

Aplicació de l'anàlisi de camins de mínim cost (LCP) pel cas del pas de l'exèrcit d'Anníbal Barca durant l'etapa catalana-Pirenaica

Aina Muñoz Fernández¹



Rebut: 27/05/2020
Acceptat: 29/11/2020

Resum

Els Pirineus van ser la primera barrera orogràfica que Anníbal Barca i el seu contingent militar van haver de superar. Tot i haver-hi més d'un centenar d'investigacions sobre la ruta del general púnic de Cartago Nova a Roma, el seu pas pel territori català i els Pirineus resulta ser quasi un apèndix d'aquestes recerques. En aquest treball es presenta un estudi de la possible ruta de l'exèrcit púnic, emprant l'anàlisi dels camins de mínim cost amb les eines dels SIG, sent reforçat amb un estudi de les fonts clàssiques i les evidències arqueològiques relacionables.

Paraules clau: Segona Guerra Púnica; Pirineus; LCP; SIG; Anníbal; militar

Abstract. *Application of Least Cost Path analysis (LCP) for the case of the passage of Hannibal Barca's army during the Catalan-Pyrenean stage*

The Pyrenees were first barrier Hannibal Barca and his military contingent had to overcome. Despite having more than a hundred studies on the route of the Punic general from Cartago Nova to Rome, the pass through the Catalan territory and the Pyrenees was almost an appendix of that researches. This paper presents a study of the possible route of the Punic army, using the analysis of Least Cost Path with GIS, being reinforced by a study of the classical sources and archaeological evidence relatable.

Keywords: Second Punic War; Pyrenees; LCP; GIS; Hannibal; military

MUÑOZ FERNÁNDEZ, Aina. «Aplicació de l'anàlisi de camins de mínim cost (LCP) pel cas del pas de l'exèrcit d'Anníbal Barca durant l'etapa catalana-Pirenaica». *Treballs d'Arqueologia*, 2020, núm. 24, p. 185-209. DOI: 10.5565/rev/tda.122

1. Arqueòloga *freelance*. aina.munoz.fer@gmail.com

1. SIG al servei de l'arqueologia

Una crítica escoltada de forma comuna cap a la disciplina de l'arqueologia ve a dir una cosa semblant a què no només estudia realitats del passat, sinó que també s'ha estancat en el passat pel qual respecta a l'aplicació tecnològica en ella. Destacar però, que si ve no està establert de forma àmplia l'aplicació d'aquelles anomenades «noves tecnologies» a l'arqueologia, sí que des de fa dècades que es van plantejant projectes i estudis on aquest aspecte tecnològic pren notorietat.

Actualment, als graus d'Arqueologia impartits al nostre territori es troben formacions amb una vinculació tecnològica important. Es pot plantejar que les noves generacions d'arqueòlogues i arqueòlegs, ja en el seu moment embrionari, prenen consciència de les possibilitats de posar la tecnologia al servei de l'arqueologia, afegint aquesta necessitat de multidisciplinarietat que tant adverteixen els docents de la carrera.

Als plans d'estudis universitaris d'arqueologia es troben assignatures lligades a la ciència computacional, la biologia, la topografia, la geologia i la geografia. És de la relació de l'arqueologia amb aquesta última disciplina, que va sorgir la intenció del treball presentat en aquest article.

Si bé s'estableix que el context espacial és una condició *sine qua non* per qualsevol investigació arqueològica, l'estudi del territori es planteja com una necessitat. Les aportacions de la geografia cap a l'arqueologia ens obren nivells d'anàlisi que van més enllà del material històric.

Seguint aquesta línia, una de les eines que aporten més a l'arqueologia des de la geografia són el conjunt d'eines SIG (Sistemes d'Informació Geogràfica). Els SIG han estat defensats com una eina tècnica

que pot acomplir funcions en un ventall important de tasques compreses per l'arqueologia (Nunes i Badia, 2017). Es tenen presents en treballs arqueològics des de la dècada del 1980 als Estats Units (Bailey et al., 1985; Creamer, 1985; Ferguson, 1985; Gil i Howes, 1985; Kvamme, 1985) i Regne Unit (Harris i Dudley, 1984; Harris, 1985, 1986), fent el salt a Catalunya i Espanya una dècada després (Grandio, 1989; Barceló i Pallarés, 1996; Baena i Blasco, 1997; Martínez et. al., 1997; Baena et al., 1999).

Diverses han sigut les crítiques fetes cap als SIG per l'arqueologia, argumentant la manca de desenvolupament metodològic o l'actuació d'aquests en espais artificials deshumanitzats (Pickles, 1999). No s'ha d'oblidar, però, que aquestes eines estan destinades a la gestió i operació de dades espacials i no han de ser considerades com una metodologia d'anàlisi espacial, sinó la via per la qual aplicar anàlisis espacials (Nunes i Badia, 2017).

Els SIG han estat implementats en dues línies principals a favor de l'arqueologia: la gestió patrimonial i la investigació (Zamora, 2016). En aquesta segona línia, s'ha observat com la creativitat i la versatilitat de les eines i la seva aplicació ha permès poder desenvolupar projectes que, dins del marc teòric de l'arqueologia espacial, han generat coneixements enriquidors dintre de l'anàlisi territorial al servei d'aquesta disciplina.

Eines d'anàlisi territorial tan senzilles com la sobre posició de capes (*overlay*) o de més complexes com les àrees de captació, les conques visuals o l'anàlisi de rutes òptimes, han estat recursos emprats per estudis de patrons d'assentament (Baena i Blasco, 1997), organització del territori (Martínez et al., 1997), moviments territorials, entre molts d'altres motivacions i

objectes d'investigació per un gran ventall de cronologies i situacions espacials.

Tota aplicació aportada a una disciplina necessita descobrir les possibilitats i limitacions que planteja. Les eines SIG, com una aplicació més, són posades a prova a cada investigació que les utilitza. Aquest caràcter de versatilitat que mostren, permeten poder implementar-les a una gran varietat d'estudis, però, s'ha de procedir de forma crítica sobre l'elecció de quines eines SIG aplicar i amb quina metodologia.

Donada la joventut dels SIG a l'arqueologia, no deixa de ser interessant com amb els treballs realitzats amb ells, permet generar nou coneixement i plantejaments sobre la forma més òptima de relacionar-los.

El treball sobre el qual es basa aquest article, presenta aquesta motivació: la de prendre un cas concret d'una problemàtica històrico-arqueològica i plantejar quines eines SIG emprar i fer una revisió del comportament d'aquestes en relació amb l'objecte d'estudi plantejat.

2. Anníbal ad Catalonia i els SIG

Tota investigació comença per una pregunta. En aquesta ocasió, la primera qüestió que es va plantejar va ser la de com es podrien demostrar o desmentir les rutes i travesses que ens transmeten les fonts històriques, afegint que, aquestes rutes transmeses no siguin evidents al registre arqueològic. El cas d'estudi escollit per aquest treball va ser el conegut episodi del pas d'Anníbal Barca i el seu contingent

cartaginès per l'actual territori de Catalunya. Una travessa que recull més d'un centenar d'estudis (Santos, 1989) sobre ella, però sense arribar a un acord de ruta hegemònic.

La proposta del treball presentà una aplicació de les eines SIG per l'estudi d'aquest cas, creant la necessitat de meditar sobre quines de les tècniques SIG serien més apropiades, de quina forma s'havien d'utilitzar i quines dependències documentals tenia.

Es van establir tres pilars sobre els quals se sustenta la metodologia d'aquest treball. El primer pilar, i origen, són les fonts documentals. Els coneixements primers sobre la travessa d'Anníbal provenen de dues fonts clàssiques principals: les cròniques redactades per Polibi (200-118 a.n.e.): *Historiae*²; i Titus Livi (59 a.n.e. – 17 d.n.e.): *Ab Urbe Condita*. Seguidament, el segon pilar és l'arqueologia. Aquesta part, més que aportar dades directes del fenomen, allò que permet és ajudar a descartar i/o guiar les anàlisis que es realitzaven amb les eines de SIG.

Recordar que, com s'ha comentat a l'apartat anterior, una de les majors crítiques cap als SIG per l'arqueologia, és la seva deshumanització del context i les accions. És per aquesta raó que, mitjançant la materialitat arqueològica, es tenia la intenció d'aportar context humà, almenys a l'escenari on s'apliquen les anàlisis SIG.

Per últim, el tercer pilar i punt central d'aquest treball és l'aplicació dels SIG. Com que l'objecte d'estudi havia de resoldre en una o varies propostes de possibles rutes del general cartaginès, l'anàlisi

2. Destacar que el món acadèmic considera més fiable les informacions de la mà de Polibi, ja que es creu que tindria uns mètodes més rigorosos, prenent testimoni a personatges pròxims als fets com Gai Leli, segon de Publi Corneli Escipió l'Africà, i contrastants amb materials epigràfics (Domínguez, 2015).

territorial escollida com a millor candidata per aquesta tasca va ser la de rutes de mínim cost, mitjançant un model digital d'elevacions (MDE)³ de l'àmbit geogràfic escollit per l'estudi.

Es troben antecedents d'investigacions amb l'aplicació de la LCP (*least cost path analysis*) per casos de rutes històriques. Un gran exemple és el treball de l'*Université Gen* (Bèlgica), amb la seva investigació sobre rutes romanes que travessaven la *Civitas Menapiorum*, on posen a prova les capacitats de predicció de les anàlisis LCP (Verbrugge et al., 2017) per a casos on la presència arqueològica no mostra de forma clara la connexió entre els rastres de vies romanes trobades.

No s'ha realitzat cap estudi anterior que hagi emprat aquestes eines per a il·lustrar la problemàtica del pas d'Anníbal pel territori català i els Pirineus i, és per aquesta raó, que s'emfatitza el valor d'afegir aquesta perspectiva. Aquesta situació planteja un bon escenari per comprovar si aquestes eines poden obrir noves vies d'investigació de la causa, plantejant noves preguntes i analitzar paral·lelament les limitacions que presenten i proposar possibles solucions.

3. Aproximació als estudis previs i el relat clàssic

Com s'ha indicat, existeix una quantitat important de treballs en els quals s'han plantejat rutes pel territori català que po-

drien haver seguit l'exèrcit cartaginès. En molts es descarta l'opció d'una possible ruta per la costa (Bosch, 1965; Yanguas, 1989; Barceló, 2000), donada la gran influència romana als pobles ibèrics costaners dels *indiketes* (Santos, 1989; Barceló, 2000; Gimpera, 1965). Es planteja, doncs, una zona d'exclusió pròxima al litoral, seguint amb la idea que planteja Barceló en la que qualsevol moviment fet pel cartaginès, tindria una gran valoració estratègica (Barceló, 2000). Evitar atacar les colònies gregues, estaria motivat per intentar posicionar a aquestes a favor seu.

Respecte al primer obstacle a superar, el riu Ebre, l'investigador Santos planteja la proposta de la travessa del riu en tres columnes, tres punts de pas, com descriu l'autor clàssic Celio (Santos, 2000).⁴ Una idea més simplificada és la proposta de Noguera, indicant que l'exèrcit hauria creuat per un pas natural, com per exemple els meandres d'Ascó i Flix (Noguera, 2013).

Un cop superat l'Ebre, és necessari trobar guies per la continuació de les rutes, sent la zona interior, no costanera, la més defensada. Burillo no té confiança en les aportacions de Livi i no aprova el pas per la zona d'Osona (Burillo, 2001).⁵ Amb les mateixes raons, Broch indica que Livi s'estaria equivocant quan indica que la ruta hauria passat per la zona del Bages, i indica que Livi podria haver confós els lacetans amb els laietans (Broch, 2004).

Un altre punt de vista, plantejat per Rico, és prenent la idea de la divisió en

3. Aquest model digital d'elevacions (MDE), o model digital del terreny (MDT), és un arxiu cartogràfic que inclou informació sobre les cotes d'elevació del sòl, facilitant així la possibilitat de calcular el cost en temps, que comporta creuar una extensió de territori concreta (Maune, 2006).

4. Afegir que Titus Livi també menciona aquesta tàctica de creuament en tres columnes (Livi, 23, 1).

5. Al relat de Livi s'indica que els pobles amb els quals es creua són els *ilergets*, *bargusis*, *ausetans* i *lacetans* (Livi, 23, 1). Per una altra banda, Polibi menciona uns pobles més occidentals: *ilergets*, *bargusis*, *erinosis* i *andosins*, amb els que a de més, s'enfronta (Plb., 3, 35, 2-3).

tres columnes per travessar l'Ebre, mostrant que potser aquesta divisió s'hauria mantingut més enllà, fent que una de les columnes passés per la ruta més costanera (Rico, 1996). Aquesta idea també està confirmada per l'autor Theodore Dodge, qui va més enllà indicant que les tres columnes serien per dominar tot el territori català, i prendre ciutats com *Barkeno* i *Emporion* (Dodge, 1994).

No hi ha una opinió unànime pel que respecta a una, o varies, vies de pas pel territori català. La situació canvia quan es discuteix sobre la travessa dels Pirineus. Aquest obstacle geogràfic té una sèrie de passos òptims limitats: Coll dels Belitres, el Panissars i Pertús, el Coll d'Ares, el Coll de la Perxa i per l'actual Val d'Aran (Soto, 2010).

Els passos de la costa no són molt recolzats, només per aquells autors que mencionen un travessa de l'actual Catalunya per la costa.⁶ Per contra, el Coll de la Perxa, s'ha presentat àmpliament com una bona opció per superar els Pirineus un exèrcit com el cartaginès.⁷

Padró mostra com l'opció del Coll de la Perxa obra un pas molt factible per la vall de la Tet, existint una bona ruta entre *Ilerda* i *Ruscino* (Padró, 1984).⁸ L'opció d'aquest pas per tasques d'avançament

militar, també està plantejat per Olesti i Hurtado, com va ser emprat per Cèsar i Sertori a la seva persecució de Pompeu al s. I a.n.e. (Olesti et al., 2005; Hurtado, 2014). Als estudis de Jordi Bolòs, aquest pas també es mostra com l'opció escollida per altres exèrcits de l'antiguitat, com el de Pipí el Breu al s. VIII i el seu fill Carlemany. Bolòs, però, també planteja com una bona opció el pas del Coll d'Ares, perquè després de la vall de la Tec dona accés directe a Elna (Bolòs, 2009).

Hi ha diverses propostes específiques sobre la ruta del contingent cartaginès. Tot i això, hi ha una gran acceptació pel camí del Segre, travessant els Pirineus pel Coll de la Perxa a la Cerdanya, on després se situaria la ciutat romana de *Iulia Libica*.

Preveient que amb l'aplicació de l'anàlisi LCP, no només es proposarien traçats de vies òptimes, sinó també un càlcul de temps de realització d'aquestes, es va consultar aquells treballs que plantejaven possibles temps d'inversió del contingent d'Anníbal, per la travessa del territori català des de l'Ebre fins a *Il-liberis*, uns *circa* 800 km.

Pedro Barceló defèn un plantejament d'avançada de 20 km (Barceló, 2000) diaris, que sense descans, comportarien 42 dies d'avanç. Observant el temps que plan-

6. Hi ha autors que defenen idees més aïllades, com les que proposen l'atac de *Barkeno* per part del general cartaginès (Giunta, 1988; Xuriguera, 1963). D'altres, contemplen la via de la costa com aquella més accessible, travessant els Pirineus pel Pertús (Proctor, 1974; López, 2010).

7. Les característiques d'aquest exèrcit semblen coincidir al voltant de les xifres de 90.000 infants i 12.000 genets, però Polibi i Titus Livi no mencionen res sobre els paquiderms que hi formarien part suposadament. La dada sobre els elefants és aportada per l'autor Apià (95-165 d.n.e.) indicant que hi havia 37 elefants amb Anníbal (App., *Hann.*, 4).

Aquestes dades correspondrien a l'estructura de l'exèrcit prèvia als Pirineus. Tant Livi com Polibi, mencionen que justament abans de travessar els Pirineus, Anníbal plantejaria una reestructuració del contingent, deixant amb el seu lloctinent Hannó 10.000 infants i 1.000 genets, i tot el cos expedicionari (Plb., 3, 35, 2-3; Livi, 23, 2-3).

8. S'identifica *Ruscino* com un assentament (*oppidum*) gal situat a Perpinyà. *Il-liberis* però, seria on Anníbal, després de travessar els Pirineus, es va establir momentàniament per tractar amb els gals de la zona. La referència d'*Il-liberis* prové de Titus Livi i es situaria a l'actual Elna (França) (Livi, 24, 1).

tegen les fonts primàries,⁹ podem deduir que sent una proposta d'entre tres i quatre mesos, l'exèrcit hauria dedicat un 50% a avançar i l'altre 50% a assumptes diversos sobre les dificultats que apareguessin.

Investigadors d'aquest cas d'estudi com Pedro Barceló, al llibre publicat l'any 2000 *Aníbal de Cartago*, i Francisco Beltran, durant el *Vè Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà*, proposen calendaris més específics. Plantejant càlculs detallats de la inversió del temps, en el segon cas, i la idea d'un avançament ràpid d'Anníbal i una part del total de l'exèrcit, mentre l'altra restava amb Hannó. En el primer cas Barceló defèn uns quatre mesos, Beltran uns tres. Ambdós autors, però, plantegen que Anníbal Barca triga prop d'un mes a travessar el territori entre l'Ebre i *Il·liberis*.

4. La proposta metodològica

Per la realització de l'anàlisi territorial que es va plantejar en aquest treball es ne-

cessitaven diferents components. Primer de tot, s'havia de disposar d'un MDT, el que ens facilitarà un primer context general, versemblant al món real.¹⁰ Seguidament, l'anàlisi LCP es realitza indicant un punt de partida i un d'arribada¹¹, perquè pugui calcular el camí més òptim entre aquests. És també imprescindible, determinar els condicionants dels individus¹² que realitzaran aquestes vies ja que, amb la combinació d'aquestes característiques individuals amb les del terreny, s'obtin- dran els passos més factibles.

Com aquest estudi té la intenció de plantejar una anàlisi el més similar a la realitat del moment possible, es van afegir diferents condicionants de l'escenari on s'executen les LCP. Aquests van ser aplicats a partir de màscares que, per exemple, tenen en compte zones d'exclusió de pas¹³ al voltant de les colònies gregues *d'Emporion* i *Rhode*.¹⁴

Les dades necessàries per a aquest estudi havien de cobrir l'extensió de territori per analitzar. Aquests límits es van plantejar entre el jaciment de les Aixale-

9. Les fonts clàssiques mencionen que l'exèrcit cartaginès va sortir de les casernes de Cartago Nova a la primavera de 218 a.n.e. (Plb., 3, 34, 1-2; Livi, 23, 1). La següent informació sobre la temporalitat de la marxa d'Anníbal, es presenta quan s'indica que els romans, havent desembarcat a *Massalia*, són informats que el general cartaginès ja ha travessat els Pirineus, sent l'estiu del 218 a.n.e. (Plb., 3, 41, 1; Livi, 26, 3-5).
10. Al món real del moment de presa de les dades per la realització del model. Aquest apunt és important quan emprem aquest tipus d'eines geogràfiques per l'estudi de l'antiguitat, ja que hem d'assumir que els models tenen les alteracions realitzades en el territori al llarg del temps fins al moment de la creació d'aquest MDT.
11. També pot indicar-se diferents punts d'arribada, fet que fa obligar a l'anàlisi a passar per ells, resolent en un camí d'origen que es bifurcarà en altres subcamins per arribar a aquests punts.
12. En aquest treball s'empra la paraula «individu» per fer referència a la fórmula que s'utilitza a l'anàlisi LCP, on consten els valors pel càlcul de la resistència d'avançament en cost de temps acumulat. Dit en altres paraules, cada individu que diferenciem significa que té uns condicionants de cost d'avançament diferents per anar del punt d'origen al d'arribada.
13. El MDE, a la pràctica, és un arxíu *raster* format per una malla de columnes i fileres de cel·les amb informacions geogràfiques i d'altitud, que no té en compte condicionants subjectius, només territorial. En ordre d'aportar versemblança a aquest model, s'han creat zones per dificultar el pas amb els càlculs de *cost acumulat*.
14. Es va crear aquesta zona d'exclusió atès que la via de la costa presentava molts inconvenients per la majoria dels autors que han investigat el tema, a causa de la presència de les colònies gregues, que suposen,

lles¹⁵ (Ribera d'Ebre, Tarragona), com a punt de partida, fins a *Il-liberis* (Llenguadoc-Rosselló, França). Les dades havien de comprendre gairebé tot el territori català fins part del sud del territori francès. Aquests condicionants restringien l'ús de les dades de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), perquè sols ofereix cartografia de la zona catalana.¹⁶ És per aquesta raó, que es va cercar un proveïdor de dades internacional i de lliure accés, com és el projecte de la NASA *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) publicat a finals del 2015.

Aquesta cartografia cobreix l'àmbit mundial amb una resolució de 30 metres als EUA i de 90 metres¹⁷ en els territoris fora dels EUA. De les dues versions existents, s'ha utilitzat la segona versió que ofereix una resolució de 30 metres a tot el

món. Aquesta resolució¹⁸ és bona per a fer els càlculs, però també significa un volum més gran de dades perquè, a més resolució, més informació. Les dades es poden descarregar en format *GeoTiff*, compatibles amb programari SIG com *ArcGIS*, l'emprat en aquest projecte.

Per una altra banda, en un moment del projecte es va voler estudiar de forma més detallada la ruta del Segre, perquè, essent aquesta la més defensada per la majoria d'investigadors, es va voler obtenir una millor qualitat de resultats (especialment en els estrets o passos difícils al llarg del curs del riu). Era necessari disposar de dades amb una resolució més específica y, per aquesta raó, es va optar per les dades MDE de l'ICGC amb resolucions de 5 m (per la part des d'Aixalelles fins a Ponts) i de 2 m (des de Ponts a la plana de la Cerdanya).¹⁹

tindrien un posicionament més cap al bàndol romà. Aquesta «zona desfavorable de pas» té una extensió calculada de 8h de marxa des de les colònies cap a l'interior del territori. Aquesta mesura de temps de marxa és la que aportà Pedro Barceló (2000). La zona creada a partir de les 8h de marxa, implicaria una zona que estaria accessible des de les colònies al mínim de dies d'avançament d'un contingent, o explorador, contrari a l'empresa púnica.

15. És el punt de partida que es va escollir per a fer els càlculs. L'elecció es va realitzar prioritzant indrets, passat el riu Ebre —per a facilitar les anàlisis, perquè els MDT no contempen les masses d'aigua. Les Aixalelles és un dels punts on hi ha una major presència numismàtica de les monedes relacionades amb el pagament de les tropes cartagineses, les hispano-cartagineses de classe VIII (Villaronga, 1973; Noguera, 2013) i aquest, juntament amb les característiques orogràfiques que presentava la zona pel pas de l'Ebre, es van considerar com bons arguments per marcar aquest punt inicial. Un any més tard de la presentació del treball en el qual es basa aquest article, es va publicar una discussió sobre la travessa d'Anníbal i el seu contingent pel curs inferior de l'Ebre. L'equip conjunt entre la Universitat de Barcelona i l'Institut Català d'Arqueologia Clàssica (Noguera et al., 2018) i coneixedor de la realitat arqueològica i orogràfica d'aquesta zona, van plantejar com a pas més favorable del riu alguns dels punts entre Flix i Ascó, en una zona de meandres on hi ha punts amb una profunditat molt reduïda.
16. Els càlculs de rutes de mínim cost estan basats en un model digital d'elevacions. Si aquest model no ocupa tota l'extensió que hi pugui haver entre el punt de partida des d'on es volen fer els càlculs, i el punt d'arribada, el càlcul de la ruta no es pot realitzar.
17. Del STRM hi ha dues versions a escala mundial: una primera versió d'una resolució de 90 metres (3 segons), i una segona versió d'una resolució de 30 metres (1 segon). Aquesta segona versió, fora del territori d'EUA, és simplement una interpolació de valors a partir de la primera versió.
18. La resolució de les dades indica fins a quin nivell de detall pot representar canvis en les cotes del terreny. En aquest cas, de 30 metres, significa que l'àrea d'informació més detallada que pot mostrar la informació és de 30 x 30 m d'extensió.
19. El format de les dades descarregades és de text ASCII, que es converteix fàcilment des del mateix ArcGIS. Són arxius de text creats a partir d'un codi de caràcters establerts amb l'alfabet llatí, que sols contenen els caràcters del text i els del salt de línia. Aquest arxiu de text pot ser llegit per diferents programes, entre ells l'ArcGIS o QGIS, però no és un arxiu de text «processat» com el resultant d'un Word.

5. La construcció de l'escenari

Les dades que es poden descarregar de les dues fonts mencionades (del *SRTM* i de l'ICGC), consten de diferents arxius perquè es distribueixen per blocs o fulls. Durant la primera fase, es va fer el mosaic per obtenir l'extensió total de cada MDE i es va calcular el pendent del terreny. Seguidament, a la segona fase, s'aplicaren unes fórmules per a cada tipus d'individu del contingent cartaginès, tenint en compte tant les velocitats d'avançament com les limitacions de superació d'un percentatge concret del pendent.

A la tercera fase, es van iniciar els càlculs de distància de cost (temps acumulat) des del punt de partida establert d'Aixal·les, fins al punt d'arribada d'*Il-liberis*, fent que el programa calculés el cost, en minuts, necessari per a creuar tota l'extensió de territori que es troba entre aquests dos punts. Quan es van obtenir aquests valors de temps, va portar a terme l'anàlisi del camí de mínim cost o *least cost path* (LCP).

El pendent del MDE es calculà amb eines espacials del programa sobre l'arxiu *raster*. El model del *STRM* de 30 metres que es va emprar, va haver de ser filtrat perquè presentava errors, formant un efecte *slíces*²⁰ del pendent, en comptes

d'obtenir un pendent gradual. A la visualització del MDE no es feien visibles aquestes aberracions (figura 1), però un cop visualitzaves l'arxiu amb els pendents, es detectaven línies paral·leles artificials per tot el model que alteraven els càlculs LCP. Es va haver d'homogeneïtzar el model amb dos filtres de pas baix.²¹

Aquesta operació no va ser necessària per als models del ICGC ja que no presentaven aquest error inicial. L'únic punt a tenir present respecte a ells és que en tenir una major resolució, la inversió de temps d'operacions amb ells, s'eleva de forma considerable.

6. L'actuació dels individus

L'anàlisi LCP necessita un arxiu amb informacions de pendents sobre el que es disposaran diferents fórmules, que representen la diversitat d'individus de l'exèrcit púnic. Es van establir les característiques dels individus d'«Infanteria», «Cavalleria», «Carros» i «Elefants».²²

Aquestes fórmules marquen la inversió de temps que ha de fer cada individu per superar cada cel·la de l'arxiu de pendents. Com afegit, es van aplicar limitacions de superació de pendent,²³ per-

20. El pendent, en comptes de mostrar-se gradual, presenta un efecte de «llesques» en el qual, després d'una elevació, hi ha una planícia fictícia, que crea un efecte esglaonat per tot el model, incompatible amb els càlculs LCP.

21. Els dos filtres aplicats són una operació d'equiparació del valor d'una cel·la amb les cel·les veïnes. Es va fer un filtre de baix nivell, per no alterar de forma considerable els valors del model, però poder permetre l'aplicació dels càlculs de pas, sense errors fatals previs.

22. Hi ha veus discordants, però una de les peculiaritats d'aquest contingent és la participació d'almenys 1 elefant que va arribar viu a la batalla de Trèbia (Wise, 2004). Per tant, si es parteix dels 37 elefants documentats per Apità, i almenys un va arribar a creuar els Alps, significa que també s'ha de tenir aquest tipus d'individu present pel càlcul del territori català i Pirineus.

23. S'ha de tenir present que els diferents individus no podran superar gradients molt marcats del pendent de forma natural. Cert és, que la majoria dels individus podrien superar-los en una situació crítica, però, tenint present que se cerca el camí més eficient, la principal idea és evitar el màxim de complicacions possibles.

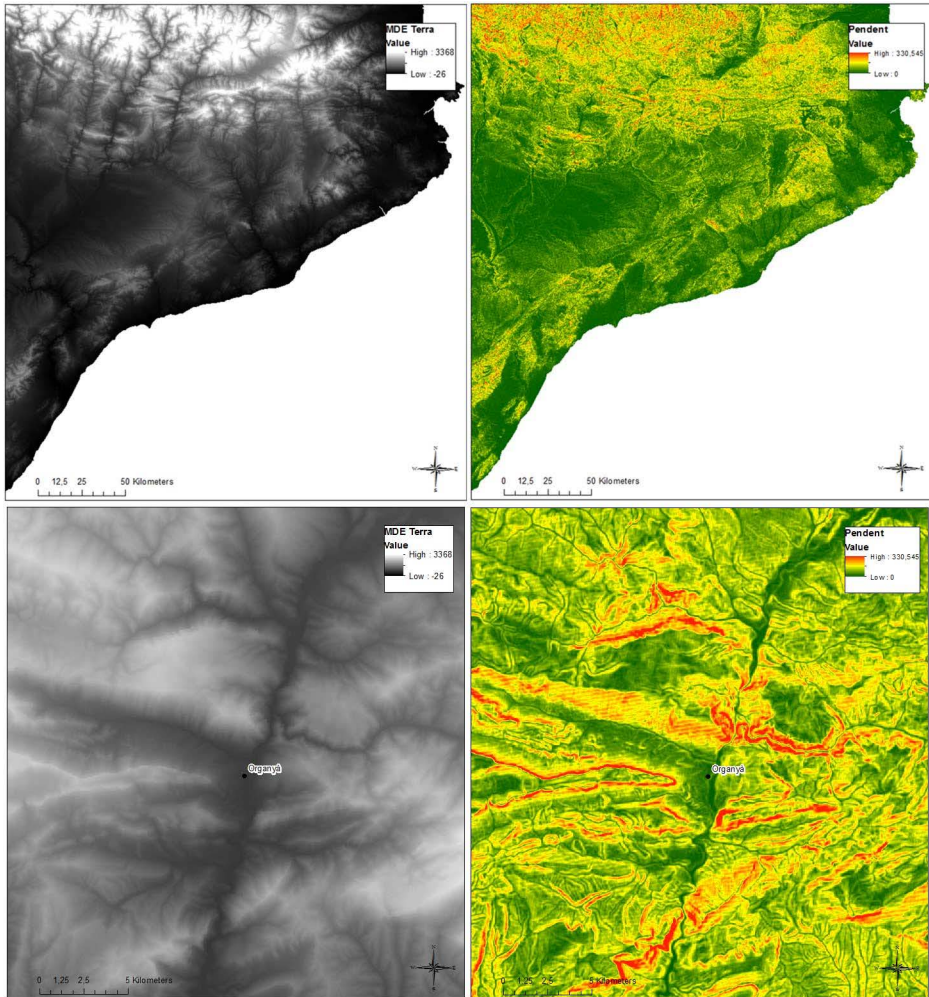


Figura 1. Mostra de les capes del MDE i de la capa resultat del càlcul del pendent amb errors.

seguint enriquir, de forma realista, uns càlculs objectius. Com s'observa als mapes comparatius (figura 2), la limitació de superació de pendent, crea zones inac-

cessibles pels individus,²⁴ més o menys restrictives.

L'únic individu que no se l'ha imposat una limitació és la infanteria, per la

24. Tot i que les afectacions del pendent sobre l'avançament de cada individu estan contemplades a les mateixes fórmules d'aquests, també es van aplicar unes màscares sobre el *raster* de pendent de cada individu, limitant de forma explícita el pas per aquestes zones.

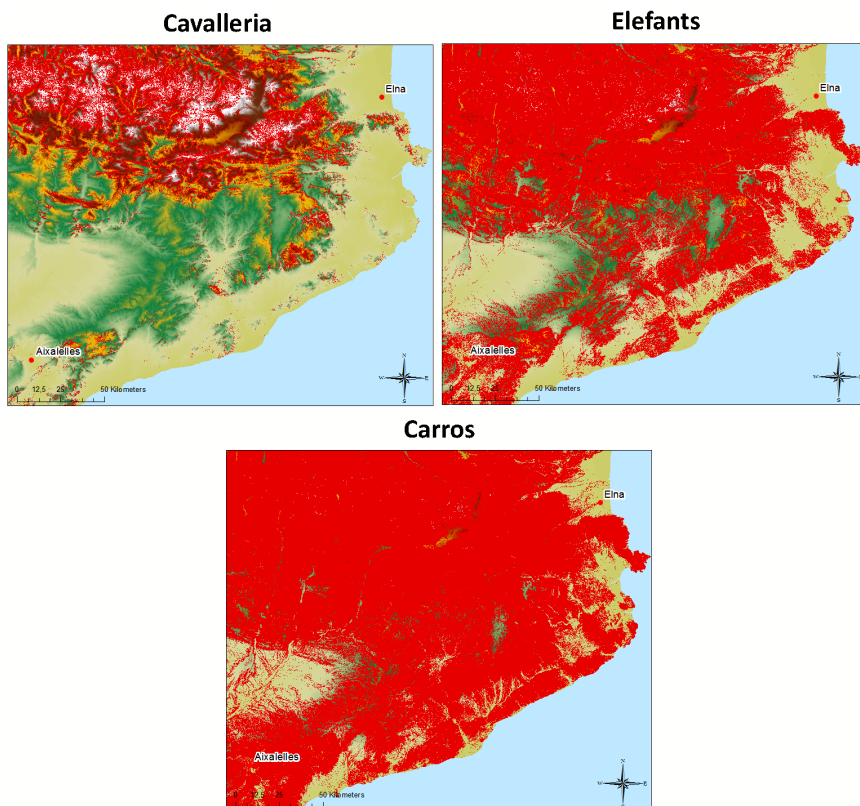


Figura 2. Màscares que mostren l'àrea per on no pot circular cada tipus d'individu, segons el pendent màxim que poden superar.

seva gran adaptabilitat. La cavalleria però, sí que se l'ha marcat un límit del 43% d'inclinació.²⁵ En el cas dels elefants, i segons un estudi sobre el seu comportament en estat natural, se'ls hi va aplicar

una gran limitació del 13%.²⁶ Tot i això, l'individu corresponent als carros de transport són els més perjudicats, amb un 5% de limitació²⁷ per superació de pendent.

25. Es va aplicar aquesta limitació, no perquè els equins no puguin superar un pendent del 43%, sinó prenent comparatives de les praderies dedicades a aquests animals. En praderies amb gran pendent, es poden detectar problemes a les extremitats d'aquests animals, per tant s'ha aplicat un límit mitjà.

26. Segons un estudi de l'investigador Shadrack Mumo Ngene del Kenya Wildlife Service, explica que s'ha detectat que als elefants no els hi agraden els pendents, i els intenten evitar. Aproximadament, es parla d'un límit mig-alt d'aquesta inclinació del terreny, per això, aquest individu presenta un important condicionant.

27. Els carros de transport de l'antiguitat, per la seva estructura i mecanismes, presenten grans problemes de superació de pendents, sent extremadament limitats, amb unes propostes de no superació del 5% (Law-

Individu	Fórmula	R ²
Infanteria	temps = ("pendent"x1.2532+9.1806)/1000	0,9865
Cavalleria	temps = Exp("pendent"x0,067)x0,0023	0,9923
Elefants	temps = Exp("pendent"x0,2398)x0,0029	0,9808

Figura 3. Fórmules assignades a cada tipus d'individu amb la relació de correlació de cadascuna.

Com que la limitació dels carros es presentava molt extensa, sent només factible en zones amb planícies importants situades al pla de Lleida i gran part de l'Empordà i de Vic, es va decidir eliminar aquest individu dels futurs càlculs de *LCP*, atès que no funcionaria fora d'aquestes àrees.

Les fórmules que s'havien d'utilitzar havien de sorgir de la combinació entre temps invertit, distància determinada a recórrer i pendent a superar. Perquè foren lògiques, aquesta relació havia de presentar una alta correlació entre elles. Les creades amb aquest treball, plantegen correlacions d'entre 98-99% (figura 3).

Aquestes fórmules són amb les que, amb la calculadora *raster* del programa de SIG, es va operar amb l'arxiu de pendents, obtenint un altre arxiu amb el qual es calcularia el temps que han d'invertir cada individu per superar l'espai entre el punt d'origen marcat, les Aixalletes, i el punt final establert, *Il·liberis*.

Un cop es tenia l'arxiu de cost en temps extret del càlcul de pendents del territori, aplicant cada fórmula de cada indi-

vidu, es podia realitzar l'operació de càlcul de distància cost,²⁸ resultant en un arxiu amb informació del cost en temps acumulat. Significa que tindrem les informacions de temps acumulat des del punt d'origen, fins a cada cel·la del territori d'estudi.²⁹

És en aquest punt en què s'executà la *LCP* per trobar quines eren les vies amb menys inversió de temps per arribar del punt de partida fins a arribar al campament que s'havia marcat com la meta d'arribada.

Si només es realitza un cop aquest càlcul, ens aporta una única via, la més òptima. El fet, però, és que com hem estat plantejant un escenari territorial amb condicionants i zones desfavorables de pas, l'aplicació d'aquestes ens crearà noves vies adaptades a aquestes realitats. Aquestes àrees sorgeixen de les colònies gregues, establint zones de limitació segons l'avançament d'infanteria des de les colònies a dues, quatre i sis jornades cap a l'interior (figura 4).

Amb la creació de les zones d'exclusió de pas, es va descobrir que el campament

ton, 2014). Tot i que també es té present que es documenten roderes de carros a vies dels Alps a més del 8% de pendent, en aquest treball s'ha mantingut el límit del 5% de la cita de Lawton, perquè amb el MDE que s'ha treballat, no presentava una gran diferència passar d'un 5% a un 8% de restricció. El pas era molt reduït en ambdós casos.

28. Totes les operacions espacials que es realitzaven, es poden trobar a l'apartat d'operacions espacials del programari *ArcGIS*. Un aspecte que s'ha de tenir present per executar cada operació, és el temps que ha de dedicar el sistema per processar-la. Contra més resolució tingui un arxiu, significa que més informació ha de processar. El temps per a realitzar aquesta anàlisi depèn del MDE amb el que es treballi. El model de 30 metres, triga una mitjana d'1,5 hores en realitzar cada càlcul de la distància de cost. Pel model de 5 metres, cap a les 4 hores; i per últim, el model de 2 metres, inverteix circa 9 hores a realitzar-lo.
29. L'arxiu de distància cost, crea un *raster* on cada cel·la té la informació de quant de temps ha d'invertir l'individu escollit des del punt d'origen fins al punt final. Això crea, de forma visual, àrees de rangs de temps d'invertits.

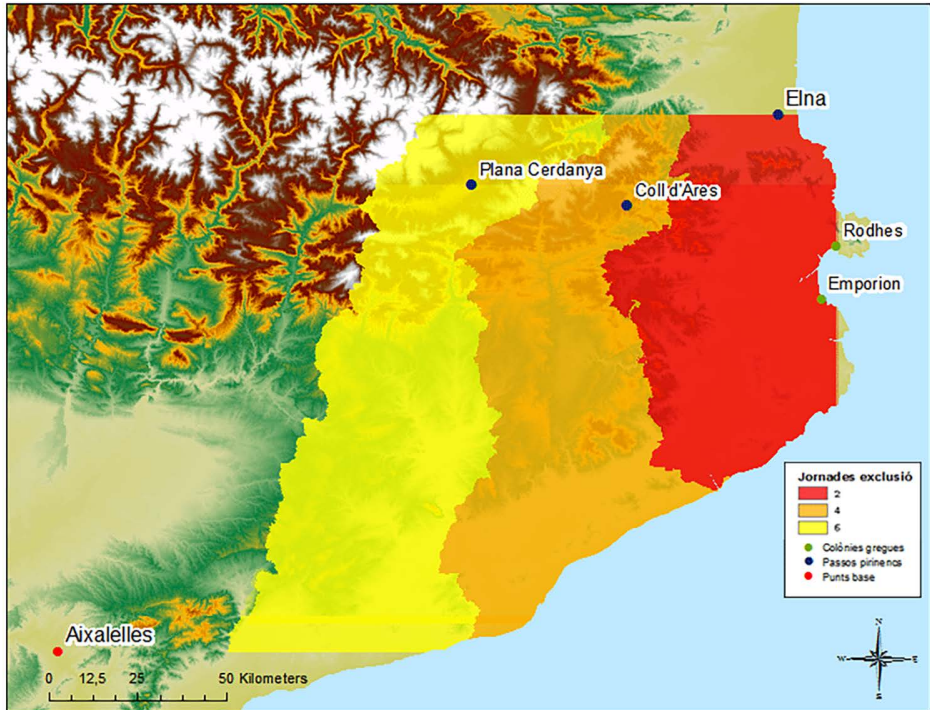


Figura 4. Àrees d'exclusió de pas des de les colònies gregues.

d'*Il.liberis* estaria situat a només dues jornades d'*Emporion*. Fet que indica que el contingent d'Anníbal s'hauria establert a la mínima distància després dels Pirineus. Per aquesta raó, no es van aplicar les limitacions d'àrees de pas, més enllà dels Pirineus, entenent aquests com una barrera natural.

7. Resultats de les anàlisis

Un cop realitzats els càlculs *LCP* amb els diferents individus i restriccions, es va observar com els passos més emprats eren el

del Coll d'Ares i el Coll de la Perxa. Es van poder establir tres rutes aproximadament estables: la «Ruta 1» sent la via del litoral; la «Ruta 2» sent aquella que creuà pel Coll d'Ares; la «Ruta 3» que travessa pel Coll de la Perxa.

7.1. Infanteria

Els resultats de l'individu d'infanteria són molt estables. Tots presenten una inversió de temps d'11 jornades,³⁰ amb una velocitat mitjana de 4 km/h, i les vies de mínim cost es van anar descartant amb les zones d'exclusió, sense presentar irregular-

30. En aquests càlculs de temps no es contemplen les jornades de pausa per possibles complicacions que apareguessin durant l'avançament.

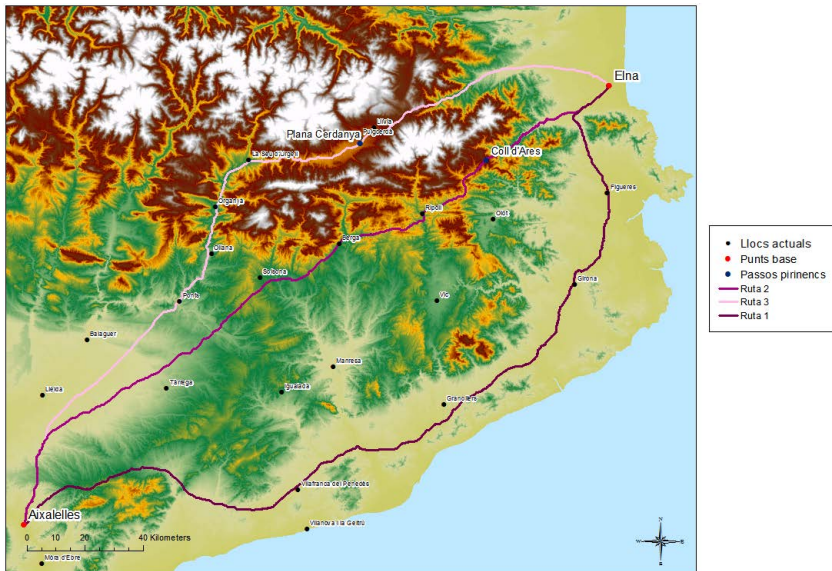


Figura 5. Resultat de les rutes mínim cost pel individu «Infanteria».

ritats. La ruta que va pel litoral és la més ràpida, que en un inici es dirigeix pel nord del Montsià, evitant el Garraf per la plana del Penedès. Avança cap al nord per la plana prelitoral fins a arribar a l'Empordà i travessar pel Pertús.³¹

La «Ruta 2» de la infanteria arrenca per la plana de Lleida dirigint-se directament cap a l'actual Solsona, marcant una via en diagonal septentrional cap a Berga, Ripoll, prenent el pas del Coll d'Ares per avançar fins a Elna per la vall del Tec. La «Ruta 3» és la que remunta fins a la plana de la Cerdanya pel curs del Segre, passant per zones complicades com Oliana, Organyà i la Seu d'Urgell. Tra-

vessa els Pirineus pel Coll de la Perxa prenent la Vall de la Tet fins al campament d'*Il-liberis*.

Totes les rutes plantejades són vies de prop de 300 km de distància. La més curta apareix com la «Ruta 2», sent la que sembla encaminar-se més directa cap a Elna.³²

7.2. Cavalleria

La cavalleria va resultar ser l'individu més ràpid, amb una inversió de 3 jornades mínimes, amb velocitats d'avançament que oscil·len entre els 14 i els 19 km/h. Es van realitzar les operacions sense limitació del

31. Aquest és el camí LCP per tots els individus, abans d'aplicar la restricció de dues jornades des de les colònies gregues.

32. Totes les dades i resultats detallats sobre les vies dels diferents individus segons les diferents condicions, es poden consultar al treball de final de grau *Anàlisi de rutes de mínim cost (LCP) aplicada al cas de l'avanç del contingent cartaginès d'Anníbal Barca durant l'etapa catalana-Pirenaica* (Muñoz, 2017).

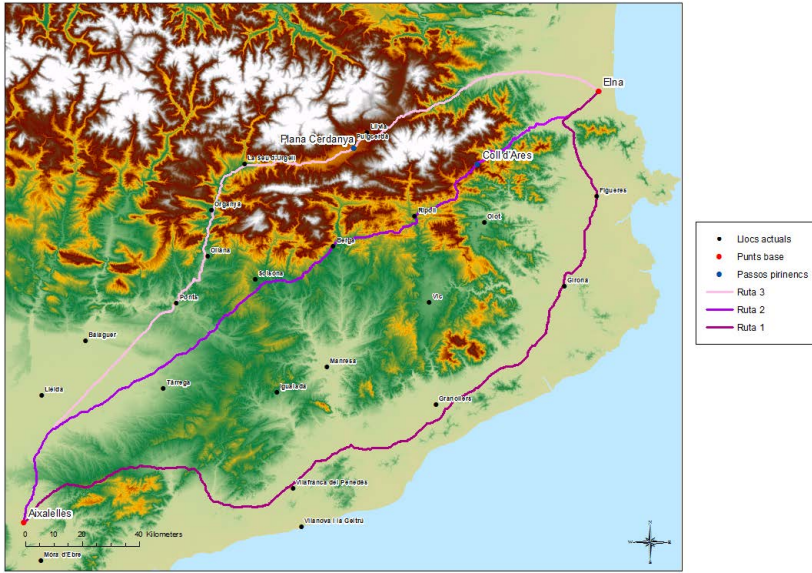


Figura 6. Resultat de les rutes sense restricció per a l'individu «Cavalleria».

pendent i amb la condició del 43% de gradient explícit.³³ És en el moment de l'aplicació d'aquestes restriccions, que les vies estables que es mantien amb els mateixos trajectes que la infanteria, presenten canvis importants als traçats (figura 6).

El cas de la «Ruta 3» amb limitació del pendent i dues jornades d'exclusió, no avança seguint el riu Segre després de la plana de Lleida, sinó que coincideix amb la «Ruta 2» fins a Cercs (Berga), on divergeix cap a la plana de la Cerdanya travessant l'actual pantà de Baells fins a arribar a Bagà. Ascendeix fins a 2.409 m.s.m. pel Coll de Pal, per travessar la part oriental del Cadí, arribant a Alp.

Amb 4 jornades d'exclusió des de les colònies, la variació entre la «Ruta 2» i la «Ruta 3» s'inicia ja en l'actual Solsona, remuntant pel Cardener i travessant el pantà de la Llosa del Cavall per creuar pel Coll del Port de la serra del Port del Compte. Arriba a l'actual Seu d'Urgell per la part occidental del Cadí, arribant a la Cerdanya per una part força inaccessible del riu Segre.

En canvi, quan s'imposen les 6 jornades d'exclusió, la via està forçada a remuntar pel Segre, remuntant per la serra d'Oliana fins a arribar a l'alçada de 1.234 m.s.m. del pic de Serra-seca. S'ha de destacar que en aquest cas, aprofita les planícies del Tossal de Cambrils i la carena del

33. Quan es puntualitza que hi ha una aplicació de la limitació del pendent, ens referim que el LCP s'aplica sobre un arxiu de pendents amb les zones que superen aquest pendent, bloquejades al pas. S'imposaria doncs, un doble marcatge de limitació d'inclinació, per assegurar-se que el càlcul és explícit amb la restricció.

Port del Comte, accedint a la plana de la Cerdanya pel coll del Port per la serra del Port del Comte.

Aquest cas plantejat anteriorment amb el comportament de les vies, no es dona excessivament a les altres rutes. Aquest fet segurament ve donat perquè el MDE no diferencia les masses d'aigua, que serien espais pels quals no es poden transitar, i, per això, el LCP entén que són passos òptims els traçats dels rius o les planícies dels llits dels pantans.

Dintre del procediment d'anàlisi també es va afegir un apartat de revisions, per observar els possibles malentesos creats per aquesta mancança d'interpretació del MDE.

7.3. Elefants

El cas dels elefants comportava comptar amb un individu amb unes problemàtiques que limitaven molt la superació d'obstacles. Havent descartat els carros, aquest individu plantejava una limitació del pendent mitjà-alt del 13%. El temps d'avançament augmenta fins un mínim de 53 jornades i fins a un màxim de gairebé 90 jornades amb una opció de via que remuntava la part més occidental de Catalunya.

Les distàncies augmenten segurament perquè les vies han d'anar cercant passos amb poc desnivell, fent créixer les distàncies *circa* els 400 km per les diferents rutes. La velocitat també es veu greument afectada, observant-se només uns 6 km/h d'avançada dels elefants per

la via de la costa, i reduint totes les altres velocitats a 1 km/h o menys. Això, mostra com és de complicat fer marxar un individu complex com els elefants, pel territori estudiat.

En el cas dels elefants, no s'ha pogut realitzar els LCP sobre un mapa amb les anul·lacions explícites de les zones de més del 13% de pendent, perquè la forma amb la qual estava creada el MDE, creava «illes» de cel·les, les quals no permetien l'avanç d'aquests càlculs.³⁴

Aquests individus van donar com a resultat rutes molt alterades respecte als altres membres del contingent púnic (figura 7). Les rutes «2» i «3» transcorren per igual, com en el cas anterior de la cavalleria, però aquestes travessen la plana de Lleida cercant la zona del Bages per la depressió central, accedint entre Calaf i Prats de Rei. Superen l'actual Manresa per la seva part septentrional i cerquen Ripoll, punt on es separen. La «Ruta 2» avança direcció al Coll d'Ares, passant pròxima a la via romana del Capsacosta, o Via Annia,³⁵ i pren la vall del Tet per arribar a Elna.

La «Ruta 3», un cop passat Ripoll, comença a ascendir cap a la plana de la Cerdanya via la Collada de Toses. És en el punt de la localitat de Toses, que puja a 2.029 m.s.m., per les Colladetes, fins al pla de la Bassa, i travessa el coll de la Creu de Meians fins al següent cim a 2.208 m.s.m. de la Coma Morera. Segueix l'actual frontera entre Espanya i França, aprofitant les carenes de les muntanyes per acabar descendint cap a Puig-

34. Una possible solució a aquest problema seria anar estudiant per petits trams els camins de mínim cost en el cas dels elefants, treballant amb MDE de resolucions més altes que el de 30 m que s'ha emprat. En aquest treball, i per qüestions de temps disponible, no es va poder realitzar aquesta possible solució.

35. La Via del Capsacosta o Via Annia és una via romana ben documentada que connecta la vall de Camprodon amb la de Bianya, podent accedir des de la plana als Pirineus, i travessar el Coll d'Ares (Busquets, 1999).

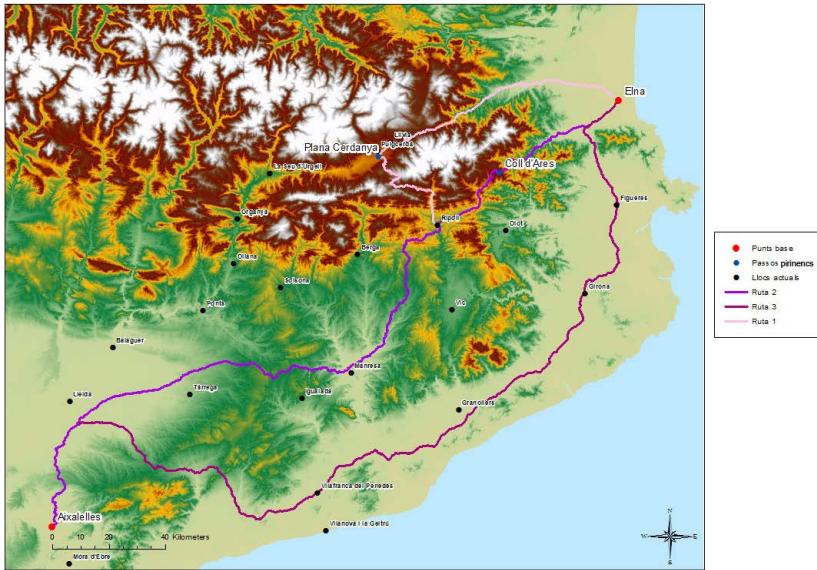


Figura 7. Resultat de les rutes per el individu «Elefants» sense límit del pendent ni exclusions.

cerdà per cercar el Coll de la Perxa i la vall del Tec.

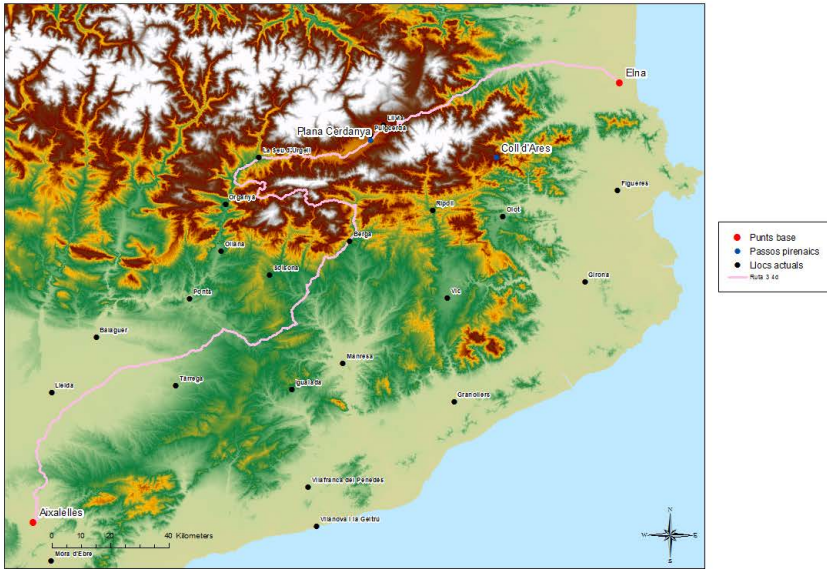
Els camins de mínim cost dels elefants són molt alterables, i a partir d'una zona d'exclusió de 4 jornades des de les colònies gregues (figura 8), la «Ruta 2» desapareix, i la tercera ruta queda altament modificada, resultant en una via que recorda als meandres d'un riu. Aquesta «Ruta 3» cerca els passos més plans per travessar la depressió central, per Guissona i les serres de Pinós i de Castelltallat, arribant fins a l'actual Berga per Solsona. Es dirigeix al nord, rodejant el Cadí per la seva part meridional, evitant el Pedraforca i el Cadinell. Pren el riu Tost per travessar cap al Segre fins a la plana de la Cerdanya. Aquesta volta al voltant de la serra del Cadí, comporta un augment de més de 40 km, situant-se als 447,35 km a recórrer, en total, fins al campament d'*Il·liberis*.

La «Ruta 3» amb una exclusió de 6 jornades, resulta en la via més insòlita de totes. És una ruta en la qual els elefants invertirien un mínim de *circa* 90 jornades, sense pauses, que ascendeix per l'actual comarca de la Noguera, travessant els Pallars Jussà i Sobirà, per connectar amb el riu Segre a la Seu d'Urgell. Aquesta és una via molt tortuosa, que passa per zones molt accidentades, podent ser gairebé descartable per la seva excessiva complicació.

8. Problemàtiques a tenir en compte

Després de l'aplicació de tots els càlculs LCP sobre l'escenari, s'havia de realitzar unes revisions de per on transcorrien les vies. Aquest pas era necessari perquè s'ha de tenir present que el MDE no està lliure de les alteracions modernes sobre el

4 jornades



6 jornades

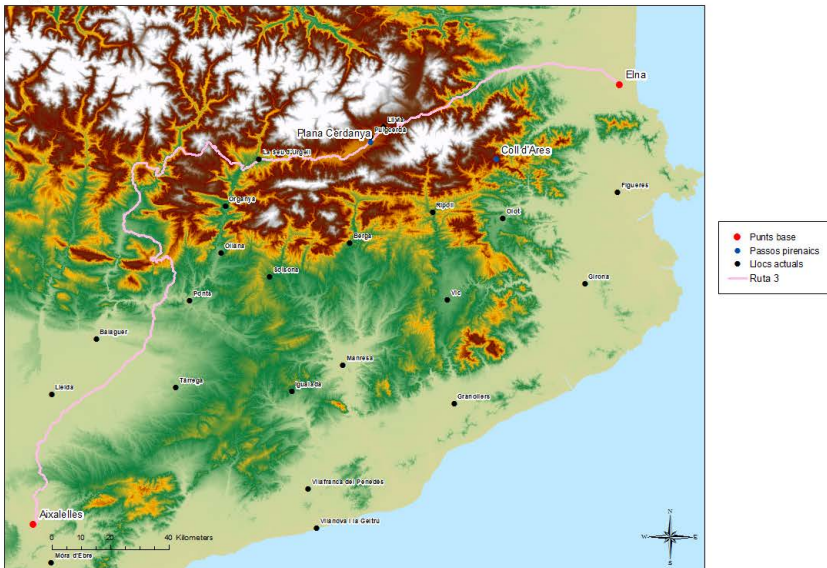


Figura 8. Resultat de les rutes per el individu «Elefants» amb 4 i 6 jornades d'exclusió des de les colònies gregues.

territori,³⁶ i per tant, podrien aparèixer resultats sense sentit.

Una de les problemàtiques importants que va sorgir, era el tractament dels MDEs de l'ICGC, aquells amb resolucions de 5 i 2 metres. Es volien emprar per esbrinar la possibilitat de pas per punts complicats de la «Ruta 3» del Segre, juntament amb les seves complicacions al congost de Trespunts d'Organyà i a un punt just després de la Seu d'Urgell (figura 9). La qüestió és que no han resultat útils per superar-ho i, el LCP continua donant erroni i, intenta superar aquests obstacles pel propi riu.

No s'ha trobat una solució factible per evitar que el càlcul escollís una via que en veritat és intransitable, tot i disposar «taps» per bloquejar el pas per aquests passos impracticables.³⁷

Com s'ha plantejat anteriorment, el MDE no discerneix les masses d'aigua. Una de les revisions més exhaustives que es va de realitzar, va ser la validació de la viabilitat del camí quan travessava un pantà. Aquest exercici es va fer comparant les vies amb les imatges aèries del vol americà del 1945-1946 de l'ICGC.³⁸ En molts dels casos resultava com a factible el pas, perquè els pantans van inundar zones molt més extenses que els cursos dels rius originals.

Una possible solució a les mancances de consideracions del MDE sobre les masses d'aigua, seria crear una màscara

que contemplés aquests obstacles. Òbviament, s'hauria de fer un estudi explícit per marcar passos naturals dels rius com guals, per no crear barreres d'avançament i fer possibles els LCP.

9. Conclusió

L'objectiu principal d'aquest treball va ser la investigació de les possibilitats d'estudi d'un cas com la travessa del general Anníbal Barca i del seu exèrcit pel territori català cap a Itàlia, utilitzant les eines SIG. Es tenia la intenció de posar a prova aquestes aplicacions geogràfiques per descobrir quines noves visions i informacions ens poden aportar per l'estudi de camins i vies documentats a les fonts antigues.

El cas del general Anníbal resultava ser un exercici perfecte per descobrir els avantatges i desavantatges que ens podríem trobar amb aquesta combinació de tècniques. La informació més explícita sobre aquest cas d'estudi, es troba a les fonts clàssiques que poden presentant grans *handicaps* de fidelitat i de veracitat a l'hora de descobrir antics traçats de vies, o, directament, de mancança de dades, com és el cas de les descripcions de l'etapa catalana-Pirenaica, per aquest episodi de la II Guerra Púnica.

Els estudis passats sobre el cas del contingent púnic s'han realitzat amb la

36. El territori ha sofert alteracions, tant naturals com antropomorfes, i el MDE les inclou. Un dels afegits que es va decidir aplicar, és una màscara de la línia de costa de l'Antiguitat, extreta de forma lliure del portal *Ancient World Mapping Center* (AWMC), que va permetre eliminar el Delta de l'Ebre de forma fàcil. Tanmateix, tampoc contempla l'existència de masses d'aigua, fet que obligà a revisar els resultats amb altres informacions.

37. Es van aplicar taps de 5 km per evitar que la via crees camins impossibles, però no va donar resultats. Es va acabar desistint, atès que cada càlcul amb el MDE de 5 m, comportava una inversió de 8h de processament.

38. Tot i no tenir una gran qualitat d'imatge, es poden diferenciar els cursos dels rius i les zones de terreny transitable, on es poden veure camps de conreu i antics pobles.

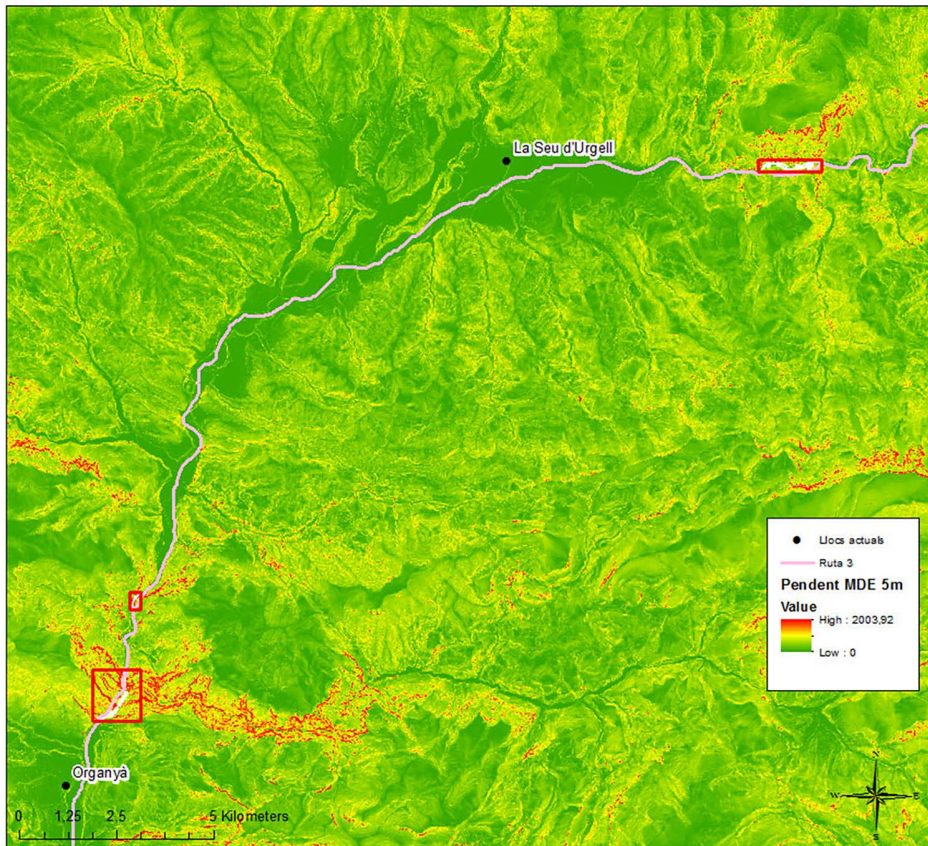


Figura 9. MDE de 5 m amb la posició dels taps i la «Ruta 3».

dependència principal de les fonts clàssiques, creant una discussió amb opinions a favor i en contra sobre les interpretacions d'aquests mateixos documents, amb algunes aportacions de dades arqueològiques, que aportaven context. La hipòtesi més defensada ha estat la d'una única via per l'interior de Catalunya, que empraria el pas del Coll de la Perxa a la Cerdanya per

travessar els Pirineus, evitant totes les colònies gregues, pròximes al pas més accessible que seria el del Pertús.

A causa de la poca permanència en el territori d'aquest contingent d'Anníbal Barca, el qual potser no arribaria ni a mig any, comporta que no hi restin materials arqueològics que ens puguin marcar un punt diferenciador³⁹ i aportar llum sobre

39. La problemàtica principal que juga en contra d'analitzar aquest episodi amb material arqueològic, recau principalment en com va ser d'efímer. Una actuació d'uns mesos, no planteja un còmput d'inserció al material arqueològic notori. Sí que s'han fet extenses investigacions sobre la influència o presència car-

aquesta problemàtica. No s'ha d'oblidar, però, que sí que existeix un gruix de materials que ens faciliten informació sobre la II Guerra Púnica al territori català, però pel cas concret que aquest treball estudiava, no són suficient detallades.

El fet de no poder concretar més la cronologia, ens situa en el punt de tenir diferents possibles autors dels rastres de destruccions de poblats entre els segles II-III a.n.e. Tant a Anníbal Barca, com al seu lloctinent Hannó, com a actors romans com Gneu Corleni Escipió, qui va enfrontar-se a Hannó a la batalla de *Kesse*; i, Marc Porci Cató amb la seva campanya del 195 a.n.e., podrien haver sigut causes d'aquests fets.

Respecte als abandonaments de poblats documentats, aquests es podrien haver donat per causes diverses, des de la mateixa guerra, com per la idea que proposava en Jordi Principal (1996), establiment que aquesta tendència d'abandonaments de poblats als voltants de la II Guerra Púnica, podria haver estat origen de la pressió fiscal sobre la població autòctona per part de les institucions romanes, assentades posteriorment al pas d'Anníbal.

S'ha plantejat anteriorment que una font important de pistes sobre aquest avançament d'Anníbal Barca, serien les evidències numismàtiques hispana-cartagineses de tipus VIII, que es van relacionar amb el pagament de tropes púniques. Aquestes sí que poden mostrar llocs amb més presència d'aquests cossos militars cartaginesos, però poden ser dubtoses.

Les monedes es podrien haver utilitzat per pagar mercenaris ibèrics, que en algun moment es van escampar pel territori, o inclús, preses com a botí pels romans. Tot i això, el que deixen clar, que la zona de la *Ilergècia* va ser un dels principals punts cartaginesos del territori català (Villaronga, 1973; Noguera, 2013).

La combinació de les diferents fonts de dades de l'antiguitat és bàsica per aquest treball, tot i ser plantejada com a no del tot fiable. Aquesta combinació aporta context i guies per l'escenari geogràfic i territorial sobre el qual s'utilitzaran les aplicacions SIG, i que condicionaran els càlculs de l'anàlisi *LCP*.

Aquestes eines SIG s'han d'entendre com a instruments tècnics, els quals necessiten ser enriquits d'informacions, en aquest cas extretes de les fonts de l'antiguitat. No s'ha d'oblidar, que els càlculs resultants, per molt ben plantejats i enriquits que siguin, no tenen en compte un factor important: que les persones no sempre actuen de forma òptima (Anderson, 2012). Haurem de parlar doncs, de possibles vies d'avançament del contingent, sent aquestes propostes d'estudis.

Les vies sorgides dels diferents càlculs de *LCP*, mostren tres possibles rutes principals, identificades com a «Ruta 1», «Ruta 2» i «Ruta 3». La primera de totes és aquella que discorre per la part prelitoral del territori català, cercant el pas del Pertús com a passadís per creuar els Pirineus, i sent la més òptima en tots els casos estudiats, obviant la zona d'exclusió de les colònies gregues.

taginesa al territori català, ja sigui amb estudis de distribució de ceràmica púnica (Bosch, 1965; Beltrán, 1984; Santos, 1989; Ruiz et al., 1993; Morel, 1995; Mata, 1998; Barceló, 2000; Asensio, 2010 o bé relacionant les evidències d'estrats de destrucció i abandonaments de poblats d'entre els segles II-III a.n.e., amb el pas dels contingents púnics pel territori (Pons et al., 1989; Asensio et al., 1996; Buch i Sagrera, 1996; Principal, 1996; Mata, 1997; Buxó et al., 1998; Mata, 1998).

Seguidament, i assumint que el general cartaginès hauria tingut com a condicionant principal la presència d'aquestes colònies, es descartaria aquesta via més litoral, optant per l'opció més defensada per ara pels investigadors i investigadores: la via del Segre. Aquesta ha resultat oferir un ampli ventall de variants, tants com condicionants s'han aplicat, tant per part dels individus que formaven el contingent, com per restriccions de l'escenari territorial.

Com a tercera opció, apareix la via de l'interior que travessaria els Pirineus pel Coll d'Ares. Aquesta no és una opció que s'hagi defensat de forma explícita en estudis anteriors, però els resultats dels camins de mínim cost relacionats amb aquesta, es mostren relativament estables, i són els més directes cap al campament de més enllà dels Pirineus, a Elna.

És sobretot quan tenim en compte en els càlculs l'individu dels elefants, que aquesta opció del Coll d'Ares es mostra com una possible nova ruta a investigar en profunditat. Resulta ser la via més curta i més directe, tot i que planteja un mínim augment de temps respecte a la via pel Segre, però, no mostra punts de pas totalment inaccessibles com és el cas del tram Organyà-Cerdanya.

Per finalitzar, s'ha considerat que aquest treball ha superat els objectius

marcats en un inici. Es tenia la intenció de posar a provar les eines SIG en un cas d'estudi de vies sorgides de fonts de l'antiguitat, i com aquestes eines podien ser combinades amb les metodologies clàssiques d'estudi. No només s'ha pogut combinar de forma exitosa, sinó que també, s'ha pogut crear un mètode de treball que s'alimenta d'aquests tres pilars de dades.

Aquest plantejament es pot aplicar en tots els casos que es vulgui investigar antigues rutes, ja estiguin únicament plantejades a les fonts escrites, com per crear models predictius de continuacions de vies existents a l'arqueologia, com d'unió de parts inconnexes d'aquestes.

Destacar com a punt final, que aquest treball realitzat seria la punta de l'iceberg d'una investigació que es podria anar refinant amb la millora de les dades geogràfiques utilitzades, l'aplicació de més condicionants o la realització d'estudis propis sobre les característiques dels individus, extretes de forma més exacta.

No es pot caure en l'error d'entendre els resultats d'aquestes eines SIG com a solucions definitives d'aquestes problemàtiques, perquè no es pot oblidar que aquests càlculs aporten conclusions racionals que poden estar lluny de la realitat en algunes ocasions. Les eines SIG han de ser una tècnica més d'estudi i no la solució definitiva.

Referències bibliogràfiques

Fonts primàries

POLIBI. *Història*. Llibre II-III, vol. II. Trad. RAMON, A. (1930) Barcelona: Fundació Bernat Metge.

POLIBI. *Història*. Llibre II-III, vol. II. Trad. BALASCH, M. (1987). Barcelona: Fundació Bernat Metge.

TITUS LIVI. *Els orígens de Roma: Ab urbe condita. Llibre 21. Vol. 11*. Trad. J. AVILÉS (2007). Barcelona: Fundació Bernat Metge.

Fonts secundàries

ALFARO, C. (1998). «Economía y circulación monetaria en la Segunda Guerra Púnica». A: COSTA B.; FERNÁNDEZ, J. (eds.). *XIII Jornadas de Arqueología Fenicio-Púnica*. Eivissa: Museu Arqueològic d'Eivissa i Formentera, 117-127.

ANDERSON, G. (2012). «Least Cost Pathway Analysis in Archaeological Research: Approaches and Utility». A: DEVIN, A.; SURFACE-EVANS, S. (eds.). *Least Cost Analysis of Social Landscapes: Archaeological Case Studies*. Estats Units d'Amèrica: Universitat d'Utah, 239-258.

ASENSIO, D. (2011). «Evidencias arqueológicas de la incidencia púnica en el mundo ibérico septentrional (siglos VI-III aC). Estado de la cuestión y nuevos enfoques». *Mainake*, 32 (2), 705-734.

ASENSIO, D.; CELA, X.; FERRER, C. (1996). «Els materials ceràmics del poblament ibèric del Castellet de Banyoles (Tivissa)». *Pyrenae*, 27, 163-191.

BAENA, J.; BLASCO, C. (1997). «Análisis macroespacial apoyado en los S.I.G.: El Horizonte campaniforme en la región de Madrid». A: BAENA, J.; BLASCO, C.; BOSQUED, C.; QUESADA, F. (eds.). *Los SIG y el análisis espacial en Arqueología*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 177-193.

BAENA, J.; BLASCO, C.; QUESADA, F. (1999). *Los SIG y el análisis espacial en Arqueología*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

BAILEY, R.; HOWES, D.; HACKENBERGER, S.; WHERRY, D., (1985). «Geographic information processing in land use modeling and testing in the Columbia River basin». Ponència presentada a: *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Society for American Archaeology*. Denver.

BARCELÓ, P. (2000). *Aníbal de Cartago*. Madrid: Alianza Editorial.

BARCELÓ, J.A.; PALLARÈS, M. (1996). «A critique of GIS in Archaeology: From visual seduction to spatial analysis». *Archeologia e Calcolatori*, 7, 313-326.

BELTRÁN, F. (1984). «El año 218 aC. Problemas en torno al comienzo de la segunda guerra púnica en la Península Ibérica». A: IEC (ed.). *Hannibal Pyrenaeum Transgreditur. XXII Centenari del pas d'Anníbal pel Pirineu. 218 aC.-1982 dC. 5è Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà*. Puigcerdà: IEC, 87-145.

BOLÒS, J. (2009). *Atles dels comtats de Rosselló, Conflent, Vallespir i Fenollet (759-991)*. Barcelona: Rafael Dalmau.

BOSCH, P. (1965). «El pas del Pirineu per Aníbal». A: *Homenatge a Vicenç Vives*. Barcelona, 135-141.

BROCH, A. (2004). «De l'existència dels lacetans». *Pyrenae*, 35 (2), 7-2.

BURILLO, F. (2001-2002). «Propuesta de una territorialidad étnica para el Bajo Aragón: los Ausetanos del Ebro u Ositanos». *Kalathos*, 20-21, 159-187.

BUSQUETS, F.; FREIXA, M. (1998). «La part occidental de la via de Capsacosta (la Garrotxa / el Ripollès): història d'un camí». A: INSTITUT D'ESTUDIS CERETANS (ed.). *XI Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà: Comerç i Vies de Comunicació*. Puigcerdà: IEC, 183-190.

BUXÓ, R.; PONS, E.; VARGAS, A. (1998). *El graner de l'Empordà. Mas Castellar de Pontós a l'Edat de Ferro*. Girona: Museu d'Arqueologia de Catalunya-Girona.

CABEZAS, G. (2013). «Aproximación a la logística militar del ejército de Aníbal». *Historiae*, 10, 91-119.

CAMPO, M. (1998). «La moneda griega y su influencia en el contexto indígena». A: ALFARO, C.; ARÉVALO, A.; CAMPO, M.; CHAVES, F.; DOMÍNGUEZ, A.; RIPOLLÈS, P.P. *Historia monetaria de Hispania Antigua*. Madrid: Vico Ed., 116-193.

- CARRERAS, C.; DE SOTO, P.; GUARDIA, J. (2017). «Circuitos comerciales de *Iulia Libica* (Llívia): visiones desde las cerámicas y los mármoles». *Revista d'arqueologia de Ponent*, 27, 147-168. <<https://doi.org/10.21001/rap.2017.27.6>>
- CASAS, J. (1984). «Les vies de comunicació romanes al Pirineu Català oriental. Treball presentat a Hannibal Purenacum Transfreditur». A: IEC (ed.). *XXII Centenari del pas d'Anníbal pel Pirineu. 218 aC – 1982 dC. 5è Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà*. Puigcerdà: IEC, 39-87.
- CREAMER, W. (1985). «The upper Kleithia Valley: computer generated maps of site location». Ponència presentada a: *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Society for American Archaeology*. Denver.
- DE SOTO, P. (2010). *Anàlisi de la xarxa de comunicacions i de transport a la Catalunya romana. Estudis de distribució i mobilitat*. Tesi doctoral inèdita. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- DILOLI, J. (1997). «La transformación de los modelos indígenas de ocupación del territorio ante la romanización, en el curso inferior del Ebro». A: AJUNTAMENT D'ELX (ed.). *XXIII Congreso Nacional de Arqueología*, 1. Elx, 441-448.
- DODGE, T. (1994). *Hannibal. Mechanicsburg*. Pensilvània: Stackpole Books, 611-612.
- DOMÍNGUEZ, J. (2006). «Estructuras Comerciales romanas en el período pre-anibálico: una lectura crítica interdisciplinar del período medio-republicano». *Gerión*, 24 (1), 179-194.
- DOMÍNGUEZ, A. (2015). «Los Autores y la Segunda Guerra Púnica: una visión sesgada». A: BELLÓN, P. et al. (eds.). *La Segunda Guerra Púnica en la península ibérica. Baecula: arqueologia de una Batalla*, Jaén: Publicaciones Universidad de Jaén, 29-48.
- FERGUSON, T.A. (1985). «Use of geographic information systems to recognize patterns of prehistoric cultural adaptation». Ponència presentada a: *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Society for American Archaeology*, Denver.
- FERRER, J. (2000). «Gastos de guerra y administración de bienes de dominio público en la gestión púnica en España». A: GONZÁLEZ, A. (ed.). *II Congreso Internacional del Mundo Púnico*. Cartagena: CPOAT, 439-449.
- FIZ, I.; ORENGO, H. (2007). «Simulating Communication Routes in Mediterranean Alluvial Plains». A: POSLUSCHNY, A.; LAMBERS, K.; HERZOG, I. (eds.). *Layers of perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantative Methods in Archaeology*. Bonn: Habelt, 316-321.
- GILL, S.J.; HOWES, D. (1985). «A geographical information system approach to the use of surface samples in intrasite distributional analysis». Ponència presentada a: *Proceedings of UISPP Commission IV Symposium on Data Management and Mathematical Methods in Archaeology*. Denver.
- GIRALT, F. (2015). «Cartagineses y romanos en la Ilergecia. Testimonios numismáticos». *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 25, 83-101.
- GIUNTA, F. (1988). *Punica Barcino: la fondazione di Barcellona*. Barcelona: Sezione di Studi Storici.
- GRANDIO, E. (1989). *Cartografía automática en Arqueología*. Tesi doctoral inèdita. La Coruña: Universidad de Santiago de Compostela.
- HARRIS, T.M. (1985). «GIS design for archaeological site information retrieval and predictive modelling». Ponència presentada a: *Professional archaeology in Sussex: the next five years*. Seaford, Sussex: Association of Field Archaeologists.
- HARRIS, T.M. (1986). «Geographic information system design for archaeological site information retrieval». A: LAFLIN, S. (ed.). *Computer Applications in Archaeology*. Birmingham: University of Birmingham.
- HARRIS, T.M.; DUDLEY, C. (1984). «A computer-based archaeological site information retrieval system for the Brighton area: a preliminary report». *Sussex Archaeological Society Newsletter*, 42, 366.

- KVAMME, K.L. (1985). «Geographic information systems techniques for regional archaeological research». Ponència presentada a: *Proceedings of UISPP Commission IV Symposium on Data Management and Mathematical Methods in Archaeology*. Denver.
- MARTÍNEZ, J. (1981). «Sobre Aníbal y su paso por los Pirineos». *Faventia*, 2-3, 223-226.
- MARTÍNEZ, S.; SÁEZ, F.; MALALANA, A. (1997). «La aplicación de los SIG como complemento para el estudio de la organización del espacio en la marca media andalusí. El sistema de atalayas en la Cuenca del Jarama (Madrid)». A: BAENA J.; BLASCO, C.; QUESADA, J. (eds.). *Los S.I.G. y el análisis espacial en Arqueología*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 273-308.
- MATA, C. (1998). «La Segunda Guerra Púnica y su incidencia en los pueblos indígenas de la costa mediterránea peninsular». A: COSTA, B.; FERNÁNDEZ, J. (eds.). *XIII Jornades de Arqueologia Fenicio-Púnica*. Eivissa: Museu Arqueològic d'Eivissa i Formentera, 27-48.
- MAUNE, D. (2006). *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual*. Bethesda: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- MOLAS, D. (1993). «Les recerques sobre les societats ausetanes i lacetana. Estat de la qüestió». *Laietània*, 8, 131-143.
- MOREL, P. (1995). «Carthage, Marseille, Athènes, Alexandrie (Notes sur le commerce de Carthage avec quelques métropoles méditerranéennes)». A: HASSINE, N.; GNAKI, M. (eds.). *III Congrès Internationale des Études Phéniciennes et Puniqes*, 2. Tunis, 264-281.
- NOGUERA, J.; BLE, E.; VALDÉS, P. (2013). «La Segona Guerra Púnica al nord-est d'Iberia: una revisió necessària». Barcelona: Societat Catalana d'Arqueologia, 31-104.
- NOGUERA, J.; BLE, E.; LÓPEZ, J.; VALDÉS, P. (2018). «La Ribera d'Ebre: una via de pas de les tropes d'Anníbal Barca durant la segona Guerra Púnica». *Miscel·lània del CERE*, 28, 263-283.
- NGENE, S.; SKIDMORE, A.; VAN GILS, H.; PRINS, H.; TOXOPEUS, A.; DOUGLAS-HAMILTON, I. (2012). «Walk or stride? A question for roaming herds of elephants in Marsabit protected area». A: ARANOVICH, M.; DUFRESNE, O. (ed.). *Elephants: Ecology, Behavior and Conservation*. Estats Units d'Amèrica: Nova Science Publishers, 172-192.
- NUNES, J.; BADIA, A. (en premsa). *Sistemes d'informació geogràfica*. Barcelona: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.
- PICAZO, M. (1977). *La cerámica ática de Ullastret*. Barcelona: Instituto de Arqueología y Prehistoria de la Universidad de Barcelona.
- PICKLES, J. (1999). «Arguments, debates and dialogues: the GIS-social theory debate and the concern for alternatives». A: LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J.; RHIND, D.W. (eds.). *Geographical Information Systems*. Nova York, 49-60.
- PONS, E.; LLORENS, J. M.; TOLEDO, A. (1989). «Le hameau fortifié du Puig Castellet à Lloret de Mar (Girona, Espagne). Un bilan de recherches». *Documents d'Archéologie Méridionale*, 12, 191-222.
<<https://doi.org/10.3406/dam.1989.1002>>
- PRINCIPAL, J. (1996). «Els inicis del procés imperialista romà a Catalunya. La Hispània Citerior (-205/-197)». *Fonaments*, 9, 203-216.
- PROCTOR, D. (1974). *La expedición de Aníbal en la historia*, Madrid: Espasa Calpe.
- QUESADA, F. (2004). «De guerreros a soldados. El ejército de Aníbal como un ejército cartaginés atípico». A: COSTA, B.; FERNÁNDEZ, J. (eds.). *Guerra y ejército en el mundo fenicio-púnico. XIX Jornades de Arqueologia fenicio-púnica*. Eivissa: Museu Arqueològic d'Eivissa i Formentera, 129-161.
- RICO, C. (1996). «Sur les traces d'Hannibal dans les Pyrenees: une nouvelle approche». *Itaca*, 9-11, 111-119.
- RIPOLLÈS, P. (1993). «Hispania: las acuñaciones locales y la financiación de las *rei publicae*». *Rivista Italiana de Numismatica*, 95, 295-306.

- RUIZ, A.; MOLINOS, M. (1993). *Los Iberos, análisis arqueológico de un proceso histórico*. Barcelona: Editorial Crítica.
- RUIZ, I. D. (2013). «El protagonismo de la Península Ibérica en la Segunda Guerra Púnica según las "Historias" de Polibio». A: POCIÑA, A.; GARCÍA, J. (eds.). *En Grecia y Roma, IV: La Paz y la Guerra*. Granada: Universidad de Granada, 385-402.
- SANMARTÍ, E. (1978). *La cerámica campaniense de Emporion y Rhode*. Barcelona: Arqueologia de la Diputació Provincial de Barcelona.
- SANMARTÍ, J. (1991). «El comercio fenicio y púnico en Cataluña». A: *I-IV Jornadas de Arqueología Fenicio-Púnica*. Eivissa: Conselleria de Cultura, Educació i Esports. Govern Balear, 119-135.
- SANTOS, N. (1989). «El paso de Aníbal por los Pirineos». A: *Memorias de Historia Antigua*, 10. Oviedo: Universidad de Oviedo, 125-140.
- VERBRUGGHE, G.; DE CLERCQ, W.; VAN EETVELDE, V. (2017). «Routes across the Civitas Menapiorum: using least cost paths and GIS to locate the Roman roads of Sandy Flanders». *Journal of Historical Geography*, 57, 76-88.
<<https://doi.org/10.1016/j.jhg.2017.06.006>>
- VILLARONGA, L. (1973). *Las monedas hispano-cartaginesas*. Barcelona: Sección Numismática del Círculo Filatélico y Numismático.
- WISE, T. (2004). *Armies of the Carthaginian Wars, 265-146 BC*. Wellingborough: Osprey Publishing.
- XURIGUERA, J. B. (1963). *Aníbal a Catalunya*. Barcelona, Rafael Dalmau.
- ZAMORA, M. (2016). «El uso de los SIG en la arqueología espanyola: enfoques y planteamientos veinte años después». *Anejos a CuPAUAM*, 2, 347-359.

