

Aplicacions de les tecnologies de la informació i la comunicació en arqueologia: la prospecció geofísica

Cèsar Carreras Monfort
(ccarreras@campus.uoc.es)

[2. Logística](#) | [3. Selecció de tècniques de prospecció](#) | [4. Interpretació dels resultats](#) | [5. Conclusions](#)

Introducció

Una de les primeres disciplines humanístiques que va incorporar les tecnologies de la informació va ser precisament l'arqueologia, que fa poc va celebrar el 25 aniversari dels Congressos Internacionals sobre el tema (Computer Applications in Archaeology, Birmingham 1972-1997). Hi ha hagut diversos camps d'aplicació de programaris i maquinaris informàtics en arqueologia, però potser un dels més autòctons o genuïns de l'especialitat és la prospecció geofísica, i sobretot en el fa al seu tractament digital en els darrers 20 anys.



Prospecció de Puente Tablas
(TERRA NOVA Ltd.)

La prospecció geofísica és una disciplina auxiliar de l'arqueologia, amb més de [50 anys d'història](#), la qual permet detectar restes d'estructures constructives enterrades o d'altres manifestacions antròpiques en el subsòl, abans d'iniciar una excavació. Així doncs, la prospecció geofísica inclou una sèrie de tècniques arqueològiques no-destructives que basant-se en les diferències entre les propietats físiques dels materials constructius i dels sòls que els envolten, proporcionen una mena de radiografia de les restes arqueològiques enterrades. És, concretament, el contrast entre les propietats geofísiques d'estructures constructives i sòls el que facilita uns bons resultats en una prospecció, en el cas que aquest contrast sigui mínim o no existís, hi haurien poques possibilitats d'identificar cap resta. Per tant, cada àrea o regió té unes [condicions especials](#) que poden o no permetre una bona prospecció, el reconeixement previ del terreny és una necessitat fonamental per planejar adequadament el treball de camp i preveure problemes i els possibles resultats.

La majoria de tècniques geofísiques només faciliten informació de les restes enterrades que es troben a una profunditat màxima de 1,5-2 metres, a excepció del radar que dona informació de restes a més fondària, si bé la tècnica té les seves pròpies dificultats. D'altra condicionant de les prospeccions és que els canvis de propietats geofísiques dels sòls depenen de l'estació de l'any, ja que es veuen afectades pel grau d'humitat i l'estructura del propi sòl. En principi, les prospeccions geofísiques en els països mediterranis es realitzen en els mesos de tardor i primavera després de les primeres pluges, quan els sòls conserven certa humitat sense estar saturats d'aigua.

Cada tècnica de prospecció (resistivitat elèctrica, magnetometria, radar, fosfats...) detecta un tipus concret d'anomalia geofísica, que pot no coincidir amb les altres tècniques; per tant, una bona prospecció geofísica hauria de combinar més d'una d'aquestes tècniques complementàries. D'altra banda cada tipus d'estructura arqueològica té la seva pròpia "**signatura**" (Carreras i Jordan, 1999), o sigui que una sèrie de propietats detectables amb més o menys intensitat per diverses tècniques, i és precisament l'experiència del prospector la que determinarà la identificació d'un resultat particular de la prospecció a una estructura concreta.

Una de les grans avantatges de les prospeccions geofísiques és

que permeten avaluar el potencial d'un jaciment abans de començar una excavació, amb el consegüent estalvi de diners i temps, a més a més d'ajudar a planificar la posterior intervenció, ja que al iniciar l'excavació es disposa d'una planta ben acurada de l'urbanisme de l'assentament.

Si en els països del nostre entorn ja existeix una gran tradició en la utilització d'aquests mètodes, a casa nostra no hi ha quasi equips de prospectors, i la majoria provenen de geologia, amb objectius molt diferents, la qual cosa limita la seva comprensió de la problemàtica arqueològica concreta. Fora bo que la pròpia especialitat desenvolupés els seus grups especialitzats interdisciplinaris d'arqueòlegs i geòlegs, que les Universitats formessin els especialistes dins dels seus Plans d'Estudis i que les Administracions fossin més receptives a l'aplicació d'aquestes tècniques. Tot això són reptes que resten assolir en els propers anys, el primer d'ells és, sens dubte, la difusió d'aquestes [aplicacions geofísiques](#).



Propector en acció



Aplicacions de les tecnologies de la informació
i la comunicació en arqueologia: la prospecció geofísica

[1. Introducció](#) | [3. Selecció de tècniques de prospecció](#) | [4. Interpretació dels resultats](#) | [5. Conclusions](#)

2. Logística

Tots els mètodes de prospecció geofísica fan servir una logística similar, que es fonamenta en la delimitació d'una quadrícula de la zona a prospectar amb un mòdul mínim d'un quadre estàndard de 30 metres de costat. Així doncs la primera tasca consisteix en topografiar tot el terreny i posar marques dels quadres a prospectar, si la quadrícula està ben referenciada es poden combinar les informacions procedents de la fotografia aèria o imatges de satèl·lit (Scollard et alii, 1990).



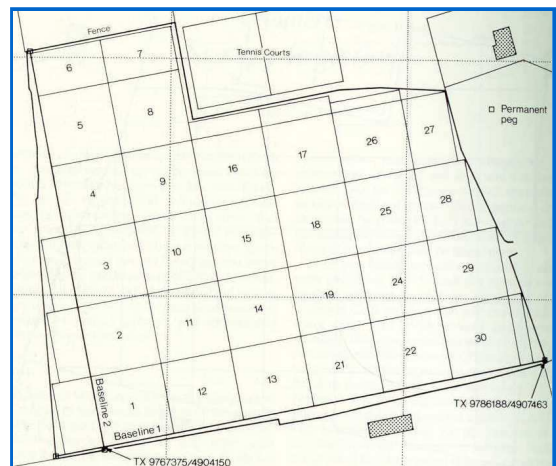
Prospecció d'Itàlica (Sevilla) (TERRA NOVA Ltd.)

Aquests quadres estan subdividits a la vegada en 30 línies i 30 columnes, per tal de prendre una lectura a cada metre dins del quadre, o sigui un total de 900 lectures. En alguns casos, el nombre de lectures es pot augmentar i fer-les cada mig metre o quart de metre, si bé el procediment més comú es obtenir una lectura cada metre.

A l'hora d'orientar la quadrícula, és important que els cantons dels quadres no siguin mai paral·lels o perpendiculars a l'[orientació urbanística](#) dels murs del jaciment a prospectar, perquè pot haver-hi el risc de què algun dels murs es trobi entre dos punts consecutius de lectura, i per tant no quedi la seva constància a cap de les lectures. Per evitar això només cal desviar l'orientació un mínim de 7 graus respecte als murs.

Els aparells que es fan servir a les prospeccions estan dissenyats per registrar un número de lectures per quadre (900 és el que apareix per defecte), que un cop acabada la prospecció s'abocaran a un ordinador després de senyalar els oportuns punts de referència absoluta. El tipus de dades obtingudes són de caràcter geogràfic, o sigui una coordenada definida per la línia (x) i columna (y), i el valor de la lectura (z).

Els aparells que es fan servir a les prospeccions estan dissenyats per registrar un número de lectures per quadre (900 és el que apareix per defecte), que un cop



Orientació ideal d'una quadrícula (Clark, 1996)

Aquestes dades numèriques s'han de visualitzar amb uns sistemes informàtics coneguts com [SIG](#), amb els quals es creen imatges en blanc i negre amb 256 gammes de grisos, que serviran per fer la interpretació final. L'avantatge d'aquests sistemes informàtics és que permeten combinar els mapes obtinguts per cadascuna de les prospeccions per tal de crear un mapa resum amb totes les diferents anomalies geofísiques. Aquesta combinació d'informació, en forma de mapa, que prové de diverses fonts serveix per definir la "**signatura**" de les estructures arqueològiques enterrades. Tanmateix, els SIG permeten combinar amb les dades geofísiques els resultats de les fotografies aèries i les [imatges de teledetecció](#).

Si no existiran aquests sistemes informàtics i la possibilitat de combinar dades de diversos mapes, només podríem interpretar el resultat d'una tècnica geofísica. És precisament la millora de la tecnologia digital la que ha permès un salt qualitatiu important d'aquesta ciència auxiliar de l'arqueologia.



Aplicacions de les tecnologies de la informació
i la comunicació en arqueologia: la prospecció geofísica

[1. Introducció](#) | [2. Logística](#) | [4. Interpretació dels resultats](#) | [5. Conclusions](#)

3. Selecció de tècniques de prospecció

Existeixen diverses tècniques de prospecció geofísica com són la resistivitat elèctrica, magnetometria, resistivitat electromagnètica, radar o fosfats. Cadascuna d'elles proporciona unes dades concretes sobre els sòls i [qualsevol anomalia](#), arqueològica o no, que es trobi en el subsòl. Tal com es deia al principi, es recomana fer servir el màxim de tècniques possibles en una àrea, ja que cadascuna d'elles proporciona una informació complementària. Al tractar-se d'una tècnica desconeguda per molts arqueòlegs i el gran públic, s'han produït alguns mals usos de la prospecció geofísica en els darrers anys, provocant una certa polèmica. Per això, els organismes nacionals corresponents han definit un [codi de conducta](#) pels prospectors per tal d'evitar qualsevol picaresca que es produeixi al seu voltant. Les més exteses actualment són la resistivitat elèctrica, magnetometria i radar, i de les quals parlem a continuació en més detall.



Resistividad en Madinat Azahara (Córdoba) (TERRA NOVA Ltd.)

Resistivitat elèctrica

La resistència elèctrica del sòl depèn de la seva composició i el seu grau d'humitat, per tant una estructura arqueològica, com pot ser un mur, representa una intrusió a nivell de composició en aquest sòl amb una humitat diferent que hauria de generar una variació en la resistència. El principi és molt bàsic, un sòl poc compacte té tendència a mantenir més la humitat i per tant, facilita la conductivitat elèctrica ja que l'aigua és molt bona conductora. Quan un sòl està molt compactat, per exemple un camí o un terra de cabana, hi ha escassa humitat i es genera una major resistència.

Així doncs, un mur de pedra acostuma a provocar una major resistència a la conducció de corrent entre dos elèctrodes, i en canvi un fossar proporciona una resistència menor perquè la terra que el reomple està menys compactada i reté més la humitat. La interpretació de les dades proporcionades per la resistivitat s'han de fer segons el [criteris del prospector](#), que per experiència pot identificar-les millor.

Per realitzar una prospecció elèctrica cal crear un sistema de quatre elèctrodes, dos d'ells serveixen per què passi una corrent alterna, mentre els altres dos detecten els canvis locals de resistència. Existeixen nombroses formes de combinar els quatre elèctrodes (Clark, 1996, 38, fig.27), encara que un dels sistemes més simples en el treball de camp és el conegut com "elèctrode bessó" (twin

electrode), en el qual un parell d'elèctrodes remots queden fixes fora de la quadrícula, mentre que els dos mòbils serveixen per fer les mesures a cadascun dels punts de la quadrícula abans definida.

El prospector porta una estructura de fusta que finalitza en dues puntes de metall que fan de elèctrodes mòbils, en la part superior de l'estructura es troba un [resistòmetre lleuger](#) que proporciona un petit voltatge per mesurar les resistències en els diversos punts de lectura, que es van emmagatzemant en el seu ordinador a mida que es realitza la prospecció. Els dos elèctrodes mòbils es troben generalment en aquesta estructura de fusta a una distància de 0,5 metres, per tant fan una lectura de la resistència a 1,5 metres de profunditat.

La tasca del prospector serà configurar un menú indicant al resistòmetre quin serà l'ordre en què es fan les lectures, i després passar per cadascun dels punts de la quadrícula mentre s'introdueixen els dos elèctrodes mòbils el més profund possible. Totes les dificultats de la prospecció es troben en la composició del sòl, el relleu del terreny i la vegetació. Algunes de les prospeccions resulten força exigents pel prospector, com la de Baelo Claudia realitzada per D. Jordan, que tenia zones amb nombrosos blocs de pedra que dificultaven les lectures. Les dades d'aquesta part no tenen qualitat suficient per proporcionar una interpretació acurada pels propis condicionaments del terreny.

Per contra hi ha d'altres jaciments amb condicions ideals per la prospecció elèctrica com han estat el cas d'Itàlica, Empúries, Madinat Azahara i Puente Tablas. En tots aquests casos ha coincidit que la humitat i la composició dels sòls, així com la manca de vegetació i de relleu ha proporcionat unes condicions ideals pel treball de camp. No sempre això és possible, la qual cosa condiciona fortament els resultats, i cal que el prospector ho expliqui abans d'iniciar el seu treball.

Magnetometria

La majoria de material ceràmic i sobretot els objectes de metall tenen un major magnetisme que els sòls dels voltants, per això qualsevol mur de maons, tuberies, forns o abocadors farcits de ceràmica són fàcilment detectables amb aquesta tècnica coneguda com a magnetometria. La magnetometria també consisteix en prendre dues lectures en cada un dels punts de la prospecció, que es substraïxen entre sí per donar el resultat final. Per detectar les diferències en el magnetisme d'aquests materials respecte a l'entorn depèn fonamentalment de què aquest entorn, o sigui els sòls dels voltants, tingui un magnetisme escàs.

Al contrari que la resistivitat, una prospecció magnètica o magnetometria és molt ràpida ja que les lectures es realitzen amb un temporitzador incorporat al aparell conegut com magnetòmetre, que va prenent lectures a mida que el prospector camina al llarg de la quadrícula. En aquest cas és molt important que el prospector porti sempre un mateix ritme de pas per tal que l'aparell faci una lectura precisa en el punt corresponent de lectura. D'altra secret d'una bona magnetometria és que no es produeixi cap oscil·lació de l'aparell mentre es realitza la prospecció, sinó es registren variacions [magnètiques importants](#).



Magnetometria de Madinat Azahara (Córdoba)
(TERRA NOVA Ltd.)

Normalment es prenen lectures cada 0,25 metres dins de les fileres i el prospector té temps de recuperar-se a final de cada línia. Així doncs, és una tècnica molt exigent per la persona encarregada de la prospecció que hauria de ser un arqueòleg amb experiència en aquesta tècnica. Un dels aparells més utilitzats és el [Geoscan FM18](#) que pot arribar a enregistrar 6 lectures per segon, i té una precisió de 0,1 nanoTesla (nT). S'ha demostrat que la prospecció magnètica pot detectar anomalies arqueològiques molt petites, de només 1 nT, que d'altres tipus de prospecció, com la resistivitat, no reconeixien. L'alta densitat de lectures que proporciona la magnetometria permet una imatge més acurada de qualsevol resta antròpica que contingui el [subsòl d'un jaciment](#).

Radar

Una de les tècniques que ha evolucionat més en els darrers anys és el radar (ground penetrating radar – GPR), que es fonamenta en l'emissió de senyals electromagnètiques en el subsòl que són reflexades en un determinat temps. La reflexió d'aquestes senyals són enregistrades pel GPR, i segons el temps de resposta i intensitat pot identificar el tipus d'anomalia. Així doncs, l'aparell recull el temps en què aquestes ones electromagnètiques retornen i també la seva intensitat, d'acord amb una coordenada específica, i a partir d'aquestes dades interpreta l'existència de qualsevol possible anomalia arqueològica.

Com a gran avantatge d'aquesta tècnica és que permet obtenir dades a més de 2 metres de profunditat, fins i tot a 10 metres, per tant és ideal per jaciments amb una estratigrafia àmplia pel fet de donar informació sobre les distintes [fases estructurals](#). També resulta extraordinàriament útil en prospeccions urbanes com a la ciutat de York, en què d'altres tècniques acostumen a tenir interferències.

Un altre gran avantatge del GPR és la possibilitat de distingir diverses anomalies en la mateixa coordenada, però en diferents profunditats. Això és molt útil quan es tracta de jaciments amb múltiples períodes d'ocupació, com és el cas de [Wroxeter](#) que s'ha treballat de forma exemplar o les

cambres subterrànies de la ciutat de Sepphoris (Israel) (Batey, 1987).

L'únic gran inconvenient del GPR ha estat fins ara la complexitat de l'anàlisi de resultats que procedien de diverses profunditats i que requerien un filtrat previ a la seva interpretació. D'altres inconvenients són la transmissió lateral de les ones electromagnètiques i les seves reflexions múltiples, que poden indicar possibles anomalies a on no hi ha, perquè de fet procedeixen de punts adjacents. Com qualsevol tècnica novedosa està millorant en els darrers anys, i per tenir una valoració objectiva dels seus punts forts i febles és recomanable la lectura de Atkin i Milligan (1992).



Aplicacions de les tecnologies de la informació
i la comunicació en arqueologia: la prospecció geofísica

[1. Introducció](#) | [2. Logística](#) | [3. Selecció de tècniques de prospecció](#) | [5. Conclusions](#)

4. Interpretació de resultats

A mida que es realitza qualsevol prospecció i s'acaben dos o tres dels quadres, els resultats registrats en l'aparell corresponent (resistòmetre, magnetòmetre...) es van abocant a un [ordinador portàtil](#) per veure les dades obtingudes. Resulta indispensable fer aquests estudis previs dels resultats per poder fer les variacions oportunes durant el moment de la prospecció (p.e. canvi de voltatge, distància dels elèctrodes...), més tard es fa la interpretació arqueològica de les dades.

La majoria de prospectors parteixen de la seva pròpia experiència en la interpretació dels resultats, en principi es considera que només té rellevància arqueològica totes aquelles anomalies que apareixien en les imatges originals, aquelles que encara no han patit cap tractament informàtic. Quan aquests anomalies tenen una pauta regular de distribució resulten fàcils d'interpretar com serien els murs d'edificis, carrers, sitges, enterraments, forns etc...



Resistivitat a Baelo Claudia (Cadis)
(TERRA NOVA Ltd.)

A cops la interpretació resulta molt complicada degut a la seva manca de coherència, malgrat que s'hagin detectat valors positius en la prospecció. Les causes més comuns d'aquesta dificultat en la interpretació són:

- la complexitat d'un jaciment, que té més d'una ocupació i per tant les estructures han patit nombroses modificacions al llarg del temps, sense mantenir la seva distribució original.
- gran concentració de les anomalies que proporcionen senyals amorfes, per tant d'impossible interpretació.
- les restes enterrades estan incompletes per accions posteriors de caràcter natural (erosions, processos postdeposicionals...) i humana (reutilització de carreus...)
- la complexitat de les anomalies s'afegeix al marge d'error de l'instrument, fent que les senyals febles de restes arqueològiques no siguin detectades.

Ja s'ha esmentat que els resultats de la prospecció requereixen un tractament informàtic, que és de fet el que pot filtrar tots aquests sorolls i anomalies que fan difícil la interpretació.

Un cop s'han detectat els eixos fonamentals d'una estructura arqueològica enterrada s'han de fer servir un tractament informàtic de les imatges per millorar la resolució d'aquells parts en què hi ha un menor contrast entre les anomalies i els sòls de l'entorn. Fent ús dels SIG es poden reclassificar els valors, canviar màxims i mínims o utilitzar filtres que milloren els contrastos o els disminueixen, i tot això es realitza al conjunt de l'àrea prospectada o bé només a aquelles zones que presenten més dificultats en la interpretació .

Per això es fan servir SIG, uns sistemes informàtics amb una sèrie de funcions ja implementades que permeten detectar els errors en les lectures (p.e. inversió de la lectura de la fila, valor fora del límit...) i corregir-los immediatament.

El segon pas consisteix en veure els histogrames de les corresponents quadrícules i reclassificar els valors per tal d'observar el major contrast possible, sense distorsionar la imatge. Un bon prospector sap que les imatges originals de les prospeccions ja han de mostrar clarament anomalies, i que el treball amb el SIG només ha de servir per destacar-les. Es tan fàcil el tractament de la imatge, que sense vigilar la imatge original un pot crear un resultats completament imaginari. Per això, la regla fonamental es tenir sempre com a referència la primera imatge de la prospecció.

El tercer pas per millorar la resolució de la imatge final és fer servir els filtres típics d'imatge com pot ser el de la mitja, mitjana, Gaugassian i Gaugassian invertit. Tots els filtres matisen la imatge, més que provocar contrastos gaire bruscos.

Una altra aspecte important en el tractament informàtic de les prospeccions és la juxtaposició dels resultats obtinguts a partir de diverses tècniques complementàries. Els mapes individuals de cadascuna de les prospeccions es poden combinar al disposar de una sèrie de lectures per cada punt, amb aquests valors individuals es pot fer qualsevol operació matemàtica (sumar, multiplicar etc...). Al tractar-se de mapes en format raster, cada coordenada (columna, fila) té un valor el qual s'identifica a través del color de la paleta (generalment paletes de grisos). Si dos mapes tenen les mateixes coordenades i el mateix nombre de columnes i fileres com serien els resultants d'una resistivitat i una magnetometria, es poden combinar. El mapa resultant sorgirà del valor obtingut de l'operació matemàtica que combinava els valors dels mapes per cadascuna de les coordenades (filera – columna).



Interpretació de la prospecció d'Empúries
(TERRA NOVA Ltd.)

Això és molt útil quan una tècnica detecta restes que l'altra no pot, per exemple un mur de calcària no es registra en una magnetometria però proporciona una gran anomalia en una resistivitat. La combinació d'ambos mapes conforma una imatge nítida de totes les anomalies arqueològiques detectables per aquestes tècniques.

Com a resultat final d'una bona prospecció s'ha de generar una imatge explícita que recollí totes les anomalies que ha proporcionat un subsòl i que constituiria una primera radiografia del jaciment. Clark (1996) insisteix que gran part de l'èxit d'una prospecció està en la presentació final d'aquests resultats, i per tant l'aspecte gràfic és summament important.

>Hi ha tres formes de representar les anomalies arqueològiques en una imatge:

- Traces: que representarien les anomalies amb corbes positives o negatives en una imatge 3D
- Densitat de punts: concentració de punts en les coordenades amb anomalies positives i baixa densitat en el lloc d'anomalies negatives
- Colors: paletes de colors o grisos que proporcionarien els diversos valors de les lectures. Sempre és recomanable fer servir les paletes de grisos ja que són més clares.

La tercera forma de representació resulta, a simple vista, més clara per la interpretació, si bé les altres també són molt útils. El English Heritage ha dut a terme una gran quantitat de prospeccions geofísiques a les Illes Britàniques a la darrera dècada, els resultats definitius d'aquells treballs de camp són ara accessibles a través d'Internet a la següent adreça: <http://www.eng-h.gov.uk/reports>.

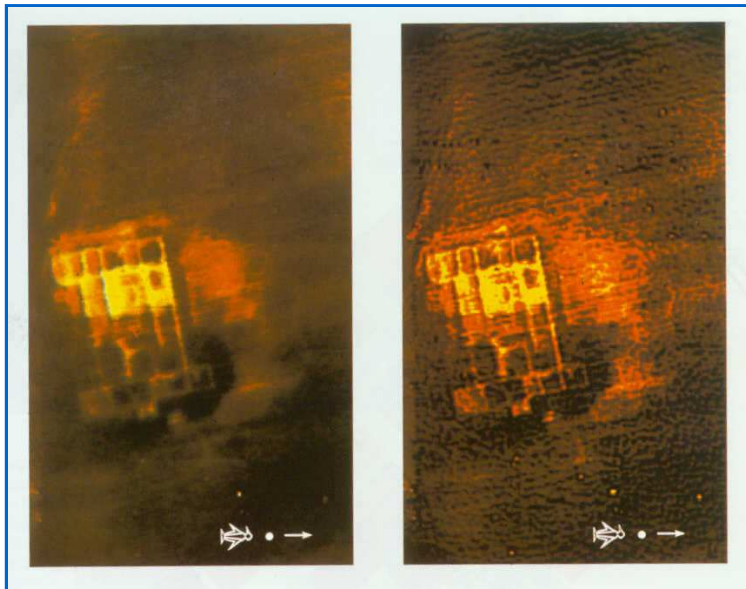


Aplicacions de les tecnologies de la informació
i la comunicació en arqueologia: la prospecció geofísica

[1. Introducció](#) | [2. Logística](#) | [3. Selecció de tècniques de prospecció](#) | [4. Interpretació dels resultats](#)

5. Conclusions

En el present article s'ha volgut donar una imatge general del què representa la prospecció geofísica com una de les tècniques modernes arqueològiques que permet detectar estructures enterrades, i que gràcies al desenvolupament informàtic proporciona uns resultats summament interessants.



Prospecció geofísica de la vil·la romana
d'Ependorf (Baden-Württemberg)

Abans de començar qualsevol obra d'infraestructura (carretera, gasoductes, vies...) cal que les àrees, per on aquesta ha de transcorre, siguin prospectades. En l'actualitat aquest treball es fa a peu previ a l'entrada de les màquines excavadores o durant la intervenció d'aquestes, lo qual provoca nombroses destrosses del patrimoni per errors del quals molts cops no es pot culpar a les persones. Per això, les tècniques geofísiques combinades amb fotografia aèria, teledetecció i la prospecció a peu poden ser una alternativa per preveure restes arqueològiques en els recorreguts de les grans vies. El seu ús a la llarga suposa un estalvi de temps i diners, i una forma més racional d'administrar el patrimoni històric i arqueològic.

proporcionen una radiografia de les estructures enterrades, la qual cosa facilita moltes de les decisions del director de l'excavació abans de començar.

A més a més, les tècniques geofísiques són ideals per organitzar qualsevol excavació programada ja que, com s'ha indicat,

Tot i aquesta sèrie d'avantatges, les tècniques geofísiques en el nostre país encara estan molt lluny d'assolir un reconeixement per part de les administracions i el món acadèmic, senzillament pel seu desconeixement de les característiques de les tècniques. Esperem que l'esforç de la gent que les realitza, malgrat els inconvenients, serveixi perquè algún dia se'ls hi concedeixi el valor que mereixen.

