

# Metodologia de treball i resultats preliminars de la prospecció geofísica multisistema realitzada a l'illa d'en Reixac (Ullastret, Baix Empordà)

Ferran Codina, \* Ekhine Garcia-Garcia, \*\* Aurora Martin, \* Gabriel de Prado, \* Roger Sala\*\* i Robert Tamba\*\*

## 1 Introducció

Entre els dies 21 i 25 de maig de 2012 es va celebrar a la seu d'Ullastret del Museu d'Arqueologia de Catalunya el 1st MAC International Workshop of Archaeological Geophysics (Fig. 1), un taller orientat a la formació de geofísics i arqueòlegs en les principals tècniques de prospecció geofísica aplicables a l'arqueologia: georadar, elèctrica, magnètica i electromagnètica.

Les sessions teòriques es van celebrar a les instal·lacions del museu (Fig. 2) i el treball de camp associat es va desenvolupar al poblat ibèric de l'illa d'en Reixac (Ullastret), i va consistir en l'adquisició de dades en alta resolució amb sistemes de prospecció a gran escala (Fig. 3).

Tant les sessions teòriques com les pràctiques varen ser impartides per arqueòlegs i per alguns dels millors especialistes en prospecció geofísica aplicada a l'arqueologia. A les sessions, distribuïdes al llarg de cinc dies, varen participar Albert Casas (Universitat de Barcelona), Ferran Codina (Museu d'Arqueologia de



Figura 1. Flyer promocional del 1st MAC International Workshop of Archaeological Geophysics

\* Museu d'Arqueologia de Catalunya - Ullastret

\*\* SOT Prospecció Arqueològica

Catalunya), Michel Dabas (Geocarta, França), Ekhine Garcia (SOT Prospecció), Dean Goodman (GAL, USA), Aurora Martin (Museu d'Arqueologia de Catalunya), Cornelius Meyer (Eastern Atlas, Alemanya), Gianfranco Morelli (Geostudi Astier, Itàlia), Alexandre Novo (Geostudi Astier, Itàlia), Gabriel de Prado (Museu d'Arqueologia de Catalunya), Jordi Principal (Museu d'Arqueologia de Catalunya), Roger Sala (SOT Prospecció), Armin Schmidt (GeoDataWIZ, UK), Philippe de Smedt (Ghent University, Bèlgica) i Robert Tamba (SOT Prospecció).



**Figura 2.** *Detall d'una sessió teòrica impartida a les instal·lacions del Museu d'Arqueologia de Catalunya-Ullastret*



**Figura 3.** *Imatge aèria del jaciment de l'Illa d'en Reixac (Ullastret, Baix Empordà) durant els treballs de prospecció geofísica*

## 2 Metodologia de treball

### 2.1. Objectius

L'aplicació de diverses tècniques de prospecció a l'Illa d'en Reixac va ser un dels eixos del

curs, amb què es van completar les informacions teòriques rebudes. D'una banda, es va voler que els participants tinguessin un contacte amb els sistemes més emprats en geofísica arqueològica, però també que poguessin participar en una excavació. Dividits en di-

versos grups, cadascú va poder participar en cada un dels diversos sistemes de prospecció disponibles i en l'excavació d'un sondeig arqueològic obert a l'inici del curs. La zona del sondeig va ser prospectada mitjançant diferents sistemes abans de l'inici del curs amb l'objectiu d'obtenir una comparativa directa entre els resultats geofísics i els d'excavació. Paral·lelament, es van mostrar alguns dels

sistemes d'adquisició específics per a grans extensions amb les explicacions corresponents dels especialistes que els fan servir habitualment. La finalitat última de les prospeccions realitzades a l'Illa d'en Reixac, a banda de la formació pràctica, era la d'adquirir dades suficients per comparar el resultat de cada sistema i així aprofundir en els aspectes d'interpretació arqueològica (Fig. 4).

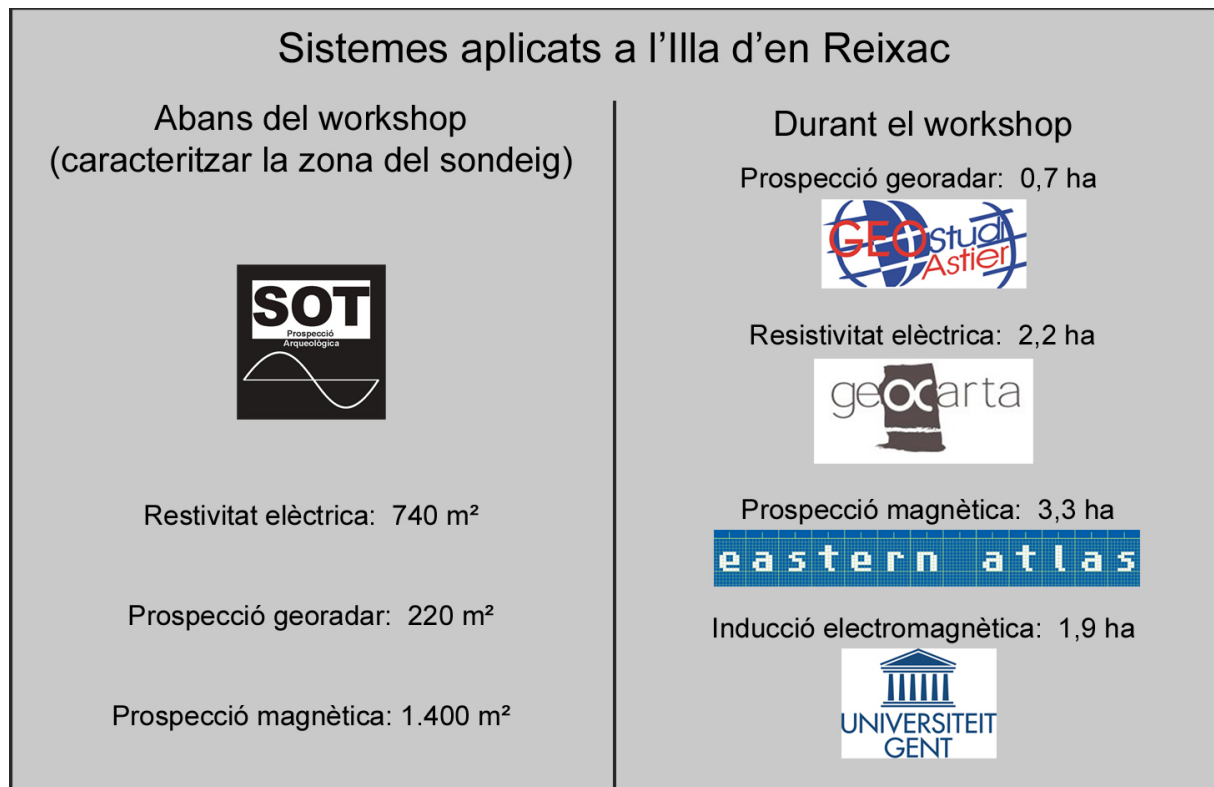


Figura 4. Taula resum dels sistemes de prospecció geofísica aplicats a l'Illa d'en Reixac

## 2.2. La prospecció geofísica a l'Illa d'en Reixac

Com ja és conegut, la prospecció geofísica és un conjunt de tècniques no destructives que serveixen per obtenir informació de zones no accessibles sense intervenir-hi directament. Es tracta de mesurar, des de la superfície, diferents propietats fisicoquímiques del subsòl per generar mapes que descriguin la seva composició. Les mesures s'ubiquen en l'espai, ja sigui utilitzant una malla d'adquisició o, més recent-

ment, amb sistemes de posicionament d'alta precisió (GPS).

La capacitat de detecció d'una estructura depèn del contrast entre aquesta i el seu entorn, és a dir, depèn de si el valor de la propietat mesurada difereix en l'estructura o no. Evidentment el contrast depèn de la propietat que estem mesurant; per això un element fàcilment identificable amb una tècnica pot ser invisible amb una altra. S'ha de tenir en compte que diferents elements poden tenir un contrast similar en la mesura d'una propietat concreta, però tenir resultats

ben diferents si es mesura una altra propietat. Així doncs, la prospecció d'una mateixa zona amb més d'un sistema aporta la possibilitat de contrastar els resultats i obtenir una informació molt més completa i fiable. A l'Illa d'en Reixac es van aplicar quatre tècniques que s'expliquen breument a continuació.

### **La prospecció georadar**

El georadar és un sistema de prospecció geofísica basat en l'emissió de pulsions electromagnètiques al subsòl i la mesura, durant un temps preestablert, de les reflexions que tornen a la superfície. Això és possible perquè cada cop que l'ona emesa troba un canvi en les propietats electromagnètiques del subsòl, una part de l'energia és reflectida, mentre que una altra continua viatjant fins que tota l'energia s'esgota. La mesura de les ones que han tornat dona informació de les irregularitats que hi ha al subsòl. Com que el temps de recorregut de l'ona és més llarg com més profunda és la reflexió, s'obté una mesura indirecta de la profunditat de les possibles estructures.

Un sistema informàtic genera aquestes pulsions i les emet a través d'una antena, que també en capta les reflexions i les ubica ordenadament en el sentit de progressió del sistema i en el temps. El resultat d'aquesta operació són els radagrames, que expressen en l'eix horitzontal el desplaçament de l'antena de georadar sobre el terreny i en l'eix vertical el temps (equivalent a la profunditat), de manera que se n'obté una visualització equivalent a un perfil o secció de l'àrea explorada.

Per tal d'obtenir una visualització més similar a les planimetries que es realitzen durant els treballs d'excavació, s'aplica la tècnica del *time-slice*. Es basa a integrar tots els perfils adquirits en un sol bloc 3D de dades, del qual es poden extreure visualitzacions en plantes horitzontals o en seccions.

### **Aplicació a l'Illa d'en Reixac**

Alexandre Novo i Gianfranco Morelli, de l'empresa italiana Geostudi Astier, van aplicar el sistema de georadar STREAM X del fabricant IDS. Es tracta d'un sistema de quinze antenes de georadar amb una freqüència central de 200 MHz, amb 12 cm de separació entre

cadascuna. D'aquesta manera, en cada passada es cobreixen 1,68 m d'amplada i s'obté una resolució molt elevada. El sistema es remolca amb un vehicle com ara un quad o un tot terreny. El posicionament de les dades es fa mitjançant un GPS que va unit al *software* de navegació Snail'Nav, que permet veure en temps real l'àrea ja coberta (Fig. 5).

Amb aquesta metodologia es van cobrir 0,7 ha de la part central de l'Illa d'en Reixac amb una resolució de 12 cm × 6 cm. A causa del contingut argilós del subsòl i de les pluges que van caure els dies anteriors a l'adquisició de dades, la penetració obtinguda va ser força baixa. Tot i així, es van poder detectar estructures constructives coincidents amb les detectades pels altres sistemes i es va poder comprovar que els coronaments de les estructures en aquesta àrea es troben a una profunditat de 40 cm respecte a la superfície del terreny.



**Figura 5.** Sistema STREAM-X durant l'adquisició de dades a l'Illa d'en Reixac

### **La prospecció elèctrica**

En aquest cas la propietat física que s'utilitza per descriure el subsòl és la resistivitat elèctrica, es a dir, la capacitat del subsòl per oposar-se a un corrent elèctric. Aquesta propietat depèn de la quantitat de material conductor que contingui el subsòl i, en conseqüència, és molt sensible al contingut d'argila i d'aigua en el terreny.

La tècnica consisteix a injectar corrent elèctric al subsòl i mesurar la diferència de potencial elèctric que es crea als punts d'una quadrícula. Per a això s'utilitzen quatre elèctrodes que es claven al subsòl, dos per injectar el corrent i dos més per mesurar la resposta del subsòl.

Per tal de poder injectar el corrent correctament és necessari que no hi hagi gaire resistència de contacte entre els elèctrodes i el sòl. La distància entre elèctrodes determina el volum de terreny afectat pel corrent, de manera que si s'augmenta aquesta distància també augmenta la profunditat d'exploració, per bé que es redueix, però, la resolució espacial. És per això que la utilització de diferents distàncies dóna una resposta diferent que s'associa a una profunditat d'investigació diferent i informa de la fondària a la qual es troben les estructures.

A l'Illa d'en Reixac es pot esperar que les estructures constructives de pedra generin un contrast per ser més resistives que l'entorn argilós. Això depèn, però, de la conductivitat de les argiles, que augmenta amb la humitat. Al mateix temps, la resistència de contacte dels elèctrodes augmenta en situacions en què la capa superficial és molt seca, i introdueix soroll en les dades.

#### *Aplicació a l'Illa d'en Reixac*

Michel Dabas, de l'empresa francesa Geocarta, va aportar el sistema ARP, dissenyat per ells mateixos. Es tracta d'un sistema amb elèctrodes rotatius que permet una adquisició ràpida de dades a una alta resolució. Aquest sistema porta una configuració trapezoïdal dels elèctrodes, amb tres parells d'elèctrodes de mesura posats a distàncies creixents. D'aquesta manera, en cada passada s'obtenen tres grups de dades corresponents a profunditats d'investigació creixent, que es poden comparar per entendre la disposició vertical de les estructures. El sistema es remolca amb un vehicle com ara un quad o un tot terreny. El posicionament de les dades es fa mitjançant un GPS que va unit al *software* de navegació Snail'Nav (Fig. 6).

Amb aquesta metodologia es van cobrir 2,2 ha de l'Illa d'en Reixac amb passades distàncies d'1 m aproximadament. Malauradament, en el moment d'adquisició de dades el terreny era molt sec i, en conseqüència, no eren les millors condicions. Tot i així, els resultats mostren moltes anomalies que permeten deduir l'estructura urbana de l'assentament. La comparació de les imatges obtingudes amb les tres profunditats d'investigació permet concloure que, mentre que a la part central de l'Illa



**Figura 6.** El sistema ARP® durant l'adquisició de dades a l'Illa d'en Reixac

d'en Reixac les restes constructives es troben a menys de 0,5 m de la superfície, els coronaments sembla que són més profunds a mesura que es troben més cap al nord-oest.

#### **La prospecció magnètica**

El mètode magnètic consisteix a mesurar les variacions del camp magnètic terrestre a escala local. Aquesta variació es crea per l'efecte dels minerals magnètics que componen els materials del subsòl, que actuen com a petits imants. El camp magnètic produït per aquests minerals s'afegeix al camp magnètic terrestre "global", i produeix variacions identificables. Després d'un calibratge del sistema en una zona no alterada del jaciment, les estructures que contenen menys minerals magnètics que la resta de l'entorn (o amb una menor coherència en l'orientació d'aquests) apareixen com a anomalies de contrast negatiu i viceversa. Cal tenir en compte que a causa de la naturalesa del camp magnètic, en què els pols positiu/negatiu de l'imant són inseparables, totes les anomalies magnètiques presenten una part positiva i una altra de negativa, encara que provinguin d'un sol objecte.

Així doncs, les estructures constructives de pedra tendeixen a ser menys magnètiques que l'entorn argilós, la qual cosa permet detectar-les amb aquest mètode. Les sitges i les rases, en canvi, tendeixen a provocar un contrast positiu si han estat amortitzades amb sediments superficials. D'altra banda, aquesta tècnica es especialment indicada per a la detecció de forns, llars i zones de combustió en general. Això es deu al fet que la combustió provoca una sèrie de canvis físics i químics en els materials que transformen la traça magnètica dels objectes i provoca anomalies

magnètiques intenses. Finalment, els elements metàl·lics que contenen ferro funcionen com a imants permanents i provoquen anomalies intenses que ocupen una àrea notablement superior a la grandària de l'objecte i que poden amagar altres anomalies menys intenses. Per aquesta raó, és un sistema sensible a la contaminació magnètica típica de les zones urbanes; és per això que s'utilitza en entorns rurals o periurbans.

#### *Aplicació a l'Illa d'en Reixac*

Cornelius Meyer, Rudolf Kniess i Sandra Hauff, de l'empresa alemanya Eastern Atlas, van realitzar la prospecció magnètica amb el sistema LEA MAX desenvolupat pel seu equip. Es tracta d'un sistema modular que permet afegir un número variable de sensors en funció de les necessitats de cada jaciment. En el cas de l'Illa d'en Reixac es van utilitzar deu gradiòmetres del tipus *fluxgate* amb una llargada de 0,5 m i separats entre ells 0,5 m. D'aquesta manera, en cada passada es cobreix una amplada de 4,5 m amb una alta resolució. Aquest sistema es pot portar manualment i està dotat d'un posicionament doble mitjançant odòmetre i GPS, que li permet un posicionament més acurat en zones amb poca cobertura (Fig. 7).

Amb aquesta metodologia es van cobrir 3,4 ha, que representen dues terceres parts de la totalitat de l'àrea de l'Illa d'en Reixac, amb una resolució de 0,5 m × 0,25 m. Els resultats mostren que el contrast de les estructures constructives, així com dels espais de circulació, és molt accentuat, gràcies al qual s'ha pogut descriure la trama urbana de l'assentament. Per altra banda,



**Figura 7.** El sistema LEA MAX durant l'adquisició de dades a l'Illa d'en Reixac

s'han pogut descriure zones termoalterades o amb materials diferents i completar la informació morfològica de les estructures. De la mateixa manera que en els altres sistemes, es detecta un descens del contrast a la banda nord-oest, que s'interpreta com una major profunditat de les restes arqueològiques en aquesta àrea.

#### **La prospecció electromagnètica**

La prospecció electromagnètica es basa en l'emissió d'una ona electromagnètica de baixa freqüència al subsòl i en la mesura de la resposta generada en el volum de terreny afectat.

La tècnica consisteix a generar un camp electromagnètic mitjançant una bobina emissora (camp primari), que interactua amb les partícules conductores del subsòl generant corrents elèctrics induïts. Aquests, al seu torn, produeixen un camp magnètic (camp secundari) que pot ser mesurat des de la superfície mitjançant una altra bobina receptora. A més, les partícules magnètiques a terra es magnetitzen i, en conseqüència, la polarització magnètica també contribueix a les característiques del camp magnètic secundari. Això vol dir que amb aquesta tècnica es pot obtenir informació de dues lectures, tant de les propietats elèctriques com de les propietats magnètiques del subsòl.

Per deduir propietats elèctriques i magnètiques del volum de terreny afectat, es comparen les característiques dels camps magnètics primaris i secundaris. El volum de terreny afectat depèn de la distància entre les bobines emissora i transmissora, i és més gran quan més allunyades són aquestes entre si. A més a més, l'orientació relativa de les bobines també afecta la profunditat màxima d'exploració.

En cada prospecció s'obté com a resultat un mapa de la conductivitat elèctrica i un altre de la susceptibilitat magnètica, cosa que permet una comparació que pot facilitar la interpretació de les anomalies. A l'Illa d'en Reixac es pot esperar que les estructures constructives de pedra generin un contrast en ambdós paràmetres perquè són menys conductives que l'entorn argilós, i també presenten menys susceptibilitat magnètica. Per altra banda, les estructures que al llarg del temps han acumulat sediments superficials presenten un contrast de susceptibili-

tat magnètica, així com les zones amb acumulació de cendres. Per la seva banda, els metalls superficials també generen anomalies intenses que poden introduir soroll en les dades.

#### *Aplicació a l'Illa d'en Reixac*

Philippe de Smedt, del Departament de Gestió del Sòl de la Universitat de Gent (Bèlgica), va emprar el sistema Dualem-1S, amb dues configuracions de bobina, que permet dues prospeccions alhora. Una primera bobina receptora es col·loca a 1 m de la bobina emissora en una orientació horitzontal paral·lela (HCP). Una segona bobina receptora es col·loca a 1,1 m en la posició perpendicular (PRP). Pel que fa a la conductivitat elèctrica, amb la primera configuració s'obté una profunditat d'exploració màxima d'aproximadament 1,5 m, mentre que la segona proporciona una profunditat de penetració de 0,5 m. Per la susceptibilitat magnètica, la profunditat d'investigació és d'aproximadament 0,6 m per a la configuració PRP i 1 m per a la configuració HCP. De totes maneres, la mesura de la susceptibilitat amb els instruments EMI tenen una resposta de profunditat més complicada que fa que l'últim tingui menys fiabilitat.

El sistema es va remolcar amb un quad i l'àrea d'estudi es va cobrir amb perfils separats 1 m aproximadament (Fig. 8). El posicionament de les dades es féu mitjançant un GPS i s'utilitzaren sistemes visuals per tal de realitzar perfils paral·lels i estar segurs de no deixar espais sense lectura.

Amb aquesta metodologia es van cobrir 1,9 ha de l'Illa d'en Reixac. El contrast d'ambdós paràmetres va ser correcte i els mapes obtinguts mostren resultats complementaris, cosa que permet una interpretació creuada. Encara que les estructures constructives mostren un bon contrast en ambdós paràmetres, es descriuen millor en el mapa de conductivitat, en especial al sector nord-oest, on, a causa probablement de la fondària de les estructures, el contrast en susceptibilitat és molt feble. En canvi, els espais de circulació es descriuen millor amb el mapa de susceptibilitat magnètica. En aquest mapa també es visualitzen anomalies d'alta intensitat atribuïdes en alguns casos a espais amb acumulació de cendres.



**Figura 8.** El sistema Dualem 1S durant l'adquisició de dades a l'Illa d'en Reixac

### **3** Resultats preliminars

Durant el *workshop* es va implementar un Sistema d'Informació Geogràfica, on es van bolcar les dades obtingudes en cada sistema, i així es va facilitar una lectura creuada d'aquestes. A partir d'aquesta aplicació, s'ha iniciat el treball d'interpretació conjunta de les imatges obtingudes amb els diferents sistemes de prospecció. En una primera lectura es pot observar que l'assentament presenta una trama urbana densament ocupada, de tendència ortogonal, adaptada al relleu i amb un eix de circulació central, documentat arqueològicament de manera parcial a la banda sud durant les excavacions realitzades al llarg dels anys noranta del segle XX (Martin *et al.*, 1999). Aquest eix de circulació presenta una amplada constant de gairebé 4 m i a partir d'aquest sorgeixen tota una sèrie d'eixos transversals secundaris, d'amplada lleugerament menor, implantats de manera regular.

Pel que fa a la distribució i a la tipologia de les construccions detectades a partir de la prospecció geofísica, hi ha determinades zones amb habitatges unicel·lulars disposats en bateria que molt probablement constitueixen unitats domèstiques independents. Tots presenten una planta rectangular, amb l'entrada orientada al sud i, segurament, tenen un caràcter multifuncional.

D'altra banda, a la part central destaca un conjunt edilici que aparentment presenta unes dimensions superiors als mil metres quadrats, amb una tipologia arquitectònica i constructi-

va ben coneguda i definida als nuclis d'hàbitat d'Ullastret (Codina, Martin i de Prado, 2012, p. 76-81). Aquests complexos arquitectònics presenten espais multicompartimentats de grans dimensions, estructurats a l'entorn de grans patis, que utilitzen l'arquitectura porticada per crear elements de transició entre els patis i l'interior de les estances. També es detecta una tècnica constructiva més acurada que a la resta d'edificacions i, en alguns casos, un primer pis al qual s'accedeix a través d'escales construïdes amb grans blocs de pedra.

Com ja s'ha comentat anteriorment, totes les prospeccions realitzades indiquen que en algunes zones, sobretot al quadrant nord-oest, les estructures es troben a una fondària més pronunciada. A la part central, en canvi, aquestes es troben tan sols a 0,40 m respecte de la superfície. Aquest fet fou corroborat amb la realització d'un sondeig obert durant el *workshop*, amb el qual es va documentar la part superior de la muralla oest a 0,90 m de fondària i les estances adossades a 1,75 m. Així doncs, podem suposar que el nivell de circulació d'aquestes es pot situar entre 2-2,5 m de fondària respecte al nivell actual. Aquestes dades ajuden a tenir una visió més aproximada de la topografia antiga de l'Illa d'en Reixac, on hi hauria un desnivell considerable (10 m aproximadament) entre la part central i les zones marginals.

Així doncs, des del punt de vista arqueològic, el treball desenvolupat durant el *workshop* ha suposat l'adquisició de noves i valuoses dades relatives al poblat de l'Illa d'en Reixac, amb un avenç qualitatiu i quantitatiu en el coneixement (urbanístic i topogràfic) d'aquest important assentament d'època ibèrica vinculat indissociablement al Puig de Sant Andreu. El complex treball d'interpretació d'aquestes dades, encara en curs, ha estat objecte d'una presentació preliminar (Dabas *et al.*, 2013) i s'està realitzant conjuntament entre l'equip d'arqueòlegs i de geofísics participants en el projecte amb la voluntat de publicar una monografia que aplegui el resultat interpretatiu global d'aquests treballs.

## Bibliografia

- CLARK, A. (1996). *Seeing beneath the soil: Prospecting methods in archaeology, 2nd edition*. Bastford: London.
- English Heritage (2008). *Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation, 2nd editions*. Swindon: English Heritage.
- SALA, R.; GARCIA-GARCIA, E.; TAMPA, R. (2012). *Archaeological Geophysics - From Basics to New Perspectives*. In Ollich-Castanyer, Dr. Imma: *Archaeology, New Approaches in Theory and Techniques*. InTech; Available from: <http://www.intechopen.com/books/archaeology-new-approaches-in-theory-and-techniques/archaeological-geophysics-from-basics-to-new-perspectives>.
- CODINA, Ferran; MARTIN, Aurora; PRADO, Gabriel de (2012). "La recerca arqueològica al conjunt ibèric d'Ullastret en els darrers anys (1995-2010)". *Tribuna d'Arqueologia. 2010-2011*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura, p. 63-99.
- DABAS, Michel; SMEDT, Philippe de; GARCIA, Ekhine; GOODMAN, Dean; MEYER, Cornelius; MORELLI, Gianfranco; NOVO, Alexandre; PRADO, Gabriel de; SCHMIDT, Armin; TAMBA, Robert; CASAS, Albert; CODINA, Ferran; MARTIN, Aurora; PRINCIPAL, Jordi; SALA, Roger (2013). "1st MAC International workshop of archaeological geophysics". *10th International Conference on Archaeological Prospection* (Vienna May 29th – June 2nd 2013). International Society for Archaeological Prospection (ISAP) / Aerial Archaeology Research Group (AARG).
- MARTIN, Aurora; BUXÓ, Ramon; LÓPEZ, Joan; MATARÓ, Montserrat (dir.) (1999). *Excavacions arqueològiques a l'Illa d'en Reixac (1987-1992)*. Girona: Museu d'Arqueologia de Catalunya - Ullastret. (Monografies d'Ullastret; 1)