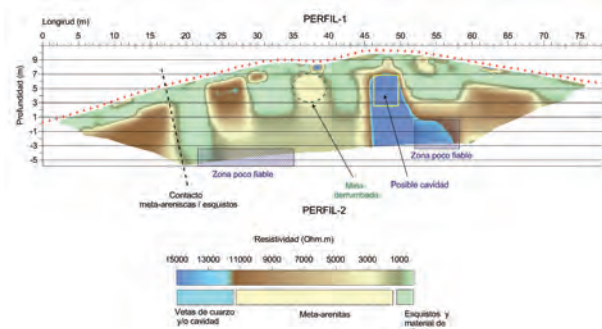


Fig. 2. Ejemplo de tomografía eléctrica para localización de cavidades originadas por labores mineras prehistóricas. Se usó un dispositivo asimétrico con una longitud total de 80 m y 1 m de distancia interelectrónica mínima. (Peña et al. 2005).

### 3.3 Prospección eléctrica

Existen bastantes métodos de prospección eléctrica, los más conocidos y aplicados en Arqueología se basan en la inyección en el terreno de una corriente continua mediante un par de electrodos y en la medición de la diferencia de potencial generada en otros dos electrodos cercanos a los anteriores. Se obtienen de este modo lecturas de pseudo-resistividad a lo largo de un perfil, a profundidad constante (calicatas eléctricas) o a varias profundidades (métodos de tomografía). Otra opción es la de elaborar mapas de pseudo-resistividad a base realizar calicatas paralelas bastante próximas hasta cubrir una superficie.

La pseudo-resistividad es un parámetro que está ligado a la naturaleza y estado de los materiales y mediante los apropiados programas de inversión es posible obtener modelos con la distribución de resistividades “reales” bastante coherentes con la disposición de los materiales del subsuelo. Su principal utilidad es la inspección del terreno hasta profundidades superiores a las que se pueden obtener con el radar de alta frecuencia usado habitualmente en arqueología. También es un método aplicable en lugares abruptos o donde no se puede tocar la vegetación para facilitar el paso de las antenas georradar. Es un buen método para usar en terrenos muy conductores donde el radar apenas penetra y en cualquier caso como método complementario para contextualizar los resultados obtenidos por otros procedimientos. Al ser un método antiguo (se ha usado desde la primera mitad del siglo XX) y con un instrumental relativamente barato del que incluso se pueden fabricar versiones caseras, se ha aplicado a todo tipo de yacimientos arqueológicos al aire libre y también en cuevas; es muy útil, por ejemplo para calcular el espesor del relleno en una cavidad.

La implantación de los electrodos y el proceso de medición requieren un tiempo considerable. Los estudios 3D no están plenamente desarrollados. Los mayores avances se han producido en los equipos, se ha pasado de los resistivímetros muy sencillos usados en los años ochenta y noventa, a sistemas multicables con varias decenas de electrodos y conmutadores automáticos que permiten la realización de cientos de lecturas en pocas horas o en una fracción de ese tiempo para los sistemas multicables. Por otra parte hay disponibilidad de excelentes programas de procesado, tanto comerciales como desarrollados por instituciones públicas.

Como en todos los casos anteriores resulta difícil rastrear los trabajos realizados, se tiene constancia de que se han aplicado métodos eléctricos en la Hoya de la Alcazaba (Almería), Niebla, Baelo Claudia, Necrópolis de Carmona, El Barronal (Almería), Mina de Doña Eva (Jaén), Cueva de Nerja, Dólmenes de Antequera, Cerro de Gibralfaro (Málaga), etc. (Fig. 2).

### 3.4. Prospección sísmica

Es un método que permite extraer información del interior del terreno haciendo pasar por él ondas elásticas. Las ondas elásticas se generan con un martillo, un explosivo de baja energía o un dispositivo vibrador; se reciben en unos sensores situados sobre el terreno, llamados geófonos, y se almacenan en un dispositivo de registro que se denomina

sismógrafo. La deformación elástica producida por el golpe del martillo genera numerosas ondas (P, S, superficiales) que se desplazan por el terreno perdiendo energía en su recorrido y sufriendo reflexiones, refracciones y difracciones.

Uno de los métodos sísmicos usa únicamente la primera onda que llega a cada geófono (onda directa y onda P refractada crítica), permite obtener la imagen del campo de velocidades en el interior del terreno, se le ha denominado tradicionalmente “sísmica de refracción”, aunque actualmente se usa una variante con más cobertura de rayos a la que se denomina “tomografía sísmica de primeras llegadas”. La otra variante más usada de la prospección sísmica usa las ondas reflejadas y se denomina “sísmica de reflexión” con las peculiaridades de la alta resolución (nos interesan profundidades pequeñas) que obliga a un procesado frecuentemente más complejo que el usado en sísmica petrolera. Existen otra serie de dispositivos que se emplean de manera ocasional, entre ellos la “refracción CMP” que permite una alta resolución capaz de proporcionar datos de interés incluso sobre pequeñas estructuras.

En Arqueología se usa la tomografía sísmica de primeras llegadas para evaluación del potencial arqueológico de cuevas; combinada con tomografía eléctrica, la tomografía sísmica de primeras llegadas es una potente herramienta de exploración del subsuelo hasta una decena de metros con muy buena resolución. Se han hecho estudios para localización de cavidades mediante disparos en arco o mediante la técnica de *offset* común; algunos dispositivos de tomografía permiten una evaluación del grado de conservación de la roca en grandes estructuras, lo que proporciona datos útiles para la restauración.

Como contrapartida, los instrumentos de prospección sísmica son onerosos, la aplicación de los métodos sísmicos requieren un despliegue logístico de cierta importancia, y la adquisición de datos, sobre todo en reflexión, es laboriosa. Por otro lado el procesado en sísmica de reflexión es complejo y requiere una alta especialización, además el mejor *software* de procesado es tremendamente caro. Los avances más llamativos en sísmica de alta resolución se han producido en modalidades de operación y en programas, la tomografía sísmica de primeras llegadas ha supuesto un notable avance sobre la tradicional sísmica de refracción, y la refracción CMP ha abierto nuevas posibilidades de aplicación en Arqueología.

En Andalucía, hasta donde nosotros sabemos, los únicos estudios que se han hecho de prospección sísmica en Arqueología son los que ha realizado nuestro grupo de trabajo: una prospección combinada en Millares (Reflexión, tomografía de primeras llegadas, refracción CMP y tomografía), otra combinada de tomografía eléctrica y de primeras llegadas en Carmona, y otra con la misma combinación de métodos en la Cueva de Nerja (Fig. 3).

### 3.5 Rádar de subsuelo

El radar de subsuelo (georradar, GPR) es un método electromagnético de prospección. Se emite, con una antena adecuada, una onda de radiofrecuencia pulsada, hacia el interior del subsuelo; los pulsos se transmiten hasta encontrar una capa con diferente valor de un parámetro denominado “constante dieléctrica del terreno”, entonces parte de la energía es reflejada y recogida en superficie, permitiendo calcular la profundidad del contacto. Las frecuencias de trabajo van desde GHz para alcanzar profundidades decimétricas, hasta la decena de MHz, con las que se pueden alcanzar profundidades de hasta 50 m en terrenos normales. Naturalmente a mayor profundidad alcanzada menor resolución y viceversa. En Arqueología las antenas más usadas tienen frecuencias de 300 a 900 MHz, adecuadas para alcanzar profundidades de 0.5 m hasta 4 m.

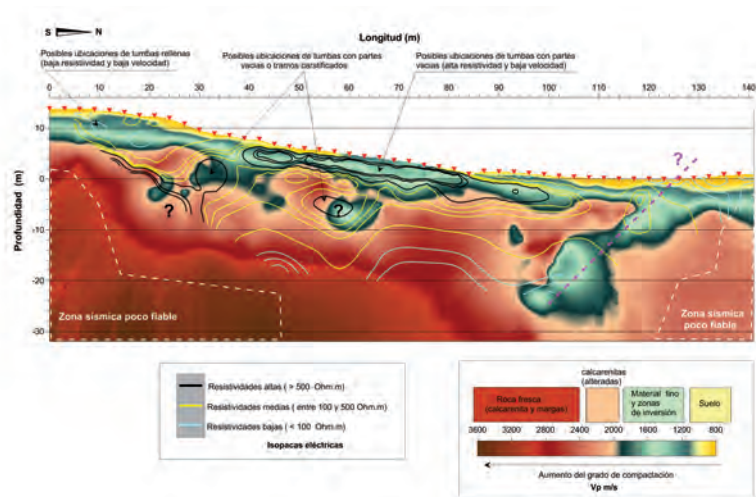


Fig. 3. Ejemplo de prospección geofísica combinada entre tomografía eléctrica y tomografía sísmica de primeras llegadas, realizada en la Necrópolis de Carmona. La combinación de ambos métodos permite resolver algunas de las ambigüedades que cada uno de ellos presenta por separado (Peña et al. 2006)

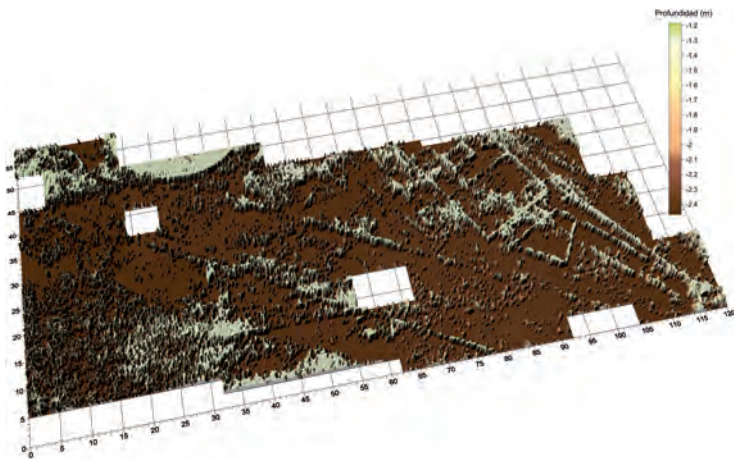


Fig. 4. Ejemplo de aplicación del radar de subsuelo a un caso de Arqueología Urbana, corresponde a una "superficie alabeada" de la antigua Estación de Cádiz, en Sevilla. Esta técnica de representación ha sido desarrollada por nuestro grupo y la imagen es similar a la que se obtendría si se excavase por niveles naturales. Todas las distancias están en metros. (Peña et al, 2008).

El sistema normal de trabajo es mediante perfiles que se obtienen tomando muestras (trazas) a muy corta distancia unas de otras (entre 2 y 5 cm), lo que da al perfil una apariencia de continuidad. En arqueología es muy usual realizar perfiles paralelos separados entre sí distancias de 25 a 50 cm, y la interpolación de los perfiles vecinos crea un volumen de datos que convenientemente procesado, permite la elaboración de diversas imágenes 3D: "rebanadas de tiempo" asimilables a lo que se observa al excavar por niveles artificiales, "superficies alabeadas" que guardan semejanza con lo que cabe esperar al excavar por niveles naturales y "volúmenes" obtenidos al transparentar lo que envuelve a las estructuras, etc. (Fig. 4).

Este método puede aplicarse a cualquier yacimiento arqueológico en el que exista un contraste en el valor de la constante dieléctrica entre las estructuras y el material envolvente, siempre que el relieve lo permita y siempre que el subsuelo no sea demasiado conductor. El hecho de

que se mencione de vez en cuando el georrádar en los medios de comunicación ha hecho de él un método "conocido" y muchos piensan que es una panacea capaz de resolver cualquier cosa, lo que dista bastante de ser cierto. En la mayoría de los casos las señales que se adquieren son bastante ruidosas y deben ser procesadas cuidadosamente para que resalten las reflexiones de interés, este procesado multiseñal es bastante similar al procesado *post-stack* de la sísmica de reflexión, pero no todo el mundo sabe aplicar los procedimientos adecuados.

El abaratamiento de los equipos y su demanda está haciendo que alguna gente use este método como un utensilio un poco más avanzado que el detector de metales; y dado que no se exige una cualificación especial realizar prospecciones geofísicas, proliferan los osados y están empezando a circular trabajos con calidades inferiores a las deseables.

El avance en los últimos años ha sido considerable, los nuevos equipos son más robustos y con la integración del odómetro se conseguido pasar de la realización de tediosos perfiles con disparos cada 30 cm a estudios 3D de extensas superficies. Como en casos anteriores, existe la dificultad de disponer de información sobre la mayoría de los trabajos; a modo de ejemplo nuestro grupo ha realizado unas 25 intervenciones en los últimos 5 años en Andalucía (casi 40 si añadimos las dedicadas a la localización de fosas comunes), que no enumeramos por no hacer aun más aburrida esta lectura.

#### 4. El futuro

Es muy difícil hacer predicciones sobre el futuro de la Geofísica aplicada a la Arqueología, aunque los principios físicos están establecidos desde hace mucho tiempo, no dejan de producirse mejoras en los equipos, en los programas y en los procedimientos de trabajo, y por otro lado los precios son cada vez más asequibles.

Se observa una continua evolución de los equipos, fundamentalmente en aumento de la velocidad de adquisición y de procesado, concretamente en magnética los *arrays* de sensores que permiten explorar de una sola pasada bandas de hasta 3 metros de anchura; en eléctrica los equipos multicanal son capaces de realizar la adquisición en menos tiempo del que se tarda en implantar los electrodos; en radar hay equipos multi-antena capaces de escanear una banda de 2 m de anchura con velocidades de varios km/h y salida en modo 3D en tiempo real (TerraVision GSSI). En sísmica se están creando nuevos equipos de alta resolución basados en los sistemas sísmicos distribuidos con enlace telemétrico, usados en la sísmica profunda.

Los métodos geofísicos se aplicarán más si son más conocidos, a ello debe contribuir el que la mayor parte de las publicaciones especializadas estén migrando al formato electrónico, lo que debe asegurar una mayor difusión de los resultados. También es de prever que la geofísica aplicada a la arqueología sea parte del currículum de la mayor parte de los futuros arqueólogos.

No obstante, se observan algunas tendencias negativas, concretamente el abaratamiento de los equipos ha provocado que algunos grupos los hayan adquirido junto con “programas automáticos que lo hacen todo”, y se hayan lanzado a la aventura de crear empresas o establecerse como autónomos, con viabilidad dudosa. De modo que se ven abocados a afrontar cualquier intervención a cualquier precio, para intentar mantener su actividad; lo que está redundando en una bajada de la calidad de muchos trabajos y en un aumento de la desconfianza hacia la Geofísica de alta resolución; similar a la que se produjo en los años ochenta y noventa con la Geofísica aplicada a la Hidrogeología.

## Referencias

- ASPINALL, A., GAFFNEY, C. y SCHMIDT, A. (2008): *Magnetometry for Archaeologists*, Altamira Press, Plymouth.
- BRITO-SCHIMMEL, P. y CARRERAS, C. (2005): “Aplicación de Métodos Geofísicos en Arqueología: una recopilación sobre el actual estado de la cuestión en España”, *Scientific Heritage*, 0(1), pp. 1–20.
- BENJUMEA, B., TEIXIDÓ, T. y PEÑA, J. A. (2001): “Application of the CMP refraction method to an archaeological study (Los Millares, Almería, Spain)”, *Journal of Applied Geophysics*, 46, pp. 77–84.
- ESQUIVEL, J. A. y PEÑA, J. A. (1996): “Avance al estudio espacial estadístico de datos geofísicos. Aplicación a la Arqueología”, *Homenaje en honor al Profesor Fernando de Miguel*, Universidad de Granada, Granada, pp.197–206.
- ESQUIVEL, J. A., PEÑA, J. A. y BENJUMEA, B. (1997): “Spatial statistical analysis applied to magnetometric archaeological data”, *Archeologia e Calcolatori*, 8, pp. 55–65.
- PEÑA, J. A. y ESQUIVEL, J. A. (1995): El bricolage geoelectrico: un recurso de bajo coste en la prospección arqueológica del subsuelo, *Trabajos de Prehistoria*, 52(1), pp. 147–156.
- PEÑA, J. A. y ESQUIVEL, J. A. (1996): Desarrollo de una aplicación para tratamiento de datos procedentes de prospecciones magnéticas, *Homenaje en honor al Profesor Fernando de Miguel*, Universidad de Granada, Granada, pp. 571–578.
- PEÑA, J. A., ESQUIVEL, J. A., CARRION, F. y ALONSO, J.M. (1996): Prospección geoelectrica en el yacimiento arqueológico de la Edad del Cobre de El Barronal (Cabo de Gata-Níjar, Almería), *Tabona*, V–IX, pp. 413–422.
- PEÑA, J. A. y TEIXIDÓ, T. (2005): *Tomografía eléctrica en la “Mina de Doña Eva”*, Informe para el proyecto “Una historia de la Tierra: la minería en Jaén”, Granada.
- PEÑA, J. A., TEIXIDÓ, T. (2006): *Prospección Geofísica en la Necrópolis de Carmona*, Informe para el Conjunto Arqueológico de Carmona.
- PEÑA, J. A., ÁVILA CASASOLA, F. J., DELGADO TORRES, M. y TEIXIDÓ, T. (2006): Prospección Geofísica mediante radar del subsuelo en la Villa Romana de Fuente Álamo, *Anuario Arqueológico de Andalucía 2003*, I, Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 392–396.
- PEÑA, J. A., ESQUIVEL, J. A., RODRIGUEZ-ARIZA, M. O. y BENJUMEA, B. (1996): Establecimiento de los parámetros operacionales óptimos para prospección magnética de estructuras arqueológicas, *Trabajos de Prehistoria*, 53(2), pp. 119–129.
- PEÑA, J. A., TEIXIDÓ, T., CARMONA, E. y ORFILA, M. (2007): “Prospecciones geofísicas en los hornos romanos de La Cartuja (Granada), un ejemplo para obtener información a priori”, *Arqueología y Territorio* 4, pp. 217–232.
- PEÑA, J. A., TEIXIDÓ, T., CARMONA, E., y SIERRA, M. (2008): Prospección magnética y radar 3D como métodos para obtener información a priori en la planificación de una excavación arqueológica. Caso de estudio: Yacimiento del Cortijo de Quintos (Córdoba, España), Comunicación a la 6ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, Tomar (Portugal) 11 al 14 de febrero de 2008.
- PEÑA, J. A., TEIXIDÓ, T., CARMONA, E., y GUIADO, F. (2008): *Consultoría y Asistencia Técnica de Prospección Geofísica mediante Radar de Subsuelo modalidad 3D*, Juan de Mata Carriazo s/n, Sevilla. Informe para la Dirección General de Patrimonio, de la Consejería de Economía y Hacienda, de la Junta de Andalucía.
- PEÑA, J. A., TEIXIDÓ, T., CARMONA, E., ABAD, L., SALA, F., y MORATALLA, J. (2008): Prospección magnética y radar del subsuelo (3d) en el poblado ibérico de La Escuera (San Fulgencio, Alicante), *Actas VII Congreso Ibérico de Arqueometría*, CSIC, Madrid, pp. 568–575.
- PEÑA, J. A. y TEIXIDÓ, T. (2009): Análisis geofísico de los Dólmenes de Antequera. Libro: *Dólmenes de Antequera. Tutela y valoración hoy*. (Ruiz González, B. ed.), Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 164–179.

### Recursos web sobre métodos y estudios geofísicos

<http://www.geophysical.com/>

<http://www.gemsys.ca/>

<http://www.geometrics.com/>

<http://www.abem.se/>

<http://www.ugr.es/~geofisic/>