

# Modelització i simulació aplicades a la recerca i interpretació de camps de batalla

Xavier Rubio Campillo

Director de Tesi: Francesc Xavier Hernández Cardona

Programa de Doctorat en Didàctica de les Ciències Socials i del Patrimoni

Bienni 2005-2007

Universitat de Barcelona

Març 2009

# Capítol 5

## Anàlisi de terreny

En aquest capítol es defineixen les mancances actuals de l'estudi del terreny aplicat als esdeveniments del passat. Es fa un anàlisi dels diferents tipus de cartografia existent al voltant de la història de la guerra, així com les possibles alternatives als sistemes de representació clàssics.

La segona part se centra en els Sistemes d'Informació Geogràfica, eines especialment dissenyades per a tractar les dades provinents del terreny. Es defineixen els diversos conceptes relacionats a nivell teòric, així com les capacitats dels GIS. Seguidament es concreta l'ús d'aquestes aplicacions per a modelitzar geogràficament un camp de batalla, tot mostrant quin tipus de coneixement podem generar a partir d'aquest model. Finalment, es proposen diversos sistemes de representació cartogràfica comprensiva, útils per a unificar les dades provinents de la recerca amb una transferència de coneixement efectiva i didàctica del nostre passat vers la societat.

### 5.1 Espai i activitats humanes

Els humans, com la resta d'éssers vius, estan restringits per l'entorn espacial en el que es mouen. Podríem dir que gairebé totes les coses que passen, lògicament passen en algun lloc concret. Tot i que sovint no és una variable que es tingui en compte, especialment en determinades Ciències Socials, el cert és que el territori és un dels factors principals que expliquen els fets de l'home i, per tant, és estudiar-lo

és gairebé imperatiu.

És difícilment comprensible el motiu pel qual es menysprea el factor espacial dins la Història. El tractament del terreny, que es gairebé obligatori en altres disciplines científiques, s'obvia sovint quan parlem de la recerca històrica; prova d'això és el limitadíssim número de mapes i cartografia dins les revistes acadèmiques del sector, fins i tot en articles relacionats amb el territori com podrien ser qüestions demogràfiques, paisatgístiques, poblacionals, etc. Així doncs, no hi ha un altre remei que reconèixer la certesa d'aquestes paraules (Demers 2003, p. 22):

We all operate in a spatial environment, but we are often oblivious to the space around us, paying no attention to how we and other objects occupy, move through, interact with and even modify our space.

Per tot això, cal refer la perspectiva existent sobre l'estudi del territori, així com la seva importància tant en la recerca pròpiament dita com en la presentació didàctica de la mateixa. En referència al tema concret d'aquest treball, la interpretació de la guerra a l'edat moderna, la situació és encara més precària, doncs si per una banda és evident que el terreny és un dels factors bàsics en quant a història militar es refereix, per l'altra només es fa referència al territori de manera textual, o com a màxim amb una cartografia que no aconsegueix els seus objectius en quant a didàctica es refereix, tal i com veurem a continuació. Per extensió en la immensa majoria dels casos el terreny no juga cap paper dins la recerca, basada gairebé en la seva totalitat en fonts primàries textuales.

## **5.2 La comprensió del factor geogràfic: cartografia i didàctica**

Com hem esmentat anteriorment, els camps de batalla són, des d'un punt de vista històric i arqueològic, un dels referents patrimonials més poc coneguts. Addicionalment a les dificultats d'interpretació sorgeixen les de visita de la zona en qüestió, doncs sovint una persona interessada no podrà visitar el camp de batalla per falta

de protecció i adequació del terreny. Així doncs, les publicacions de llibres i articles relacionats amb el tema són bàsiques per a la comprensió d'aquest tipus de fets històrics, i l'èxit al respecte estarà molt relacionat amb el potencial didàctic de les obres en qüestió.

En el tradicional format de paper existeixen, en aquest sentit, quatre eines disponibles per a l'autor en l'intent de millorar la comprensió: textos, iconografia, fotografia i cartografia. D'aquests elements, generalment presents en qualsevol llibre que tracti d'explicar una batalla, l'últim és el que està més ben posicionat per a augmentar la comprensió del territori i el desenvolupament del succés històric en termes geogràfics. Si l'autor de la publicació ha pogut visitar el camp de batalla, els mapes poden estar complementats per fotografies de l'àrea, però aquests seguiran tenint el problema de les modificacions que l'esdevenir del temps ha ocasionat al paisatge.

D'altra banda, hi ha exemples notables de la reconstrucció d'un camp de batalla i el seu paisatge a través de descripcions textuales, com per exemple la que l'autor Glenn Foard fa del terreny en el qual es va donar la batalla de Naseby al 1645 (Foard 2007, pp. 209-215).

Malgrat tot, el que pot ésser adequat en l'àmbit acadèmic no ho és tant quan es parla d'una interpretació didàctica de l'enfrontament, doncs aquest tipus de reconstruccions, fruit d'estudis referents a arqueologia del paisatge, no són gaire entenedors pel que fa al públic no expert. Addicionalment, la generació de coneixement geogràfic i paisatgístic expressat sols en termes textuales s'hauria de poder compatibilitzar amb altres tipus de formats, i d'altra banda són dades que difícilment podran integrar-se amb altres fonts si no es tradueixen en elements cartogràfics.

Així, per exemple, dins un llibre que recull diaris i testimonis de combats al llarg del segle XX podem trobar fragments com el següent, referent a la operació Crusader, lliurada entre l'Àfrica Korps i el vuitè exèrcit britànic a Líbia al 1941 (Perrett 2001, p. 115):

They were travelling well south of the scarpment because the two exits from the coastal plain, Halfaya Pass and Sollum, were still in Axis hands.

In May and June there had been heavy fighting in these areas during abortive attempts to relieve the embattled fortress of Tobruk, but now it had been decided to by-pass their garrisons and break the siege with the infantry and tanks of XIII Corps while, to the south, the armoured brigades of XXX Corps simultaneously brought the German and Italian armour to battle and destroyed it. At least, that was the theory of the Eighth Army's plan.

Malgrat l'interès que una font primària com aquesta pugui tenir, la total absència de cartografia que marqui els topònims esmentats, desplegaments, etc. fan que la comprensió de l'enfrontament sigui més aviat minsa, per no dir gairebé impossible. A més, una publicació com aquesta conté descripcions de 12 batalles diferents per tot el globus terraquí, sense mostrar ni un sol mapa. Es destaca, doncs, la necessitat que les publicacions sobre història de la guerra adreçades a la transferència de coneixement cap a la societat requereixen de cartografia comprensiva, per molta qualitat que tinguin les fonts textuales consultades.

### 5.2.1 Visualització del model de terreny

El model tradicional emprat per a mostrar les accions i maniobres fetes per les diferents tropes en la lluita és el dels mapes en dues dimensions (Sobre la creació de cartografia bidimensional veure Krygier i Wood 2005). El terreny és classificat segons la seva altura, i aquestes divisions serveixen com a marc en el qual mostrar altres accidents geogràfics rellevants en l'explicació de la batalla, definits normalment mitjançant iconografia i símbols.

Les concentracions de tropes (generalment dibuixades com a blocs rectangulars) són identificades per un patró amb que s'omple el rectangle, o bé per color, indicant també el nom de la unitat a la que corresponen. finalment, les diferents maniobres són marcades amb fletxes, diferenciant la maniobra per tipus de línia (llisa, guions, punts, etc.) per tal de mostrar els itineraris de les diferents unitats.

Aquest sistema és emprat generalment en tota la cartografia, i de fet els seus orígens estan íntimament lligats al disseny de mapes per part dels estats majors

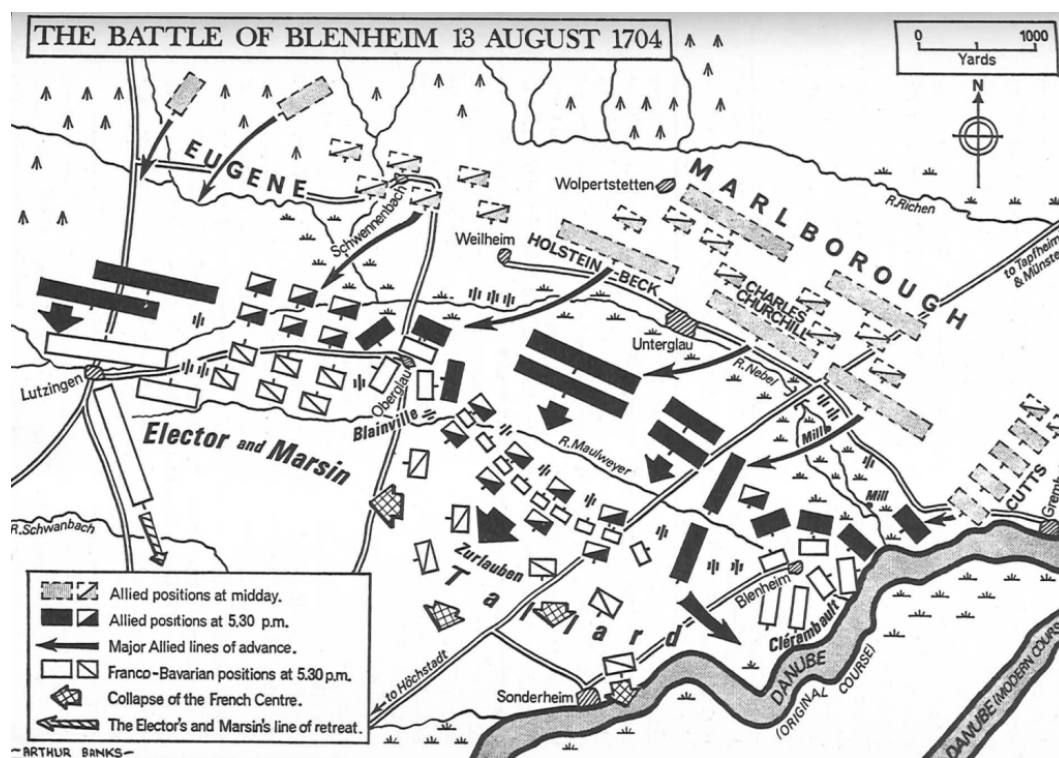


Figura 5.1: Batalla de Blenheim (Chandler 2000, p. 143)

militars, que van crear serveis de cartografia cap a finals del segle XIX. El mateix sistema és aplicat per a explicar una enfrontament històric, però en aquest context pateix una sèrie de problemes relacionats amb l'estudi del camp de batalla. Així, tot i que certament és un model vàlid en quant a descripcions de maniobres militars a nivell operacional, el seu alt nivell d'abstracció comporta problemes en quant a l'estudi d'una acció tàctica com és una batalla, que necessitaria mapes a gran escala que donessin al terreny a on aquesta es lliurà la importància que realment té.

Un mapa en dues dimensions, com el mostrat a la figura 5.1, té una capacitat limitada en quant a la representació del terreny, els seus accidents i particularitats. En general és necessari complementar-lo amb descripcions del lloc d'enfrontament, doncs la falta d'una tercera dimensió que permeti crear-se una idea de l'altura relativa de cada zona del camp de batalla complica de mode important el seguiment i l'explicació de les maniobres que en ell van tenir lloc.

Aquest sistema, que en alguns casos podria no ser un obstacle per a entendre correctament una situació, és un dèficit important quan es parla d'un enfrontament

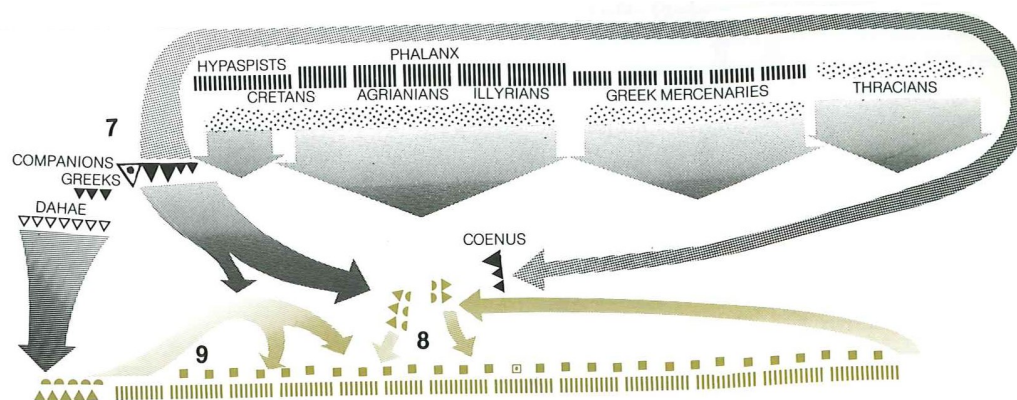


Figura 5.2: Batalla del riu Hydaspes (Warry 1995, p. 85)

bèl·lic, doncs com s'ha exposat anteriorment (Veure 3.7.2), el paisatge en el qual una batalla va tenir lloc marca de manera important tant el desenvolupament de la mateixa com les causes mateixes de l'enfrontament, i les seves conseqüències. Així, en alguns casos la total inexistència de geografia als mapes d'una batalla poden portar a l'eliminació d'aquest factor de la seva interpretació, i finalment a una pèrdua de comprensió. Com a exemple, veure el mapa il·lustrat a la figura 5.2. Mostra la batalla del riu Hydaspes, succeïda quan Alexandre el Gran de Macedònia volia creuar el riu que servia de frontera entre Pèrsia i la Índia. Així, s'explica una batalla que va tenir el seu origen en el creuament d'un riu sense tenir-ho en compte, ni situar-ho al mapa.

Existeixen dues solucions per a contrarestar aquesta falta de perspectiva, depenent del tipus de publicació. En llibres amb il·lustracions en blanc i negre es fan servir corbes de nivell, que marquen les diferents elevacions del terreny (Veure figura 5.3), mentre que si existeix la possibilitat de cartografia a color, es fa servir aquest element per a diferenciar les altures existents.

Aquests sistemes poden ésser molt efectius en mapes a escala petita<sup>1</sup>, com poden ser els de tipus estratègic o operacional, en especial amb la introducció de color.

<sup>1</sup>Com a nota aclaridora cal destacar que, parlant en termes cartogràfics, un mapa a escala petita representa una àrea de gran extensió (per exemple les escales emprades tradicionalment en mapes topogràfics, com 1:50.000 i 1:250.000). Un mapa a escala gran representa el terreny amb gran fidelitat, amb escales fetes a 1:5000 o majors.

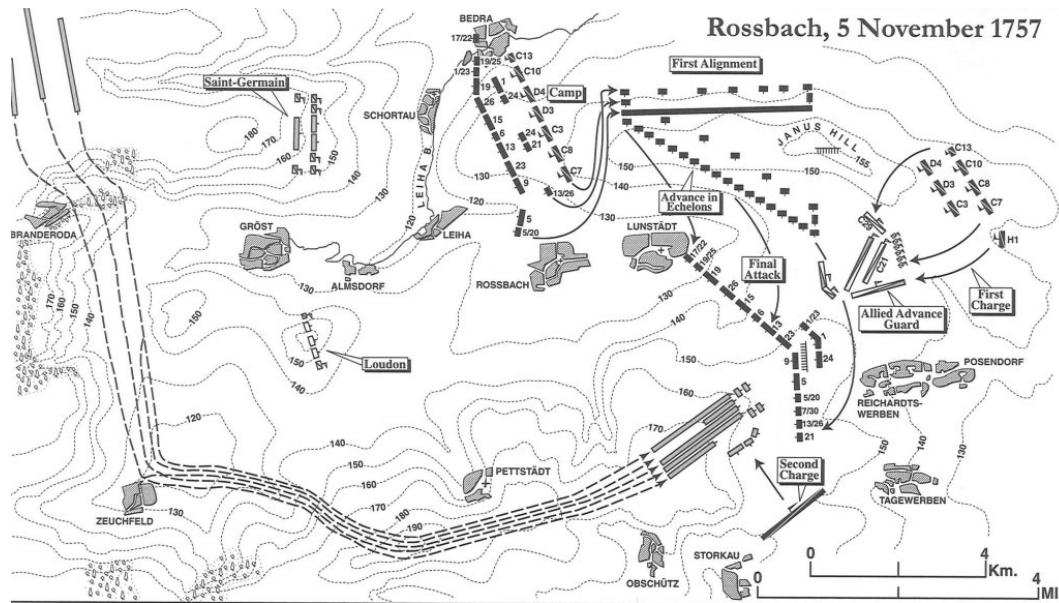


Figura 5.3: Batalla de Rossbach, 1757 (Duffy 2003, p. 67)

La figura 5.4 és un bon exemple d'aquest fet, doncs el mapa mostrat planteja les possibles zones a on es van poder establir els campaments anteriors a la batalla de Cannae (216 aC), hipòtesis sustentades en la seva majoria per factors geogràfics.

Per contra, si traslladem aquests mapes a una escala major serà difícil situar el terreny a partir d'imatges en dues dimensions, doncs la falta de perspectiva pren molta importància. Al mateix temps no és fàcil entendre les maniobres sobre aquest tipus de cartografia. Per aquest motiu alguns publicacions recorren a algun tipus de projecció ortogràfica, amb la intenció de donar un millor punt de vista de la geografia del terreny. La contrapartida d'aquest model és un increment en la complexitat de realització, doncs és necessari partir d'una base de dades geogràfica més rica, a fi de disposar de la informació adient per a la reconstrucció del terreny. El resultat, d'altra banda, és molt superior, ja que és molt més fàcil comprendre el paisatge de la zona. Veure, per exemple, el sistema seguit a les figures 5.5 i 5.6, a on els responsables han il·lustrat detalladament el terreny generat a partir de reconstruccions informàtiques de l'elevacions creades amb una malla de quadrats.

Les projeccions ortogràfiques tenen una altra avantatge sobre la cartografia en dues dimensions, i és el fet de permetre modificar el punt de vista observat pel lector,



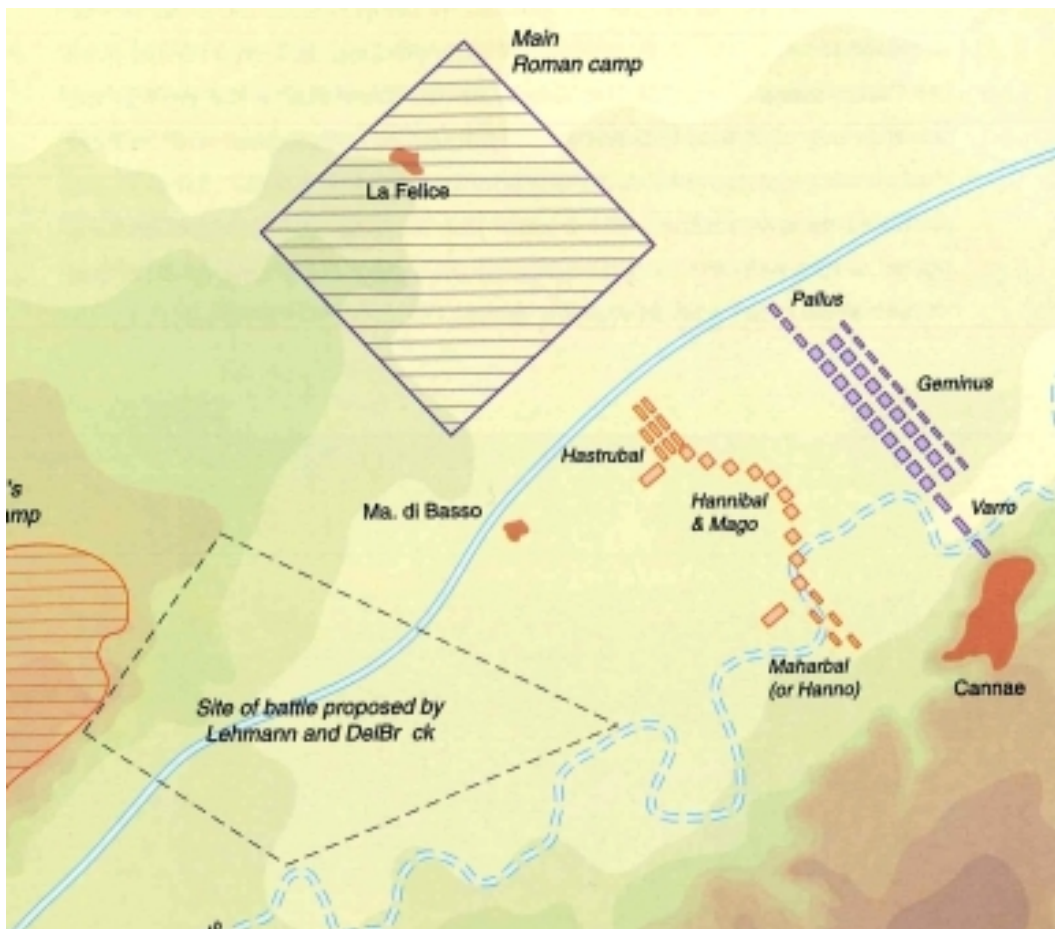


Figura 5.4: Situació prèvia a la batalla de Cannae (Goldsworthy 2001, p. 88)

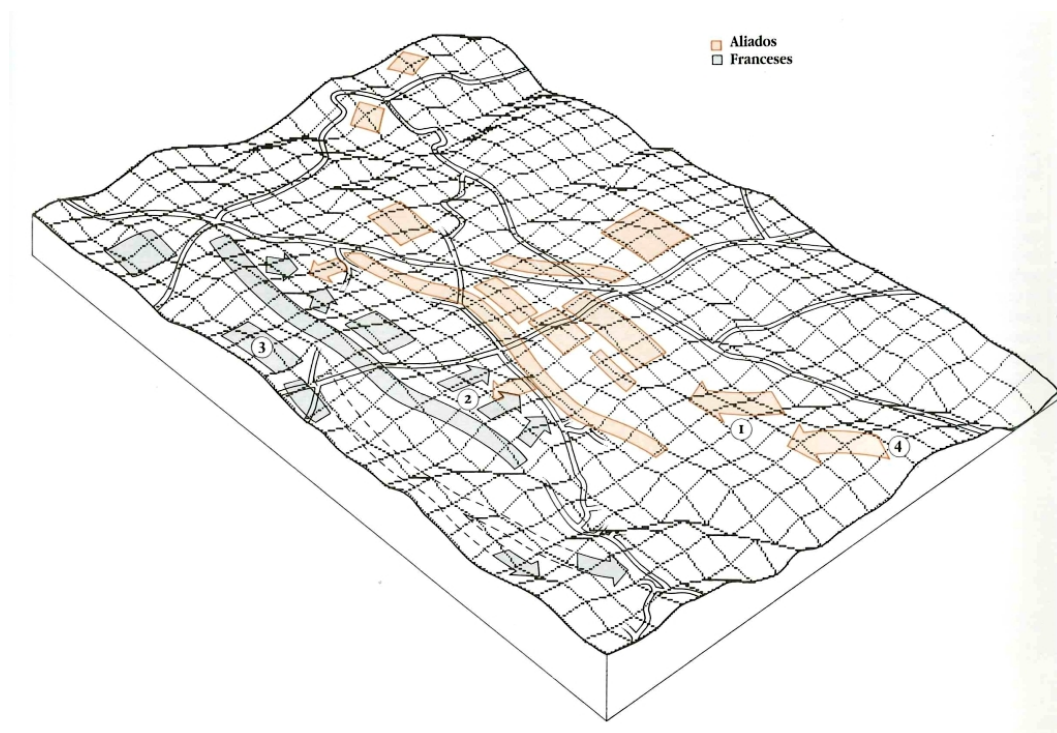


Figura 5.5: Malla d'altures de Waterloo (MacDonald 1997, pp. 72-73)

amb la intenció de donar-li múltiples observatoris de l'acció representada cartogràficament. El problema, en aquest cas, és la correcta orientació de les il·lustracions, dons si no es defineix correctament quina fracció de terreny és visible, a quina escala, i amb quina orientació, l'ús massiu d'aquesta tècnica pot contribuir a una desorientació important del lector.

D'altra banda, la visió que es proporciona a la persona que està llegint un mapa d'aquestes característiques està allunyada del punt de vista que van tenir els protagonistes. Així, és difícil entendre la seva percepció, la manera en la qual podien veure l'enemic i altres paràmetres relacionats amb la visualització del terreny.

### 5.2.2 Simbologia

A banda de la visualització del terreny, l'altre component important de la cartografia emprada en la interpretació de camps de batalla és el que mostra al lector les forces que van intervenir en ella, així com els seus moviments i accions.

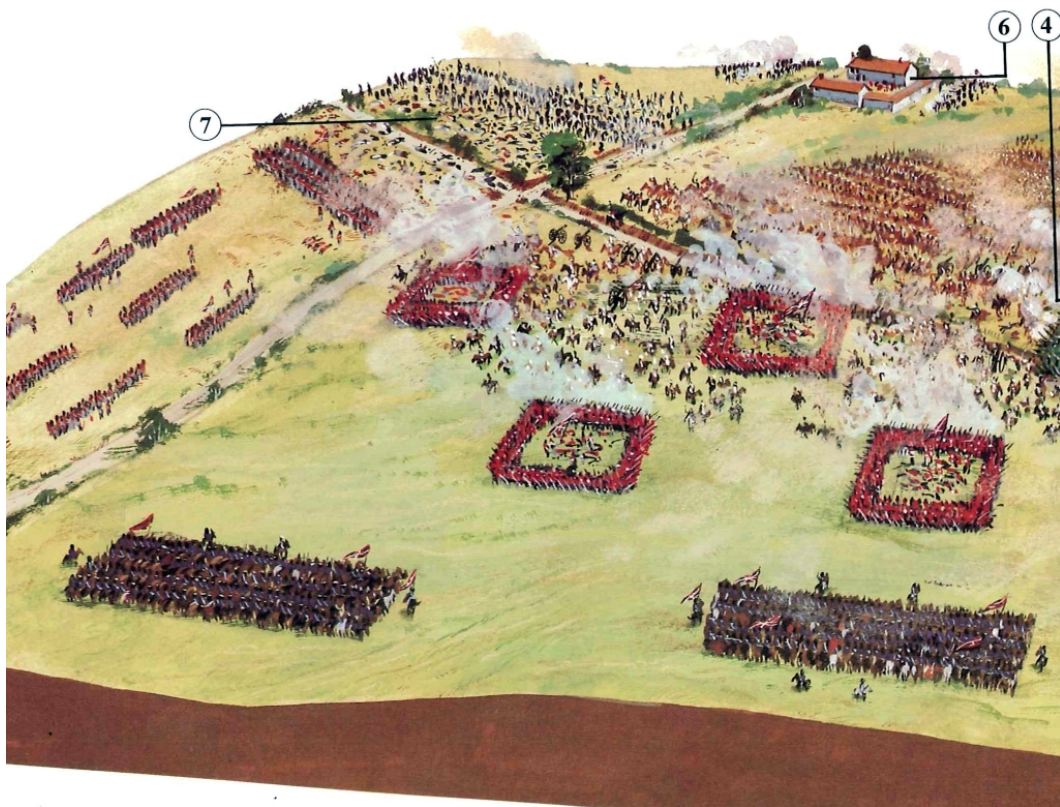


Figura 5.6: Il·lustració feta a partir de malla (MacDonald 1997, p. 74)

### 5.2.2.1 Representació dels exèrcits

La forma normal de representació dels milers de soldats que van participar en un enfrontament bèl·lic és la reducció d'aquestes tropes a simples blocs geomètrics, decorats amb icones relacionades amb l'armament que tenien. Usualment es fa servir la simbologia dissenyada per la OTAN durant la segona part del segle XX, fins i tot per mapes que mostrin esdeveniments anteriors a aquesta època (Veure l'anterior figura 5.1, que descriu una batalla del 1704.).

L'ús de simbologia OTAN complica la comprensió d'aquests mapes en cas que el lector no estigui familiaritzat amb el codi iconogràfic, doncs són símbols dissenyats amb un grau d'abstracció elevat, i que a priori no donen cap mena de pista sobre el seu significat. Una mostra és el mapa 5.7, a on es mostren múltiples símbols sobre el mapa, corresponents a diversos tipus de tropes i grandàries diferents (batallons, divisions, cossos d'exèrcit, etc.).

D'altra banda, el disseny genèric de blocs rectangulars comporta una simplificació important dels fets històrics, molt lligada al mode d'explicar una batalla descrit en apartats anteriors d'aquest treball (Veure apartat 3.7.1).

Finalment, a aquests inconvenients s'uneix la inexactitud a la hora de definir la grandària d'aquests símbols, doncs en general no es corresponen a l'espai real que haurien d'ocupar les formacions de soldats que representen. Aquesta tendència, que actualment s'intenta evitar en treballs de caire més acadèmic, és encara palpable en les publicacions dedicades a la difusió i transmissió de coneixements cap a la societat. Prova d'aquest fet és la comparació entre les figures 5.3 i 5.8, cartografia d'escala semblant dissenyada per a representar la mateixa batalla: la victòria prussiana sobre l'exèrcit francès ocorreguda a Rossbach el 1757, durant la Guerra dels Set Anys (1756-1763). Mentre que en el segon mapa les formacions són dibuixades sense cap rigor en quant a proporcions, a la primera es mostren aquestes dades de forma correcta, ajudant a entendre que la incapacitat dels comandants francesos per a desplegar les columnes en *battalia* va ser el factor decisor de la seva derrota.

Una última aproximació, molt més complexa, és la creació d'il·lustracions en les que es mostrin a escala les tropes, sense ésser aquestes simplificades en blocs



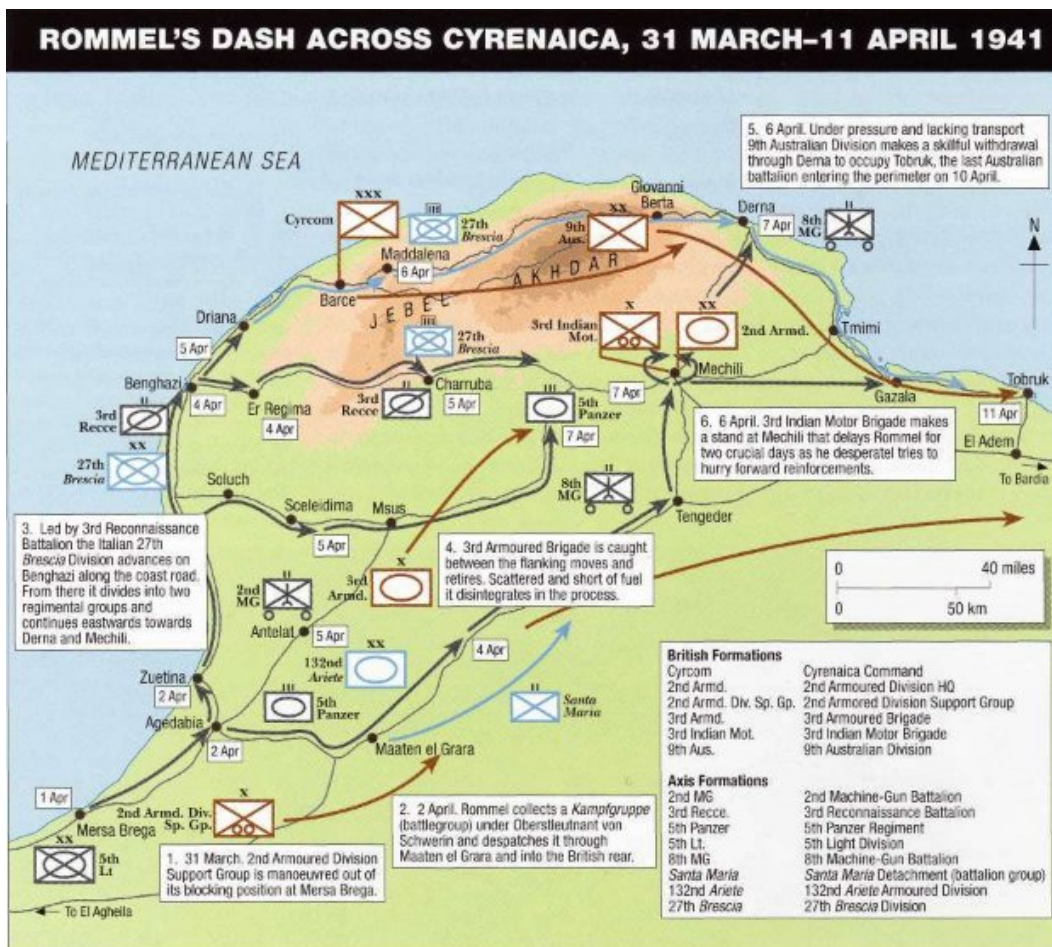


Figura 5.7: Exemple de símbols cartogràfics (Latimer 2001, p. 30)

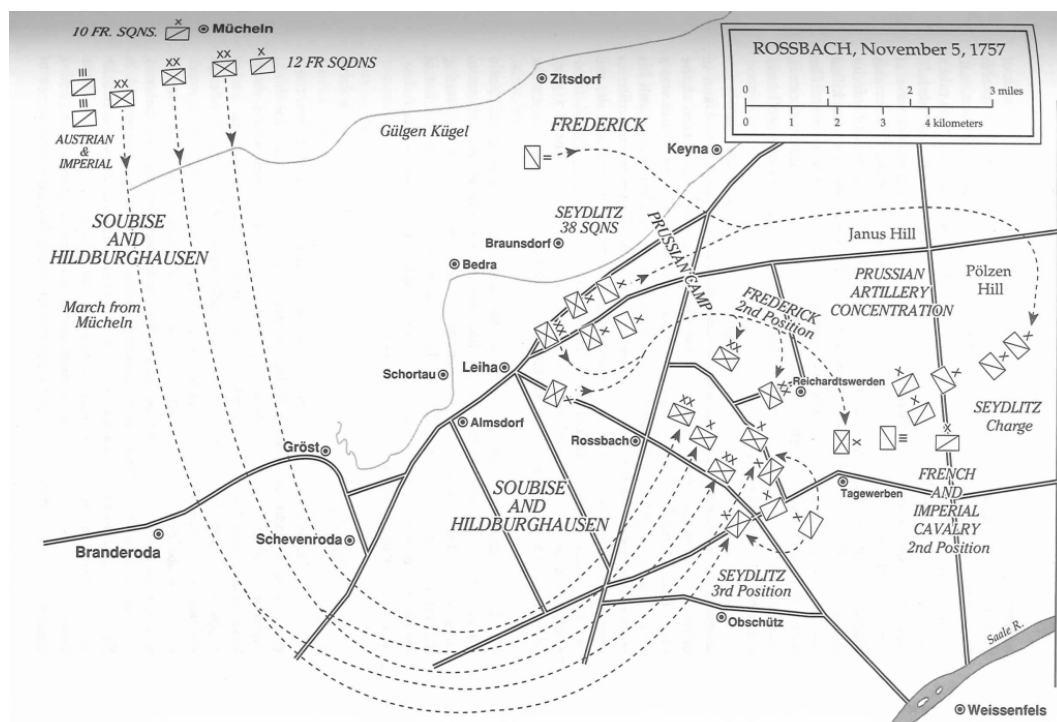


Figura 5.8: Batalla de Rossbach, 1757 (Weigley 2004, p. 179)

geomètrics.

En aquest sentit cal entendre l'esforç de publicacions com la que va generar la figura 5.6. Aquest sistema, que permet una major flexibilitat en quant a la descripció del camp de batalla, és per contra més car en quant a la realització de la cartografia, encara que existeixen mètodes més senzills per a intentar aconseguir un efecte semblant (Veure, per exemple, la figura 5.9).

### 5.2.3 El factor temporal

El punt determinant en la comprensió d'una batalla és el mode en el qual aquesta es va desenvolupar, i per aquest motiu la presència del factor temporal en la cartografia mostrada ha d'estar meditada. El mecanisme usual per a mostrar aquest concepte són les fletxes de moviment, acompanyades de text explicatiu, com es pot veure a les figures 5.3 i 5.8. Encara que és un sistema prou intuïtiu, l'abús que algunes publicacions fan d'ell pot portar al lector a sentir-se desorientat, a causa d'una incorrecta visualització en l'ordre dels diferents esdeveniments marcats per fletxes.

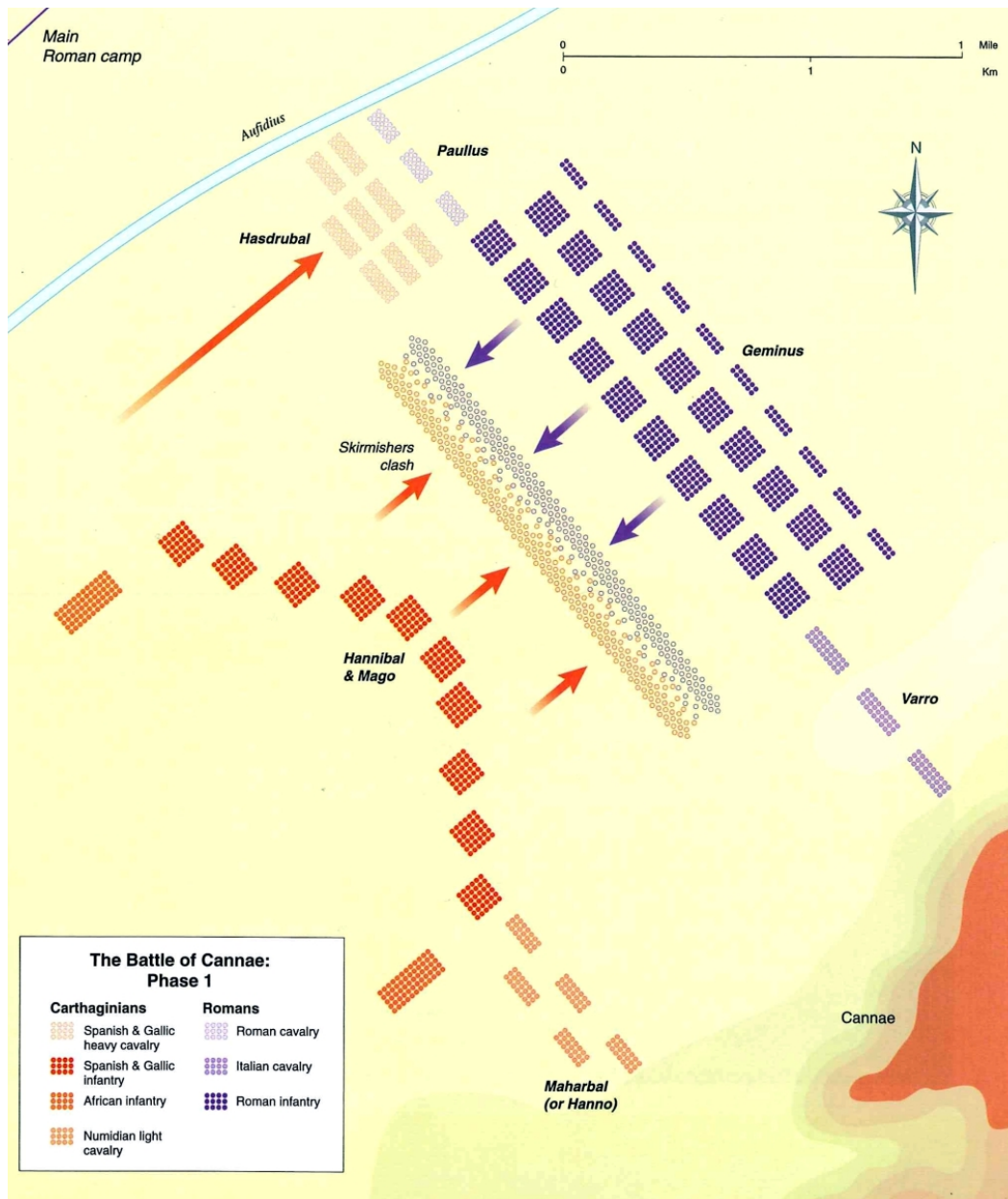


Figura 5.9: Batalla de Cannae (Goldsworthy 2001, p. 116)

Veure, per exemple, 5.2, a on és força complex saber el que signifiquen algunes de les indicacions mostrades sobre el mapa.

La solució a aquest problema ha de passar per evitar col·locar diverses fases temporals de la batalla en un mateix mapa, amb la intenció de detallar clarament cadascuna d'elles sense temor de perdre el fil temporal. A aquest efecte és interessant la col·locació de les tropes després del moviment en un altre patró de color, com mostra el mapa 5.9.

#### 5.2.4 Altres elements de referència

La utilitat dels mapes per a complementar la narració d'una batalla no s'acaba pas en la representació del terreny i les maniobres, doncs poden contribuir a millorar la comprensió de la resta del material posat a disposició del lector. És el cas, per exemple, del material fotogràfic que il·lustri el paisatge del camp de batalla. És força difícil que un lector que no hagi visitat un camp de batalla pugui situar el punt des del qual es va realitzar una fotografia, així com la direcció d'enfoc; les indicacions textuais no serveixen de gaire, doncs és complicat orientar-se espacialment en un entorn paisatgístic que és totalment desconegut i s'està explorant a partir d'un llibre. Per aquest motiu, identificar els elements i accidents geogràfics que es mostren en aquestes fotografies no és una tasca fàcil.

Veure, a aquest efecte, l'exemple de text que explica la situació de la figura 5.10. Un mapa amb la localització i orientació de les fotografies mostrades en el llibre és una bona aportació per a resoldre aquest problema. Al conjunt format per les figures 5.11 i 5.12 es pot veure aquest tipus d'ajuda cartogràfica (Rubio 2008, pp. 145-153).

#### 5.2.5 La creació de nova cartografia

Per acabar aquest anàlisi de la cartografia existent en quant a història militar, cal dir que generalment és menysté la importància de la mateixa pel que fa a una interpretació didàctica del passat.

Com veiem, no és fàcil combinar dades provinents de fonts textuais amb el terreny





*The low Kiefern-Berg ridge at Sagschütz as seen by the attacking Prussians*

Figura 5.10: Fotografia de Leuthen, 1757 (Duffy 2003, p. 152)



Figura 5.11: Fotografia panoràmica del camp de batalla d'Almenar, 1710



Figura 5.12: Orientació i posició de la càmera a la fotografia anterior

a on es lliurà una batalla. La creació de cartografia útil és un procés realment complicat, però és possible dissenyar mapes comprensius que siguin de gran ajuda al públic interessat en els fets històrics. Un bon mapa és capaç de fer que el seu lector vegi certs patrons i dades que d'altra manera no es podrien reconèixer (Longley et al. 2006, p. 316), i això no solament és important pel que fa a la transmissió de sabers científics, sinó que també pot ser fonamental alhora de fer investigació, tal i com veurem al llarg d'aquest treball.

## 5.3 Els Sistemes d'Informació Geogràfica

Un cop establert el requeriment d'estudiar, analitzar i visualitzar el factor geogràfic quan s'està estudiant un conflicte bèl·lic, caldrà veure com podem realitzar aquest conjunt de tasques de manera efectiva. Per a fer-ho, necessitarem una eina capaç d'integrar aquest tipus de dades dins un entorn de treball que pugui generar informació a partir de les mateixes, els Sistemes d'Informació Geogràfica o GIS<sup>2</sup>.

### 5.3.1 Definició

Des d'una perspectiva general podríem definir els Sistemes d'Informació Geogràfica com a un conjunt d'eines que permeten processar dades de tipus espacials, transformant-les en informació lligada a una porció de la Terra, i que és emprada per a la presa de decisions sobre aquest fragment del planeta (Demers 2003, p. 7).

Aquesta definició, de fet, és tan genèrica que aporta poca informació sobre el que realment és un GIS. Els problemes de definició són usats en sistemes utilitzats de manera tan transversal com els GIS, doncs cadascú entén com a GIS allò que fa servir del sistema<sup>3</sup>.

Podrem trobar, doncs, moltes definicions diferents del que és un GIS (Núñez Andrés 2001), però en general totes es refereixen al mateix concepte, que es podria resumir de la següent manera (Rhind 1988):

A computer system for collecting, checking, integrating and analyzing information related to the surface of the earth.

Podríem afegir que un GIS serveix per a tractar dades relacionades específicament

---

<sup>2</sup>Com a aclariment s'ha de ressenyar que actualment es fan servir indistintament els acrònims GIS, provinent de la denominació anglesa *Geographic Information System*, o SIG, fruit de la traducció al català. En aquest treball es farà servir generalment la primera forma, tot i que es poden entendre com a sinònims.

<sup>3</sup>Malgrat tot, és important definir el que no és un GIS. Els CAD (Computer Assisted Drafting), usats en el disseny arquitectònic, i els CAC (Computer Assisted Cartography) no són Sistemes d'Informació Geogràfica, doncs a tots dos els hi manca la capacitat d'anàlisi espacial que és típica d'aquests.

amb un problema a escala geogràfica. Així doncs, ni s'ocupa de situacions que tinguin un perímetre de pocs metres quadrats (per exemple un sol edifici), ni de les que impliquin dimensions superiors a l'escala planetària.

També cal destacar que amb el GIS no podem treballar amb dades que no siguin explícitament espacials (creences, opinions, etc.). Malgrat tot, moltes d'aquestes variables poden tenir algun tipus de context espacial, per exemple tenint en compte les variacions existents entre diversos punts del territori.

Finalment, un altre aspecte a destacar és que són eines que ajuden a omplir el buit que hi pugui haver entre una pregunta o problemàtica general, i les dades concretes detallades; és a dir, els GIS actuen d'enllaç entre la macroescala i la microescala, tenint en compte les seves capacitats d'anàlisi, recopilació i cerca d'informació (Longley et al. 2006, p. 14). En aquest sentit és important emprar la eina de manera correcta, doncs en cas contrari l'investigador es pot veure fàcilment perdut entre el volum de dades a que té accés. Per tant, quan s'estigui fent servir un GIS caldrà triar les dades tot tenint en compte els requeriments de la problemàtica que volem resoldre, així com els algorismes i utilitats que puguem fer servir al llarg de la recerca.

### 5.3.2 Breu història dels GIS

Igual que passa amb d'altres sistemes tecnològics (ordinadors, Internet, web, etc.) existeix certa controvèrsia sobre l'origen dels GIS, doncs s'han establert diversos nuclis de desenvolupament paral·lels, que al seu torn s'han anat influint entre ells. Entre els més destacats trobem Amèrica del Nord, Europa i Austràlia, zones que segueixen essent ara mateix capdavanteres en quant a recerca aplicada als GIS es refereix.

La primera aplicació GIS, tal i com l'entendem en aquest treball, fou desenvolupada a Canadà a principis del anys 60, i coneguda com a CGIS (Canadian Geographical Information System). El seu disseny fou esperonat per l'intent de classificar i conèixer els recursos existents en l'enorme i poc poblat territori canadenc, tot analitzant el seu potencial em quant a usos presents i futurs. El problema principal que es troba-

ven els geògrafs era que, a partir d'un mapa tradicional, difícilment podien mesurar àrees de forma correcta, i per tant van començar a crear eines informàtiques capaces d'automatitzar el procés.

A inicis dels anys 70 els britànics van contribuir a la renovació de la cartografia a partir del disseny assistit per ordinador (1973), essent seguits per les agències d'altres països europeus, que van anar programant aplicacions GIS relacionades amb educació, economia, etc.

Poc després els Estats Units van crear un programari de característiques semblants al anterior, però orientat a analitzar el cens poblacional del país. El programa, anomenat DIME (Dual Independent Map Encoding), va afegir dades referents a tots els carrers dels Estats Units. Veient la similitud entre aquest projecte i CGIS, la Universitat de Harvard va començar a dissenyar el primer GIS de caràcter general, que va veure la llum a finals dels anys 70 amb el nom de Odyssey GIS.

Per aquesta mateixa època s'anà introduint l'ús d'ordinadors en el disseny de la cartografia de cada estat. Malgrat tot, no fou fins al 1995 que un país (Regne Unit) aconseguí tenir una base de dades informàtica que contingués el 100% del seu territori.

És important destacar el fet que, sense les fonts apropiades de dades, tots aquests avenços haguessin estat, sens dubte, limitats. Així, durant els anys 50 es desenvoluparen els primers satèl·lits militars capaços de recollir intel·ligència relacionada amb la superfície del planeta. Les tasques encomanades a aquests aparells anaren sobrepasant la seva funció original, i ja cap als anys 70 existien satèl·lits amb capacitat per a obtenir fotografies i altres tipus de dades, que es van posar per primer cop al servei de la societat civil.

Altres avenços importants foren els que van resultar de la necessitat de crear nous sistemes de posicionament, que permetessin disparar de forma acurada els ICBM (InterContinental Ballistic Missile) nuclears, paradigma de l'anomenada Guerra Freda entre els EEUU i la URSS. Aquest és l'origen de les noves tècniques de posicionament referenciat, així com de la creació dels aparells GPS (Global Positioning System) actualment presents, per exemple, en els cotxes.

Com veiem, fins a finals dels anys 70 l'ús de GIS estava limitat a les agències estatals més poderoses, així com a les aplicacions militars. No és un fet aïllat, doncs fins que a principis dels anys 80 no es popularitzà l'ordinador personal fou econòmicament impossible que les aplicacions informàtiques fossin emprades de manera global en l'entorn civil. Així, a principis dels 80 l'ús dels GIS començà a ser assequible per petites i mitjanes empreses, i finalment als anys 90 i al tombant de segle s'han convertit en eines indispensables per a multitud de tasques de camps molt diversos.

### 5.3.3 Estructura

El que tenen en comú tots els GIS existents en l'actualitat és una estructura compartida, composta dels següents elements:

1. Un subsistema encarregat de les dades d'entrada. Aquest component preprocessa informació provinent de les fonts més variades, i procura compatibilitzar els diferents formats i tipus de dades.
2. Un subsistema d'emmagatzematge de les dades amb capacitat d'actualització, edició i consulta.
3. Un component d'anàlisi d'aquestes dades, que pugui manipular-les a partir de diversos algorismes i funcions matemàtiques concretes.
4. Un element de visualització, sigui en forma de taules, gràfics o bé directament mapes.

D'aquests quatre punts, el tercer és el més important d'un GIS. La capacitat d'analitzar les dades és el que li dona flexibilitat i potència, i el fa útil per a relacionar informació amb diversos orígens, sempre tenint en compte el factor espacial. Així, els GIS són eines que poden percebre patrons espacials (localització de determinats fenòmens, seguiment de modificacions del terreny, etc.), així com obtenir nova informació que, a simple vista, seria difícil de visualitzar i entendre.

### 5.3.4 Entitats espacials

Per a començar a treballar amb un GIS, primer hem de tenir en compte com podem representar les dades que siguin rellevants pel que fa a la resolució del problema que volem tractar.

La representació iconogràfica d'objectes del món real es pot definir a partir de quatre tipus bàsics d'entitats, anant des de la més senzilla a la més complexa:

- Punts
  
- Línies
  
- Àrees
  
- Volums

La traducció d'aquesta tipologia dins un sistema cartogràfic (com és un GIS, o d'altres aplicacions com un CAC) no és directe, doncs cal pensar en l'escala emprada, la complexitat que vulguem donar a cadascun dels elements, etc.

Per exemple, si volem representar una casa dins una escala suficientment elevada, podem fer-ho a partir de delimitar el seu perímetre (és a dir, marcar l'àrea). Si ens allunyem i observem una zona més gran, a on hi ha milers de cases, les representarem amb punts, doncs en cas contrari el mapa seria massa complicat d'entendre, essent la delimitació del perímetre de cada casa completament innecessària. Finalment, si el que ens interessa és la densitat de la urbanització a escala estatal, probablement ens serà més útil fer servir una representació volumètrica que ens doni un valor de densitat de cases a cada punt concret del mapa. El mateix passa, per exemple, amb les elevacions del terreny; tot i que a priori estem parlant d'una dada volumètrica, la podem transformar en línies a partir de corbes de nivell, o bé marcar en un mapa tots els turons amb un símbol concret expressat a la llegenda del mateix.

Així doncs, podem concloure que per a triar la representació que cada element espacial tindrà a dins del nostre GIS hem de tenir en compte tant l'escala a la que treballarem com l'ús que vulguem donar a cada variable.



Els punts representen elements que solament poden existir en un lloc determinat en unes coordenades temporals concretes. Així, son dades discretes, doncs no tenen continuïtat al llarg de l'espai representat. De fet, en termes computacionals es considera que no tenen dimensió i, per tant, no es pot calcular la seva llargada o volum. Això, evidentment, és fals, doncs tot element existent en la realitat té per força tres dimensions, i si realment no les tinguessin no els podríem veure ni mesurar. Malgrat tot, cal fer aquesta simplificació alhora de treballar amb GIS, doncs en cas contrari el nivell de càlcul requerit per fer el més mínim dels processos seria extraordinàriament elevat. Exemples d'aquest tipus de dades 0-dimensionals són arbres, persones, interseccions de carreteres, etc. Al tenir 0 dimensions, doncs, no podem fer mesures d'un objecte representat amb un punt. Malgrat tot, seguim podent processar aquesta informació, doncs existeixen altres tipus d'anàlisis interessants: densitats, diferències entre els valors que hi ha en diversos punts, etc.

Les línies, per la seva banda, són objectes representats de manera unidimensional, la llargada dels quals és molt superior a l'amplada en qualsevol tram. També són discrets, ja que representen una sèrie finita i enllaçada de punts. Els objectes unidimensionals, d'altra banda, no existeixen tampoc en la realitat, però ens trobem en la mateixa dicotomia entre simplificació i realisme que abans en quant a la modelització del nostre sistema geogràfic. Exemples d'elements lineals són les carreteres i els rius, a més d'altres conceptes que podrien ser més abstractes, com ara límits entre estats, fronts de guerra, etc. Aquests elements, al no existir en la realitat, sí que tenen una sola dimensió, doncs són convencions per a expressar un canvi radical d'aquesta variable entre dos territoris adjacents<sup>4</sup>. Els objectes lineals ocupen com a mínim dos punts espacials de manera simultània, establint l'inici i el final d'un segment. En el cas d'elements que no siguin totalment rectes, caldrà anar afegint punts intermedis, que vagin denotant cadascun dels girs i modificacions del traçat (per exemple, els meandres d'un riu). Finalment, al constar ja d'una dimensió, po-

---

<sup>4</sup>En el cas dels fronts de guerra, s'expressa que un punt geogràfic concret està sota control d'un bàndol o bé del seu enemic, i per aquest motiu no existeix cap graduació entre l'expressió *sota control d'A* i el seu contrari *sota control de B*.

dem mesurar aquests objectes, simplement calculant la distància entre l'origen i el final tenint en compte els punts intermedis, sí n'hi ha.

Per acabar el conjunt de dades discretes hem de definir les més complicades, les àrees. Són objectes que, a l'escala a la que estiguem treballant, segueixen constant de dues dimensions (amplada i llargada). Com a tal podem representar l'interior d'una ciutat, la superfície compresa pel conjunt de fronteres d'un estat, la delimitació d'unes elevacions, etc. Dins el sistema geogràfic es representen com un conjunt de línies connectades que marquen un recorregut tancat, és a dir, amb el punt d'origen i el de final idèntics. Per tant, afegeixen una nova característica que podem mesurar: l'àrea delimitada per aquest objecte.

D'altra banda, mentre que aquests tres primers elements es poden representar fàcilment dins un GIS, existeixen limitacions en quant al quart, els volums. Tenint en compte que aquestes eines normalment s'executen en ordinadors personals la visualització es realitza a través d'una pantalla. Aquesta, al seu torn, no és més que matriu bidimensional de punts, anomenats píxels, cadascun dels quals té un color diferent; sumats tots junts mostren una imatge concreta. Aquesta matriu té com hem dit dues dimensions, i per tant és difícil representar un volum en ella, doncs això implicaria una tercera dimensió<sup>5</sup>.

Aquest fet és un problema; els accidents geogràfics que ens envolten sempre són tridimensionals, doncs l'altura a la que estan situats és important (especialment en el cas d'elevacions com turons, muntanyes, etc.). Així, necessitem un canvi de concepte per a representar objectes tridimensionals en entorns bidimensionals.

Es defineix un volum com una matriu bidimensional, a on cadascun dels punts té un valor diferent, que marca l'elevació a cada secció de la graella. S'expressa l'elevació, per tant, com una variable contínua, doncs és present al llarg del marc

---

<sup>5</sup>Això no implica que no es pugui visualitzar la informació de manera tridimensional, tal i com estem veient al llarg d'aquest capítol. Malgrat tot, els sistemes informàtics actuals estan dissenyats per a treballar en entorns bidimensionals, i tots els dispositius estan dissenyats amb aquest efecte (monitor, ratolí, disc dur, memòria). Per tant, qualsevol representació tridimensional provindrà de dades emmagatzemades en matrius bidimensionals dins el disc dur, i al mateix temps seran de nou traduïdes a dues dimensions per a representar-les a la pantalla.

espacial en el qual estiguem treballant. No hi ha interrupció entre un valor i l'altre, i podem fer servir aquesta tècnica per a afegir al sistema dades força complexes: un mapa de temperatures sobre la terra, nivells de contaminació, o fins i tot una fotografia aèria<sup>6</sup>. Els camps continus com els descrits són mesurables de múltiples formes diferents: podem saber quin valor té la variable a cada secció de la matriu, però també els canvis d'intensitat d'aquest mateix factor, o fins i tot el volum inclòs dins el perímetre de l'objecte.

### 5.3.5 Atributs

Un cop definits els tipus d'entitats que podem representar en un GIS, cal anar una mica més enllà i veure el que podem dir d'elles, és a dir, allò que les descriu des d'un punt de vista no espacial.

Imaginem que estem creant un mapa de vies de comunicació europees en època de l'Imperi Romà. Probablement el més lògic sigui dissenyar les vies com a entitats lineals, però si ho fem així no estem dient res sobre la qualitat que aquestes tenien, ni el trànsit que passava per elles, o ara bé l'època en les quals van ser construïdes. Així, haurem de crear una sèrie d'atributs que per cada via ens digui l'amplada, el trànsit conegut, els anys en els quals es va fer servir, etc. Igualment, en altres mapes relacionats amb cartografia topogràfica hauríem d'especificar el nom de les diferents poblacions i accidents geogràfics presents en cada zona.

Així doncs, cadascuna de les entitats que assenyallem tindrà un conjunt d'atributs, que la descriurà. És un fet important, doncs a partir d'aquí podrem començar a classificar la informació a partir de conceptes no espacials. Això afegeix nous nivells d'organització a la informació i, per tant, ens ajuda a entendre el que estem analitzant i visualitzant de manera més efectiva (Demers 2003, pp. 28-29).

Aquests atributs, d'altra banda, estableixen diferents nivells de mesura en quant a dades geogràfiques. Tenim diferents escales de complexitat en quant a la definició d'entitats, que es poden establir de menor a major de la següent manera:

---

<sup>6</sup>Només cal donar a cada punt sobre el mapa el valor de color que tingui la fotografia aèria en aquelles coordenades espacials concretes.

- Escala nominal. Aquesta categoria especifica aquells elements que estan identificats de manera única. És el nivell més senzill, doncs no es poden establir classificacions ni comparacions entre entitats. Així, si una ciutat té un nom diferent d'una altra sols podem dir que són ciutats, i que són diferents, però res més.
- Escala ordinal. En aquesta segona escala és possible comparar diferents entitats a partir de col·locar-les en un nivell determinat dintre d'un rang establert. Seguint l'exemple de les ciutats, podem definir un atribut de grandària, que pugui tenir els valors *petit*, *mitjà* o *gran*. Cada ciutat té definit aquest valor, i per tant podem saber si una ciutat és major, menor o igual a una altra. És important veure que a aquesta escala estem definint de manera independent i subjectiva els paràmetres. És a dir, l'usuari del GIS crea la variable, defineix els diferents valors dins d'ella, i caracteritza cadascuna de les entitats segons aquest atribut. Per tant, no podem fer servir aquesta dada en cap altre camp, doncs està explícitament dissenyada per a representar un tret particular que ens interessa especialment.
- Escala d'interval. És aquest el nivell d'informació més complexe en quant a atributs es refereix. S'estableix una variable en la qual cada entitat rep un número donat. Aquests atributs tendeixen a ser objectius, doncs proporcionen una informació donada per alguna font capaç de mesurar les entitats de manera quantitativa<sup>7</sup>. Així, per finalitzar l'exemple de les ciutats, podem definir un atribut anomenar *número d'habitants*, que mostri quantes persones viuen en cadascuna d'elles. De la mateixa manera, podríem mesurar la temperatura en diferents parts de la superfície terrestre, o bé el número d'arbres que hi ha en cada hectàrea de terreny. Destaca el potencial d'aquest tipus d'atributs, doncs es poden fer servir per a molts casos d'estudi diferents; el número d'habitants ens pot ser útil per a calcular densitats de població (cosa que amb una

---

<sup>7</sup>Evidentment, un cosa ben diferent és el tractament que es doni a aquestes dades, així com el fet que la font sigui fiable o no.

mesura ordinal no podriem fer), veure en quines poblacions hi ha un dèficit d'equipaments públics, esbrinar si hi ha relació entre el grau de contaminació i el número d'habitants, etc.

### 5.3.6 Modelització geogràfica

Un cop definides les estructures de treball emprades als GIS, podem analitzar quin tipus de modelització es pot dissenyar amb elles.

Com hem vist, el cor d'un GIS és el model de dades que fa servir, és a dir, la manera segons la qual representa la realitat geogràfica que pretenem estudiar. A partir d'aquest model l'usuari realitza una sèrie d'operacions, amb la intenció de generar coneixement a partir de les dades existents, o bé de crear-ne de noves. Així, és sumament important la modelització que s'ha fet de les dades reals, doncs afectarà al tipus d'operacions que es puguin realitzar.

La modelització del món geogràfic a partir de GIS implica 4 nivells diferents d'abstracció segons es pot veure a la figura 5.13.

El primer nivell és allò que volem modelar, és a dir, la realitat o prototipus<sup>8</sup>. En ells trobem els objectes, estructures i elements que volem modelar.

El segon, el model conceptual, implica la selecció d'aquells elements de la realitat que ens interessin fer servir per a resoldre un problema concret. Normalment és una tasca humana, doncs requereix d'una dosi important de pensament racional i criteri, a fi i efecte de triar correctament un model vàlid. A més de triar els elements, hem d'analitzar les relacions existents entre ells, doncs tan fonamental és representar adientment la informació com relacionar-la de forma correcta; en cas contrari podem extreure conclusions basades en raonaments erronis que, malgrat ésser perfectament vàlides dins el nostre model, no ho siguin en la realitat a causa d'una procés de conceptualització amb mancances.

Seguidament passem al tercer nivell, el model lògic, a on es fa servir un ordinador

---

<sup>8</sup>Normalment es modela la realitat, però si apliquem els GIS a problemes relacionats amb la investigació històrica, estem intentant treballar sobre realitats inexistents en l'actualitat, cosa que s'ha de tenir en compte.

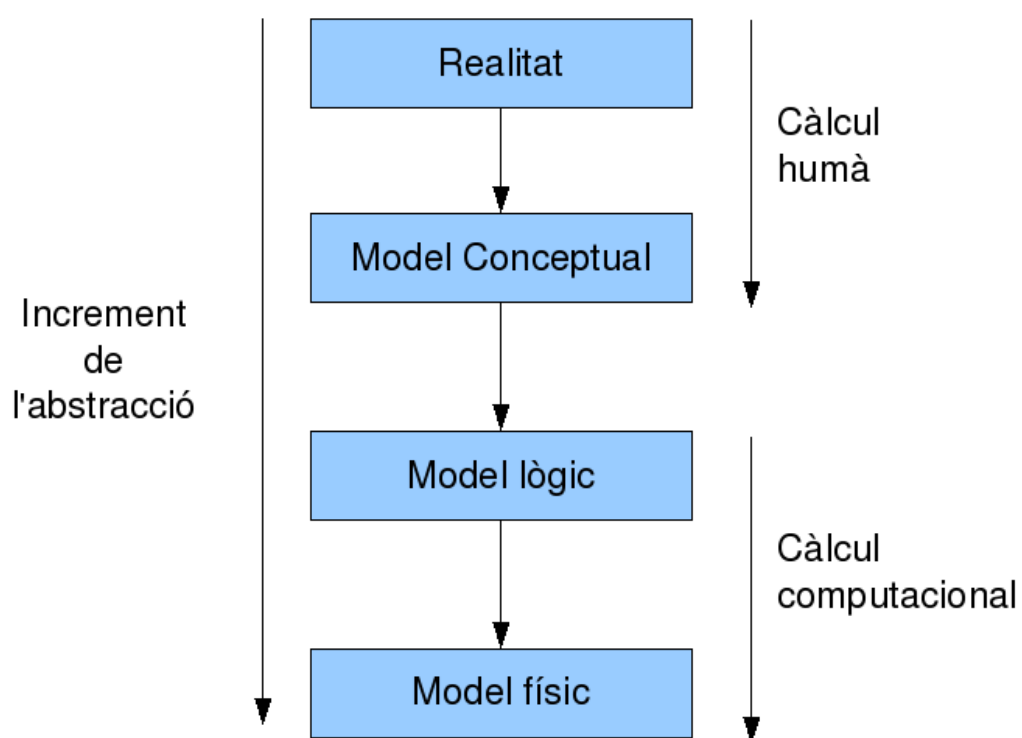


Figura 5.13: Nivells d'abstracció de la modelització geogràfica

per a traslladar el model de dades conceptual a un altre entenedor per a l'ordinador, consistent en estructures de dades computables. Aquesta fase pren com a dades d'entrades els conceptes i relacions dissenyats en la fase conceptual, tot traslladant aquesta informació de caire abstracte en una altra que pugui ser entesa per tots els GIS. Així, encara no estem implementant de manera definitiva el model dins un sistema geogràfic, però sí que hem traslladat els conceptes inicials a un llenguatge més proper al mateix.

Finalment, el model físic final és la implementació de tot el procés, que ha convertit el model conceptual inicial en una col·lecció de fitxers, bases de dades i valors<sup>9</sup>. És la fase final, a on hem traslladat definitivament la realitat (o, millor dit, una fracció de la mateixa) en un model de dades geogràfiques informatitzat capaç de ser computat, i a partir del qual podem començar a treballar.

### 5.3.7 Del concepte de les dades a la seva implementació

Les entitats i els seus atributs són conceptes teòrics que ens ajuden a modelar geogràficament el problema que estem intentant resoldre. En aquest sentit, cal veure la implementació concreta que actualment es fa d'aquest tipus de dades. Recordem que, tal i com hem dit abans, la informació que estem intentant representar pot ser de dues classes: discreta o contínua. En el primer cas, si realment volem definir cada objecte discret hauríem de fer servir infinits atributs<sup>10</sup>. És més, des d'un punt de vista geogràfic també necessitem infinits valors per a definir en tota la seva complexitat un fenomen (pensar, per exemple, en la complexitat que té un arbre, amb totes les arrels, fulles, etc.).

En el segon cas, la quantitat d'informació que realment existeix és infinita, doncs si a cada punt geogràfic correspon un valor del camp, i sabem que entre dos punts geogràfics real hi ha infinits més, el resultat és que una variable contínua té infinits valors i, per tant, no la podem fer servir d'aquesta manera dins un ordinador.

---

<sup>9</sup>El concepte model físic és una mica confús, tenint en compte que estem parlant de dades digitals. Malgrat tot, és el terme emprat normalment (Longley et al. 2006, p. 178).

<sup>10</sup>Només cal fer-se una pregunta; quants factors necessitem per a definir a una persona en concret?

Així doncs, en tots dos casos es requereixen simplificacions importants si els volem fer servir en un entorn computacional. Podem distingir dos tipus diferents: els vectors i els ràsters. Cal dir que tot tipus de dades (discretes i contínues) pot ser traduït a tots dos formats, però en general mentre que fem servir el primer format (vectorial) per a dades discretes, el segon (ràster) és emprat per als camps continus.

- El format vectorial. Un vector, segons el punt de vista geogràfic, és una successió de punts geogràficament referenciats que poden estar aïllats, o bé connectats per línies rectes entre ells. Així, una entitat lineal és coneguda com a *polilínia*, i està definida pel conjunt de punts connectats que li donen forma. Una àrea, d'altra banda, és una polilínia tancada, un polígon.
- El format ràster La representació ràster transforma l'espai real en una sèrie regular de cel·les (normalment quadrades) que conformen una matriu bidimensional. Les variacions geogràfiques són expressades com a valor de cadascuna de les cel·les. Així, sorgeix un nou paràmetre fonamental per a treballar amb dades geogràfiques en format ràster, que és la resolució. Aquesta expressa la distància que hi ha entre dos valors diferents. Per exemple, una matriu de 100x100 cel·les amb una resolució de 30 metres està descrivint un valor determinat per a una àrea de terreny de 3000x3000 metres. Podem veure que la qualitat del ràster serà inversament proporcional a la resolució; a menors valors tenim menys distància entre dos punts i, per tant, perdem menys informació.

Aquest punt és força important, doncs influeix en la manera segons la qual obtenim les dades. En un ràster es perd tota la variació que hi pugui haver entre dos punts i, per tant, si elegim com a valor el que hi ha en la zona central, podem estar descartant dades útils entre un punt i el següent (que, recordem estan separats per una distància equivalent a la resolució del ràster). Podem elegir altres estratègies, com per exemple trobar el valor més alt o més baix dins cada cel·la, o fer mitjanes sobre diversos punts triats en ella.



### 5.3.7.1 Vectors o ràsters?

El format vectorial és molt econòmic, doncs es basa en el fet que detalla de forma precisa i molt resumida determinades entitats geogràfiques que ens puguem trobar. És a dir, un conjunt limitat de punts pot expressar una grandària arbitrària, doncs la distància entre dos punts donats és triada pel propi usuari, igual que l'exactitud amb la qual està feta la representació, que pot variar en cada cas. Per exemple, un riu com l'Amazones pot estar expressat amb una polilínia d'uns quants punts, o bé determinar el seu curs mitjançant milions dels mateixos. Tot depèn de la utilitat que tingui la informació recollida. Si estem treballant en un entorn global, però centralitzat en una zona concreta de dimensions reduïdes, podem definir amb major resolució aquelles entitats que siguin més importants, tot simplificant les altres.

Per contra, és evident que el format ràster sempre implica un major volum d'informació que el vectorial, sovint de manera inútil; si un valor no es modifica al llarg de milers i milers de cel·les, igualment haurem de emmagatzemar el mateix en cadascuna d'elles; en una representació vectorial, per contra, sols guardariem les variacions. Els formats ràster, per contra, són molt útils per a representar dades provinents de camps continus, com per exemple imatges aèries preses des d'avions i satèl·lits, cartografia antiga que hàgim pogut escanejar i referenciar de manera geogràfica, etc.

A la taula 5.1 podem veure un resum de les característiques diferenciades d'ambdós tipus de formats (Longley et al. 2006, p. 76):

### 5.3.7.2 DEM

L'elevació del terreny és una de les variables més importants de la que puguem disposar. Múltiples factors depenen d'aquest, com per exemple els sistemes hidrològics, la localització de punts estratègics, etc. Les diverses representacions existents són conegudes com a DEM (Digital Elevation Model). En general, trobem dos tipologies, que corresponen a cadascun dels formats explicats anteriorment.

En el cas del format vectorial, els DEM prenen la forma de corbes de nivell. Són polígons tancats que denoten els canvis importants del terreny, amb una gradació

<b>Característica</b>	<b>Ràster</b>	<b>Vector</b>
Volum de dades	Depèn de la grandària de cel·la	Depèn de la densitat dels vèrtex
Fonts de dades	Sensors remots i imatges	Dades ambientals i socials
Aplicacions	Recursos ambientals, hidrologia	Gestió i administració
Resolució	Establerta i regular	Variable

Taula 5.1: Diferències entre format ràster i vectorial

determinada a priori. Així, podem trobar DEM's de corbes de nivell que representin les elevacions cada 10 metres, cada 30, etc. (Demers 2003, p. 345).

Per contra, el DEM ràster mostra les elevacions del terreny com a punts sobre una malla (Glarnier 2007). Són molt útils en quant a representació, doncs fàcilment podem mostrar un model tridimensional de la malla resultant, tot tenint en compte els valors d'altura. A més, són l'origen de molts anàlisis espacials diferents, com veurem a continuació, incloent mapes de gradients, rutes de mínim cost, etc.

Per a comparar aquests dos tipus, podem veure a la figura 5.14 un mapa de corbes de nivell de Catalunya, amb intervals de 500 metres. Les mateixes altures estan representades a la figura 5.15 en format ràster, establert a una resolució de 30 metres.

### 5.3.7.3 Gradient i aspecte

A partir del DEM podem extreure dos variables sumament importants pel que fa a l'anàlisi del terreny.

La primera és la gradient. Especifica, per cada punt donat d'un DEM ràster, quina és la pendent respecte a la horitzontalitat. Com veurem és un factor important, doncs incideix especialment en problemes de cerca de rutes de mínim cost i la tria de localitzacions.

El càlcul del gradient a partir de les elevacions es fa de la següent manera, tenint



Figura 5.14: Mapa de corbes de nivell de Catalunya

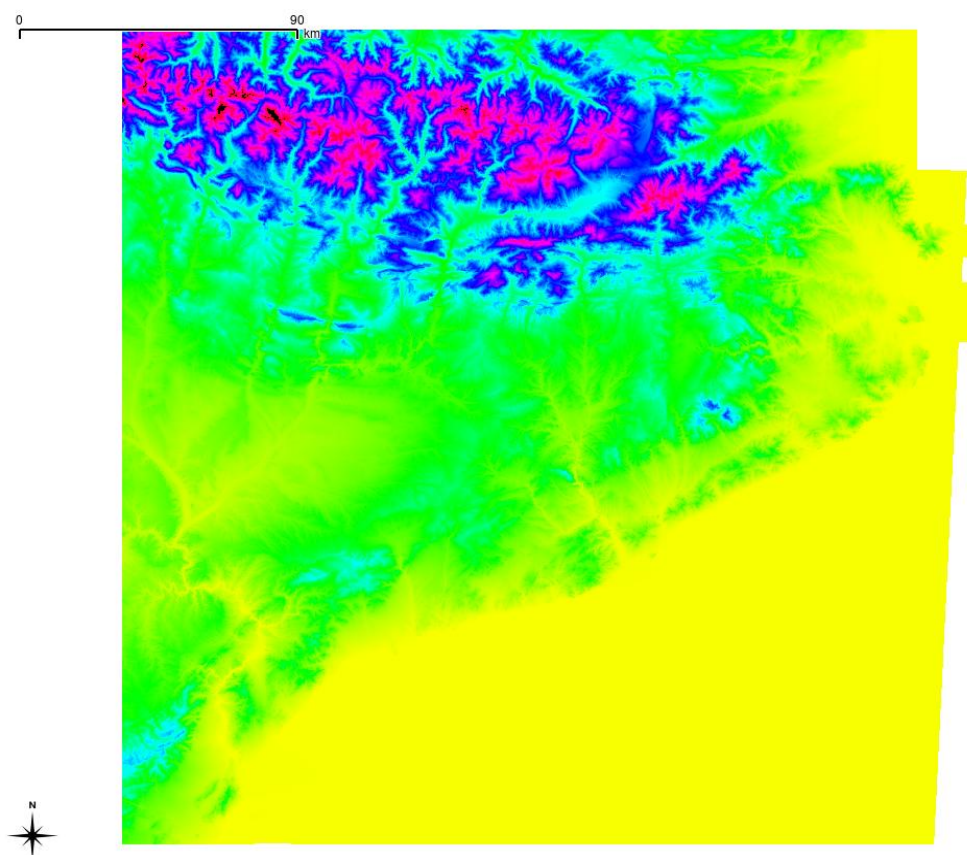


Figura 5.15: Mapa ràster d'altures de Catalunya

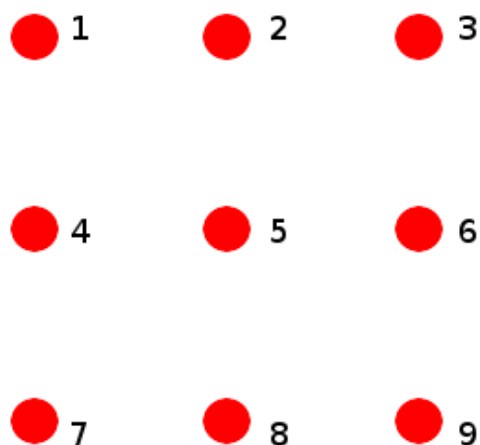


Figura 5.16: Càlcul del gradient al punt 5

en compte que estem calculant el valor per al punt 5 de la figura 5.16:

$$b = (z_3 + 2z_6 + z_9 - z_1 - 2z_4 - z_7)/8D$$

$$c = (z_1 + 2z_2 + z_3 - z_7 - 2z_8 - z_9)/8D$$

Tenint en compte que  $b$  i  $c$  són els valors de la tangent de la gradient en les direccions  $x$  i  $y$ .  $D$  és l'espai entre cada punt, és a dir, la resolució.  $z_i$  és l'altura de cada punt segons el que es veu en la figura 5.16. Podem veure com el valor dels punts situats a la diagonal del 5, que és el que ens interessa, tenen el pes limitat a la meitat dels altres. Seguidament, podem extreure el valor de la gradient resolent:

$$\tan(\text{gradient}) = \sqrt{(b^2 + c^2)}$$

La segona variable extreta a partir del DEM és l'aspecte. Defineix la orientació de la pendent del terreny com a graus, tenint en compte que varia de 0 a 360 (essent 0 el Nord teòric). El seu valor s'aconsegueix de la següent manera, tot fent servir les variables  $b$  i  $c$  calculades anteriorment:

$$\tan(\text{aspecte}) = \frac{b}{c}$$

Fa falta, però, un càlcul addicional; si la variable  $c$  és positiva s'afegeixen 180 graus al resultat, doncs en cas contrari estarem treballant sols tenint en compte la coordenada  $y$ , no la  $x$  (Horn 1981, p. 18).

### 5.3.8 Anàlisi espacial

Fins ara hem estat definint quin tipus de dades podem expressar dins un Sistema d'Informació Geogràfica, així com les maneres segons les quals aquestes estan representades. Hem mostrat, doncs, la base a partir de la qual els GIS poden revelar tot el seu potencial a través del conjunt de tècniques conegudes com a anàlisi espacial.

L'anàlisi espacial engloba totes les transformacions que podem fer a les entitats representades dins el nostre sistema<sup>11</sup>. Donat el volum de dades a que podem accedir, així com les complexes i múltiples relacions entre elles, és necessària una etapa de procés a fi i efecte d'aconseguir veure connexions que, a priori, semblen difícils de detectar.

El número d'algoritmes, fórmules i tècniques a l'abast de l'usuari és molt elevat. Així, cal conèixer quines aplicacions té cada eina, doncs en cas contrari ens podem veure aclaparats per les seves possibilitats, i no treure el rendiment esperat d'un sistema tan complex com el que ens ocupa. Això no sols implica el processament matemàtic de dades, doncs la creació de cartografia també és un procés difícil, que requereix d'un coneixement elevat de les eines al nostre abast.

Anant des de les tècniques més senzilles a les més complexes, podem destacar sis tipus diferents de tècniques d'anàlisi espacial.

#### 5.3.8.1 Consultes

El primer mode d'anàlisi de la informació continguda en un GIS és preguntar-li al mateix sobre les dades que té. Això es pot fer a partir d'un atribut (amb consultes de

---

<sup>11</sup>Cal matisar que aquestes eines no sols són aplicades a nivell geogràfic, sinó en altres disciplines a on les coordenades espacials són importants, com per exemple la medicina, l'astronomia, Intel·ligència Artificial, etc. Per aquest motiu es denomina anàlisi espacial, doncs transcendeix les fronteres de la Geografia.

l'estil *Mostra'm una llista dels arbres que tinguin fulla caduca*), tenint en compte les dades geogràfiques (per exemple, *Diga'm quins arbres hi ha a 1 quilòmetre de casa meva*), o bé amb una combinació de diversos factors (preguntant *Vull saber quants arbres de fulla caduca hi ha a 1 quilòmetre de casa meva*). Tenint en compte que alguns GIS incorporen algorismes d'Intel·ligència Artificial suficientment complexos, alguns d'ells poden respondre a preguntes més difuses, com demanar quina ciutat gran hi ha al nord d'on estem posicionats, o qüestions semblants.

La informació continguda en un GIS pot ser consultada a partir de tres interfícies gràfiques diferenciades. La primera és el catàleg, a on podem veure les dades en funció dels fitxers que les incorporen, tenint en compte el format (vectorial o ràster) i altres característiques similars.

La segona forma d'accés és la vista de mapa, a on veiem directament georeferenciada la informació aportada per les diferents capes de dades, que podem consultar a partir de mecanismes simples com la selecció amb el ratolí.

Finalment, tenim la vista de taula, a on se'ns mostra la informació d'una capa determinada de manera ordenada per un dels atributs de què disposa. Aquesta vista es pot fer servir per a fer cerques complexes a partir dels atributs de cada entitat. En aquest sentit es fa servir un llenguatge estàndard conegut com SQL (Standard Query Language), emprat per la immensa majoria de bases de dades relacionals existents. Resta fora de l'àmbit d'aquest treball el disseny de bases de dades relacionals, però a tall d'exemple la primera pregunta d'aquesta secció s'expressaria amb SQL de la següent forma:

```
SELECT * FROM arbres WHERE fulla LIKE 'caduca'
```

El sistema retornaria totes les entitats que complissin aquesta clàusula, be destacant-les a la vista de taula o assenyalant-les al mapa.

Normalment qualsevol aplicació GIS conté aquests tres modes de vista, tal i com podem veure a la figura 5.17, que mostra el programa QGIS.

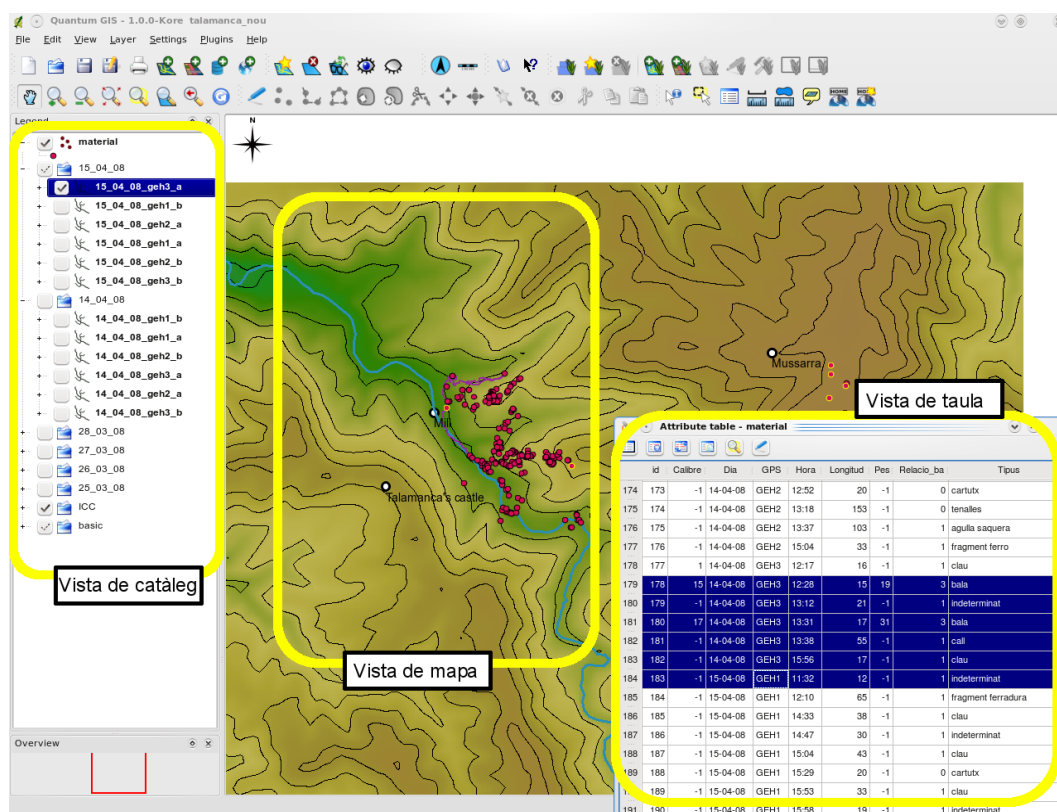


Figura 5.17: Vistes del programa QGIS



### 5.3.8.2 Mesures

Mesurar distàncies geogràfiques a partir de models del terreny a escala, és a dir mapes, és una tasca per la qual no es coneixen eines manuals ràpides i precises. El còmput automàtic de mesures, per tant, és un dels avantatges més importants dels GIS, tal i com demostra el fet que CGIS, el primer que va existir, es va programar a fi i efecte de calcular àrees.

Malgrat tot, existeixen certs problemes relacionats amb la discretització de les dades vectorials, necessàries per a representar-la en una plataforma informàtica. Així, les polilínies tenen una llargada inferior a les línies corbes que intenten representar, i al calcular grans distàncies a escala planetària el sistema ha de ser suficientment detallat com per a tenir en compte la curvatura de la Terra<sup>12</sup>.

A més de mesurar la distància entre dos punts i l'àrea tancada dins un polígon, podem també calcular perfils, és a dir la distància entre dos punts tenint en compte l'alçada. Això és sumament important, doncs si quan treballem en dues dimensions la distància més petita entre dos punts sempre és una recta, quan parlem de dades tridimensionals, com són les geogràfiques, és possible que un recorregut més allargat, però pla, sigui al final més ràpid que un altre més recte, però que hagi de passar per muntanyes, valls, o creuar rius.

### 5.3.8.3 Transformacions

Les dues tipologies d'anàlisi mostrades fins ara no modifiquen de cap manera les dades que tenim, ni en generen de noves. Així, la tercera opció consisteix en la transformació d'aquestes dades seguint una sèrie de regles simples.

El primer algoritme és el conegut amb el nom de *buffering*. Consisteix en eixamplar una entitat donada, sigui aquesta un punt, una línia o una àrea. Això es pot fer a partir d'un vector, però és fent servir el format de dades ràster que assoleix tota la seva utilitat.

---

<sup>12</sup>En cas contrari el mesurament d'una àrea també serà inferior a la superfície real, doncs no es tindrà en compte que l'objecte tancat dins el polígon que s'està mesurant té curvatura i, per tant, realment l'àrea és superior a la representada al programa.

Un cas concret és la generació d'isòcrones sobre un ràster. Imaginem el cas que tenim un mapa en format d'aquest tipus, a on a cada cel·la tenim un valor que ens mostra el que costa accedir-hi, és a dir, el que es coneix com a *valor de fricció*. Podem fer servir el *buffering* per a expandir-nos des d'un punt concret del ràster, tenint en compte una velocitat donada sobre els valors de fricció adjacents. Amb valors de fricció menors, podem avançar més ràpid, mentre que en zones amb nombrosos valors de fricció elevats la marxa serà més lenta.

A banda del *buffering*, tenim a la nostra disposició tot un seguit d'eines que permeten relacionar diverses entitats, especialment si són vectors. Entre aquestes destaquen els algorismes per a detectar si un punt està dins d'un polígon i el càlcul d'interseccions i conjuncions de polígons.

Existeix una altra línia de transformacions dirigides a generar noves dades estimades a partir de les existents (el que es coneix com a interpolació espacial). Això es pot fer servir tant en els casos en els quals ens falten dades, com quan necessitem augmentar la resolució, en el procés conegut com a *resampling*. Per exemple, si tenim un DEM ràster amb una resolució de 100 metres, i volem relacionar-lo amb un altre mapa amb resolució de 50 metres, necessitarem interpolar el DEM a fi i efecte que tingui el doble de resolució, doncs en cas contrari no serà possible un càlcul adequat entre els 2 valors. Hi ha múltiples maneres d'interpolar dades, però cal destacar que en tots els casos estem obligats a pressuposar informació, amb tots els perills que això pot comportar (Longley et al. 2006, pp. 90-95).

Els quatre mètodes d'interpolació més emprats dins de l'anàlisi espacial fet pels GIS són l'algoritme dels polígons de Thiessen, l'establiment de pesos a partir de l'invers de la distància, el *Kriging* i la interpolació per *splines* regularitzats a partir de la tensió (Mitášová i Mitáš 1993; Mitášová i Hofierka 1993)<sup>13</sup>.

Finalment, tenim una tècnica addicional que representa el cas invers de la interpolació espacial. Si en el primer cas partíem d'una sèrie limitada d'informació per

---

<sup>13</sup>Tots quatre són algorismes força complexos i, per exemple, el *Kriging* requereix d'un profund anàlisi estadístic de les dades. El quart és l'emprat pel programari que farem servir al llarg dels casos d'estudi.

a generar-la de nova (és a dir, partir d'informació discreta per a generar un camp continu), en aquest segon necessitem concretar la informació que tenim en una de més reduïda (per tant, generant dades discretes a partir de contínua). Aquesta tècnica és molt emprada, doncs permet, per exemple, calcular densitats de població en el territori, o bé observar si hi ha zones amb algun dèficit important de transport públic, etc.

#### 5.3.8.4 Resums descriptius

En el cas de tenir volums de dades suficientment elevats, es requereix la obtenció de metadades que ajudin a canalitzar tota aquesta informació de manera útil. En aquest sentit els GIS incorporen tota una bateria de fórmules i tècniques relacionades amb l'estadística (mitjana, mitja, variància, correlació, etc.), així com amb la recollida selectiva de dades i la detecció de patrons regulars entre les dades (tècniques conegudes conjuntament com a *data mining*).

#### 5.3.8.5 Optimitzacions

La optimització es basa en el fet que, a partir de les dades donades, podem crear nou coneixement a partir d'elles, que permeti minimitzar el cost donat per a qualsevol acció que dissenyem tenint en compte el terreny. Aquests mètodes tenen relació amb determinades branques de la Intel·ligència Artificial, doncs en definitiva, es tracta d'intentar que el GIS decideixi d'entre les opcions al seu abast la que cregui més adequada (Veure al respecte l'apartat 3.6).

Aquests problemes es poden resoldre de dues maneres diferents, tenint en compte si ens enfrontem a dades discretes o bé contínues. En el primer cas s'estableixen xarxes, a on tenim nodes connectats per diversos enllaços anomenats arestes, que marquen els possibles camins al nostre abast. El segon cas, en el qual no tenim arestes entre nodes, sinó que el desplaçament es fa de forma contínua, i per tant es pot elegir qualsevol camí, és millor en casos a on el moviment no està canalitzat per vies de comunicació<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup>Per tant, tots dos casos es poden computar com si fossin grafs. En el segon cas partim de la

Els algorismes d'optimització es poden dividir en dos grans classes, tenint en compte el que volen solucionar. El primer conjunt implica l'elecció de localització d'un punt òptim donada una casuística particular. És un tema prou important, doncs es pot fer servir per a determinar, per exemple, a on s'hauria de situar una caserna de bombers tenint en compte els possibles perills i les distàncies a la que s'haurà d'enfrontar la brigada, o bé per establir des de quin punt és més fàcil donar cobertura mitjançant una antena, etc.

El segon grup de problemes és el que dóna solució a la tria de rutes òptimes. En el cas de dades discretes, ens podem trobar amb problemes de xarxes, com ara la cerca de la millor ruta de transport (sigui públic o privat) des d'un origen a un destí determinat. És el que fa, per exemple, un GPS com els que es fan servir en els cotxes, o ara bé portals webs a on puguem cercar quina combinació de trens i metros és més ràpida per a desplaçar-se pel territori. Donades les diferents vies de comunicació, així com els costos de peatge, kilòmetres entre elles, etc. el sistema és capaç de triar quina ruta és la més convenient per a l'usuari.

El cas més complex és el dels camins òptims, també anomenats rutes de mínim cost. És un camp de recerca àmpliament explorat per a solucionar problemes militars, tot i que també és útil per a decidir el traçat de línies d'alta tensió, repartiment de recursos d'una flota aèria civil, etc (Longley et al. 2006, p. 328).

Per a solucionar-ho, es pot fer servir el mateix sistema que en la generació d'isòcrones vista a l'apartat 5.3.8.3. A partir d'un mapa ràster amb valors de fricció podem programar un agent<sup>15</sup> definit a tal efecte. S'ha d'elegir el mode segons el qual aquest agent es desplaçarà per les cel·les. Tenint en compte que cada cel·la té 8 veïns, hi ha dos tipus diferents, l'anomenat moviment de torre, segons el qual es pot moure a les cel·les que tingui a esquerra, dreta, a dalt i a baix, o bé el moviment de dama, que permet moure a qualsevol de les 8 cel·les adjacents, i que per tant és a priori més efectiu. En aquest últim cas, però, cal ser conscient que les cel·les

---

base que, si tenim un ràster regular, podem establir que cada cel·la està connectada amb la del seu Nord, Sud, Est i Oest. Fins i tot podem elegir les diagonals com a nodes connectats al node central.

<sup>15</sup>La definició d'agent ve donada per l'apartat 3.6.2 d'aquest treball.

veïnes que estiguin en diagonal amb la posició de l'agent haurien de tenir un cost superior, essent l'increment igual a  $\sqrt{2 * D^2}$  si  $D$  és la resolució segons el teorema de Pitàgores.

Com a valors de fricció podem elegir nombroses dades diferents com per exemple l'elevació, el gradient o bé el tipus de vegetació (generalment un bosc serà més difícil de creuar que un prat o una terra de cultius). Un cop especificat el valor de fricció de cada cel·la es pot computar el resultat a partir d'algoritmes d'Intel·ligència Artificial basats en la cerca<sup>16</sup>, donat que sovint són problemes d'una complexitat elevada.

### 5.3.8.6 Comprovació d'hipòtesis

Com hem vist fins ara, la major part d'anàlisi que es pot fer amb un GIS és inferencial; a partir d'un conjunt de dades donat s'intenta generar coneixement sobre conjunts superiors que la mostra original, tot confiant amb què aquesta sigui representativa. Partint d'aquesta base, és possible treballar a partir d'un GIS en la creació i validació d'hipòtesis de treball. Així, l'investigador intenta que la mostra que estigui fent servir dins el nostre sistema respongui a les hipòtesis que es plantegi, tot estenent a posteriori els resultats a la població de la qual aquesta és representativa<sup>17</sup>.

Malgrat tot, existeixen problemes importants en l'aproximació inferencial a problemes geogràfics. El primer és que cap regió de la terra és representativa d'una zona més gran; difícilment trobarem un cas com aquest, en el qual en trets generals ambdues regions siguin comparables. Si intentem triar les regions d'estudi per a que conformin una mostra representativa, aleshores estem caient en l'error de triar les dades a priori i sense aleatorietat, per la qual cosa els resultats seran predictibles<sup>18</sup>. A més, com que una regió determinada està inexorablement relacionada amb les properes (pensem, per exemple, en un riu i el seu delta), és gairebé impossible

---

<sup>16</sup>Apartat 3.6.5.1 d'aquest treball.

<sup>17</sup>Se segueix, per tant, la metodologia de la modelització matemàtica, tot i que en aquest cas la visualització de les dades i la validació d'hipòtesis són força diferents dels sistemes clàssics.

<sup>18</sup>I, per tant, es pot caure en la tendència d'escollir les dades apropiades per a que els resultats siguin els esperats

elegir variables que siguin independents. Finalment, la superfície terrestre és tan heterogènia que no podem trobar res semblant al concepte de mitja. Així, l'estudi d'una zona, encara que aquesta sigui de gran abast, no ens pot donar pistes sobre les dades d'una altra diferent, doncs els factors geogràfics estan tan relacionats entre ells que difícilment podrem destriar quins elements són comuns i quins no.

Una alternativa és no fer servir inferència, i estudiar de manera descriptiva el territori relacionat amb el problema que pretenem resoldre. És probablement la opció més interessant, doncs podem fer servir tota la potència d'un GIS però sense caure en generalitzacions que produeixin errors importants dins les nostres deduccions (Longley et al. 2006, p. 360).

Finalment, una altra aproximació és la detecció de patrons dins una mateixa àrea, que sovint sí que pot ser útil per a l'estudi d'altres regions. De la mateixa manera, podem executar simulacions que permetin entendre millor problemes d'elecció d'espais i rutes a partir de la optimització.

### 5.3.9 GIS i Arqueologia: una visió general

Fins a finals de la dècada dels 80 no es popularitzà l'ús intensiu de GIS com a eina al servei de la recerca arqueològica (Kohler i Parker 1986). Amb una tradició de poc més de 20 anys el seu ús encara no és ni global ni està completament definit, però sens dubte ha estat una de les renovacions metodològiques més importants de les últimes dècades en quant a Arqueologia es refereix (Grau Mira 2006, p. 9). A aquest efecte contribueix el fet que el GIS s'ha combinat amb altres tecnologies d'arqueologia computacional, com bé demostra el pes que té dins el congrés anual *Computer Applications in Archaeology*, sens dubte el referent d'aquesta línia de recerca. Per desgràcia, actualment aquest no és el cas a Catalunya ni a la resta de l'estat espanyol, a on l'ús sistemàtic de GIS queda com una tasca a resoldre per part dels investigadors arqueòlegs.

D'altra banda, cal destacar que, al ser una branca de recerca tan jove, el debat metodològic és molt viu, doncs les bases encara no estan tan fixades com per a haver definit totalment els procediments d'una aproximació científica. Malgrat

semblar un desavantatge, no necessàriament ho és, ja que permet adaptar-se ràpidament a noves tècniques pertinents dintre el món de les Ciències Socials, com pot ser la Intel·ligència Artificial i, més en concret, la Modelització Basada en Agents. D'aquesta manera s'intenta evitar la idea que la modelització basada en GIS és una percepció determinista i errònia de la realitat, doncs a partir de la simulació de sistemes complexos com els involucrats dins la dinàmica poblacional humana és possible una aproximació efectiva i útil a aquest tipus de problemes.

Això és important en la mesura en que la crítica fonamental que es fa als treballs d'anàlisi espacial arqueològic a partir de GIS és que tan sols tenen en compte les dades geogràfiques i, per tant, informació provinent d'altres vies, com pot ser l'arqueologia experimental o bé la etnoarqueologia és ignorada (Grau Mira 2006, p. 17). L'ús de la Intel·ligència Artificial permet sobrepassar aquesta limitació, doncs és possible afegir informació relativa al comportament a les dades geogràfiques, ja de per sí importants. Com a conseqüència, a inicis del segle XXI s'està ampliant l'ús de GIS com a eina d'anàlisi sobre els patrons espacials de les comunitats del passat cap a un marc de treball molt més ampli, que tingui en compte diverses àrees de treball per a generar hipòtesis de treball més versemblants<sup>19</sup>.

Els avantatges de l'aplicació de GIS en arqueologia són clars, doncs la immensa majoria de les dades gestionades per la disciplina són espacials, ja que han estat recuperades del registre arqueològic, que evidentment també ho és. Aquest fet s'ha vist afavorit pel sorgiment, a finals dels anys 60, de l'anomenada *Nova Arqueologia*, una corrent metodològica que considerava el material arqueològic com el producte dels comportaments humans passats. Aquest producte acabava resultant una manifestació espacial observable dins el registre arqueològic. Per tant, els arqueòlegs emmarcats dins aquest mode de pensament van aprofundir en els coneixements científics de la disciplina a partir de mètodes quantitius, tot aprofitant tècniques emprades en altres camps de coneixement, com l'economia i la geografia. En aquest

---

<sup>19</sup>Per a la discussió sobre la diferència entre GIS prospectiu (enfocat a generar hipòtesis) i GIS reflexiu (que permet plantejar un model d'interpretació global del passat) veure (Grau Mira 2006, p. 18).

context els elements teòrics es van disposar a favor de l'ús de mètodes computacionals per a analitzar el concepte espacial, per la qual cosa l'adopció dels Sistemes d'Informació Geogràfica fou directa quan el cost econòmic es va fer suficientment assequible (Torres 2006, pp. 2-3).

Així, el seu ús s'ha anat estenent per diferents camps de la disciplina, des de la gestió patrimonial dels jaciments a la modelització predictiva, la prospecció, la organització de la mateixa excavació o fins i tot els treballs submarins (Bremen 2003).

En quant a les dades d'entrada particulars de l'arqueologia, aquestes poden venir de dos orígens diferents: la prospecció i l'excavació. En el primer cas són dades que ajuden a tenir una idea global del territori, tot suggerint hipòtesis sobre localització de jaciments i extensió dels mateixos. En el segon, es tracta de la recollida exhaustiva de la informació dins un jaciment concret, tot registrant les dades espacials i les característiques dels materials recollits. És una diferenciació important, doncs si les dades provinents de la prospecció acostumen a estar fixades sobre la superfície, la informació generada per una excavació té 3 dimensions, i s'ha de tractar com a tal.

Una de les problemàtiques més importants en quant a l'aplicació dels GIS en arqueologia és la integració d'una tercera dimensió en el model de manera més intuïtiva i potent que no pas com a valors dins un ràster<sup>20</sup>. Tant en el cas de les dades estratigràfiques d'un jaciment a l'aire lliure, com en el cas encara més complicat d'un jaciment dins una cova, es requereixen eines GIS particularment efectives en quant a la seva aplicació a l'arqueologia, doncs els programes existents en l'actualitat generalment no són capaços d'aportar tota aquesta utilitat (Grau Mira 2006, pp. 23-24).

El mateix problema passa amb la representació temporal. En la majoria d'aplicacions GIS aquest factor no és rellevant, doncs tracten dades del present, a partir de les quals poden generar hipòtesis sobre el mateix moment temporal, o bé un futur proper. En el cas de l'arqueologia les dades tenen una datació que pot ser molt variada i que és altament rellevant. A més, aquest factor temporal està íntimament

---

<sup>20</sup>Com veiem en l'apartat 5.3.7.2 referent als DEM.



relacionat amb l'espacial a partir de l'estratigrafia. El temps, doncs, és la segona característica particular de les dades arqueològiques que actualment no està ben resolt en quant a l'aplicació de GIS.

### 5.3.9.1 GIS i Modelització Basada en Agents

Malgrat que els GIS són eines l'ús de les quals és àmpliament estesa, segueix essent com hem vist una tècnica incompleta pel que fa a la interpretació del passat. En aquest sentit, no és possible fer servir tan sols GIS per a modelar la presa de decisions en un entorn social, inconvenient que no es restringeix tan sols als seus usos en investigacions relacionades amb el passat. Per a resoldre-ho s'han desenvolupat una sèrie d'eines conegudes com a DSS (Decision Support Systems), que fan servir les dades provinents dels GIS com a entrades per a un sistema que, tot fent servir tècniques d'Intel·ligència Artificial, permeti prendre decisions racionals.

A inicis del segle XXI una de les branques emergents en quant a recerca al voltant del GIS és la que integra aquests sistemes d'anàlisi amb la modelització basada en agents, ja esmentada en aquest estudi a l'apartat 3.6.6.3. La idea central és fer servir les dades GIS per a recrear el paisatge de la zona d'estudi, i que aquest fet no sols sigui útil per a l'anàlisi espacial i la visualització de les dades, sinó que a més permeti crear una simulació. Aquesta simulació, té en compte tant dades provinents del GIS com patrons de comportament individuals dissenyats i implementats a partir de la teoria de jocs i, per tant, pot ésser una eina extremadament potent en quant a l'establiment de relacions d'ambdós conceptes. És una via de treball molt interessant, però que per altra banda és molt complicada de programar en quant a que s'han d'estudiar curosament els principis segons el qual els agents integrats en la simulació prenen les decisions (Westervelt 2002, pp. 83-103).

## 5.4 L'ús de GIS en l'estudi dels camps de batalla

Les possibilitats brindades per les aplicacions GIS no són aprofitades de cap manera en la investigació, interpretació didàctica, i difusió de la majoria de camps de ba-

talla. El seu potencial, d'altra banda, és elevat, gràcies a les capacitats explicades anteriorment. L'ús dels GIS en aquest àmbit, doncs, es pot dividir en tres apartats:

- Anàlisi espacial
- Gestió de l'excavació arqueològica
- Interpretació i Didàctica de la Història

En el primer cas es fan servir els algorismes destacats anteriorment (Veure apartat 5.3.8) a fi i efecte d'aconseguir generar coneixement a partir de dades geogràfiques bàsiques. En el segon, es registra tota la informació provinent de l'excavació per tal de tenir-la organitzada de manera geogràfica. Així, serà possible treballar amb ella des del GIS, tot combinant-la amb la informació generada pel primer punt. Finalment, totes aquestes dades poden servir per a dissenyar cartografia útil en quant a la interpretació d'un enfrontament bèl·lic. No és un procés independent dels altres dos, doncs els mapes creats per la recerca del camp de batalla es poden fer servir, amb el tractament adequat, per a mostrar l'enfrontament d'una manera més didàctica i entenedora que no pas el simple text; al mateix temps s'estarà mostrant el mètode pel qual hem investigat arqueològicament la batalla, punt important en quant a la interpretació del camp de batalla es refereix.

#### 5.4.1 Fonts de dades generals

Per definir el nostre marc de treball, caldrà primer de tot conèixer les dades generals a partir de les quals treballarem. Aquestes provenen, en els dos casos d'estudi mostrats en aquest treball, de l'agència pública encarregada de la cartografia catalana: l'Institut Cartogràfic de Catalunya. Cal dir, en primer lloc, que ens trobem en una posició privilegiada, doncs és una de les institucions més modernes i obertes a l'ús públic que podem trobar a tota Europa<sup>21</sup>. Les dades ofertes cobreixen totes les ne-

---

<sup>21</sup>Només cal fixar-nos en la diferència entre Catalunya i la resta del territori europeu que trobem en una aplicació GIS tant popular com GoogleEarth; la qualitat de Catalunya, proporcionada per dades provinents de l'ICC, és molt superior a la mostrada per a la majoria dels altres països.

cessitats: des de mapes topogràfics generals a escala 1:250.000 fins a ortofotografia aèria a 1:5.000, a més de centenars de mapes antics digitalitzats<sup>22</sup>.

En aquest sentit una de les avantatges més importants és l'establiment per part de l'ICC d'un WMS (Web Map Service), que ofereix en temps real i de manera gratuïta la connexió de les aplicacions GIS a la seva base de dades particular. L'WMS és un protocol estandarditzat definit per el OGC (Open Geospatial Consortium), que serveix per a comunicar qualsevol aplicació que ho desitgi amb servidors que proporcionin dades geogràfiques. Així, fent servir l'enllaç ofert per l'ICC<sup>23</sup> podem integrar les dades d'aquesta institució amb les que hàgim recollit per altres vies (agències com el SIGPAC espanyol, dades de la NASA, etc.).

### 5.4.2 Referenciació i GPS

El Sistema de Posicionament Global, conegut com a GPS (Global Positioning System), ha contribuït de manera molt poderosa a la popularització dels GIS. La única funció d'aquests aparells és saber a on està ell mateix dins la superfície de la Terra, amb una precisió que pot variar de diversos metres a uns pocs centímetres. Això, que a priori podria semblar trivial, no és una tasca fàcil d'acomplir.

Per saber a on estem situats, cal conèixer dues dades diferents. La primera és la latitud, és a dir, el component Nord-sud de la nostra posició<sup>24</sup>. Era fàcilment calculable pels mitjans tradicionals, tot extrapolant la dada de la orientació i posició del Sol, les estrelles i la Lluna. Per contra, la component Est-Oest, coneguda com a longitud, és molt difícil de conèixer.

Per a solucionar aquests problemes, el GPS fa servir la triangulació de dades pro-

---

<sup>22</sup>Veure [http://www.icc.cat/web/content/ca/common/icc/condicions\\_us\\_pro.html](http://www.icc.cat/web/content/ca/common/icc/condicions_us_pro.html) per a les condicions d'ús dels diversos serveis.

<sup>23</sup>En l'època de redacció d'aquest treball la URL era: <http://shagrat.icc.es:80/lizardtech/iserv/ows>

<sup>24</sup>Entenent, a grans trets, que el component Nord-Sud és l'eix de rotació de la Terra. Cal dir que és prou més complicat, doncs s'ha de tenir en compte tant que la Terra no és una esfera perfecta com la seva pròpia curvatura. Es pot veure amb més detall el càlcul de latitud i longitud a (Longley et al. 2006, pp. 116-120).

vinents de 24 satèl·lits que orbiten la Terra. El procés requereix d'una precisió molt elevada, doncs té en compte tant la posició exacta de cada satèl·lit a cada moment determinat com la velocitat de la llum (a la que es transmeten les dades), l'error causat per la curvatura de la Terra, etc. Com a mínim es requereixen 4 satèl·lits per a que funcioni<sup>25</sup>, i contra més satèl·lits estiguin sincronitzats amb l'aparell major resolució obtindrem.

Amb aquest sistema s'obté la posició amb un marge d'error d'uns 7-10 metres. Per a millorar-ho, existeix una actualització del sistema GPS coneguda com a DGPS (Differential GPS) que aconseguix encara millor resolució, gràcies a l'ús d'estacions terrestres que corregeixen possibles errors dels satèl·lits.

Així, tot i que pugui semblar una cosa absurda, fins fa molt pocs anys era impossible saber a on estaven situades les coses sobre la terra de forma ràpida i senzilla. Cal destacar que el sistema GPS és extraordinàriament complex, doncs funciona a partir del mesurament de les diferències espaciotemporals predites per la Teoria de la Relativitat General d'Albert Einstein<sup>26</sup>.

A partir dels GPS, doncs, és possible mesurar de forma precisa la posició de determinats elements del terreny. És un fet fonamental en quant a l'excavació d'un camp de batalla, doncs ens permetrà registrar dues coses diferents.

Per una banda, un aparell GPS pot guardar un *track* que contingui el recorregut fet per la persona que el porti a sobre. Per a fer-ho, es configura el sistema per a que desi automàticament la seva posició cada 15 segons. Unint tots els punts de forma temporal podem saber, doncs, quines parts del camp de batalla s'han explorat i quines no, tot descarregant aquesta informació en un vector constituït per una polilínia que marqui la trajectòria de l'arqueòleg.

D'altra banda, el GPS pot registrar una sèrie de punts a la nostra elecció, coneguts com a *waypoints*. Sempre que ho desitgem podem crear un amb la posició en la que estiguem en aquell moment determinat i, per tant, podrem georeferenciar qualsevol objecte excavat, amb un marge d'error que no passa dels 10 metres.

---

<sup>25</sup>De fet només calen 3 per a fer una triangulació, però el quart és útil per a esbrinar l'elevació sobre la superfície terrestre.

<sup>26</sup>Per a saber més consultar (Ashby 2007).

Aquest marge, tot i que excessiu en una excavació de caire tradicional, és completament assumible en el cas de l'arqueologia de camps de batalla, doncs com no estem registrant estructures, sinó els patrons de dispersió dels elements trobats relacionats amb l'enfrontament, un error de 5 o 6 metres no és un problema greu; tenint en compte les dimensions globals d'una batalla, corresponents com a mínim a varies hectàrees, no es requereixen sistemes amb una precisió superior a l'establerta pels DGPS.

### 5.4.3 Programari utilitzat

Un cop conegudes les nostres fonts d'informació és el moment de processar les dades per a generar un model geogràfic, que ens permeti generar hipòtesis de treball. Les aplicacions usades durant aquest treball són el programari d'anàlisi espacial GRASS<sup>27</sup> i el sistema de visualització de dades geogràfiques QGIS<sup>28</sup>. Tots dos formen part de l'anomenat *programari lliure*, és a dir, aplicacions la llicència de les quals permet als seus usuaris veure, modificar i executar el codi font del programa<sup>29</sup>. Al contrari que els programes tancats, que comercialitzen l'executable binari d'un programa, per la qual cosa el client no pot saber el que realment s'està executant en el seu ordinador, ni com ho està fent, el programari lliure sí que ho permet per adjuntar-se amb el binari el codi font (d'aquí el seu nom).

Cal destacar que, donat que els usuaris poden modificar el codi, les comunitats de programació d'alguns d'aquests programes són considerables, ja que si alguna persona amb coneixements informàtics vol ampliar un software per a fer alguna tasca determinada que li sigui útil a ella, aquest codi pot afegir-se a l'original, tot ampliant de manera exponencial la seva utilitat<sup>30</sup>.

---

<sup>27</sup><http://grass.itc.it/>

<sup>28</sup><http://www.qgis.org/>

<sup>29</sup>La llicència, coneguda com a GPL (General Public License), es pot llegir aquí: <http://ca.dodds.net/gnu/gpl.ca.html>

<sup>30</sup>L'àmplia majoria de servidors d'Internet funciona amb el programari lliure anomenat Apache, així com els fonamentals DNS, que suporten tota la navegació web. Altres programes referents són el sistema operatiu GNU/Linux, el navegador Mozilla Firefox o bé la base de dades MySQL.

Malgrat que bona part dels sistemes GIS emprats en l'actualitat fan servir el programari propietari i tancat d'ESRI (ArcView, ArcGIS, etc.) cal destacar que la opció de programari lliure és molt positiva en quant al seu ús dins el camp de la recerca. Permet conèixer quins algorismes són els que s'estan executant al fer l'anàlisi espacial, a més de ser possible provar-ne de nous a partir de la modificació o addició de codi informàtic generat pel propi investigador.

A més, és possible compatibilitzar diversos programes si, com és el cas que estem tractant, cadascun d'ells està especialment dotat per a una tasca concreta; els programes propietaris no acostumen a ser compatibles entre ells, i integrar-los en un marc de treball comú no és senzill. D'aquesta integració, a més, se n'ocupa en l'entorn de programari lliure la *Open Source Geospatial Foundation*<sup>31</sup>, un òrgan que intenta establir un context de col·laboració general entre tots els programes en desenvolupament actiu.

#### 5.4.3.1 GRASS

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) és un sistema GIS d'alta complexitat emprat per a la gestió d'informació, processament d'imatge, producció de gràfics, modelització geogràfica i visualització de nombrosos tipus de dades.

En el seu origen, GRASS va ser desenvolupat per l'exèrcit nordamericà, en concret per la secció dels laboratoris de recerca del US Army Corps of Engineers, com a eina per a la gestió ambiental i territorial enfocada a usos militars. Aquest procés, que s'inicià al 1982, va mutar al 1995 en un programa de codi lliure extremadament potent per a una àmplia gama d'aplicacions científiques. Així, és emprat extensivament per moltes agències governamentals (NASA, National Park Service, USGS), així com per qualsevol investigador interessant en l'anàlisi espacial, donat que es distribueix de forma gratuïta i lliure.

A partir de la seva integració amb diverses utilitats lliures addicionals, les seves capacitats han augmentat progressivament. A banda d'emprar la llibreria GDAL/OGR<sup>32</sup>,

---

<sup>31</sup><http://www.osgeo.org/>

<sup>32</sup>Geospatial Data Abstraction Library, veure <http://www.gdal.org/>

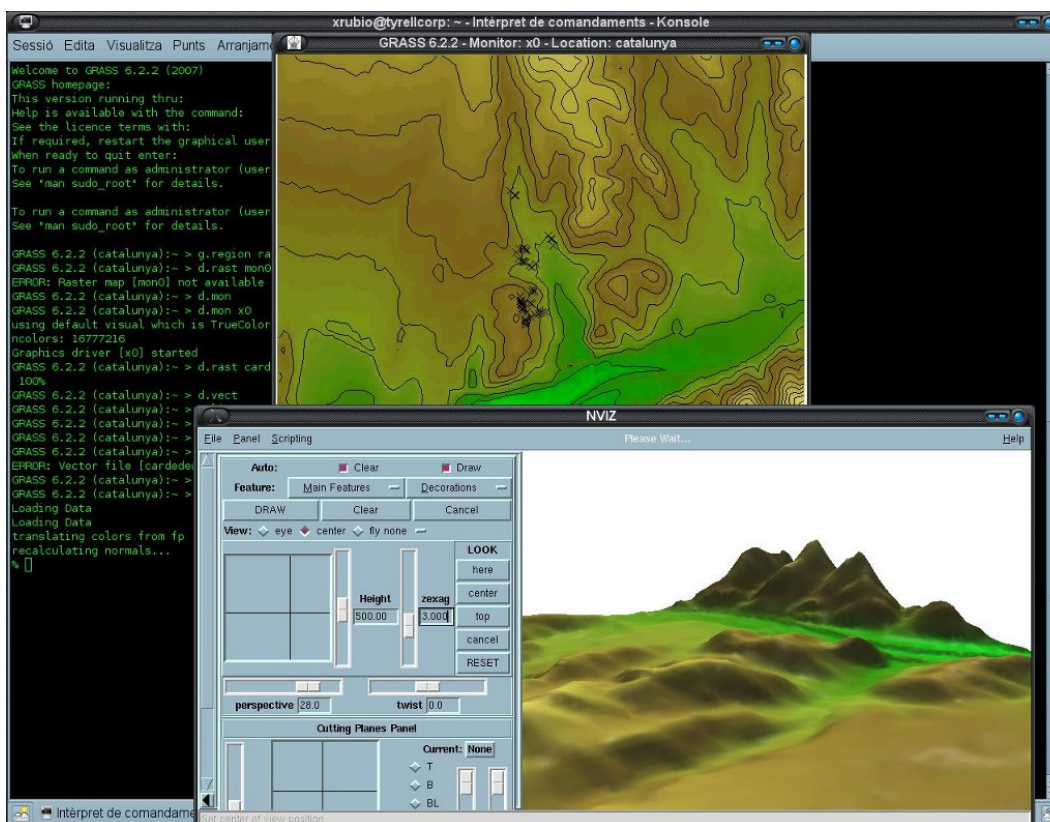


Figura 5.18: Interfície gràfica de GRASS i NVIZ

que li permet fer servir la immensa majoria de formats ràster i vectorials existents en l'actualitat, és capaç de realitzar reconstruccions virtuals en 3 dimensions de les dades a partir de NVIZ<sup>33</sup>, com es pot veure a la figura 5.18.

El pitjor inconvenient de GRASS és que requereix de l'usuari uns coneixements elevats sobre GIS i informàtica. Per a solucionar-ho, s'està desenvolupant una interfície gràfica cada cop més intuïtiva, però el que fa realment potent aquesta aplicació és l'execució d'ordres a partir de consola. Això permet crear petits programes (anomenats *scripts*) que es poden executar dins l'entorn de GRASS, combinant així el sistema GIS amb una capacitat d'ampliació a partir de la programació de petites ajudes realment elevada<sup>34</sup>.

<sup>33</sup><http://grass.itc.it/nviz/index.html>

<sup>34</sup>Com a mostra veure els *scripts* creats expressament per als casos d'estudi d'aquest treball, descrits a l'apèndix A.

### 5.4.3.2 QGIS

Com GRASS, QGIS és una altra aplicació lliure que forma part del projecte OSGEO. Al contrari que GRASS, però, QGIS està especialitzat en la visualització de les dades i la producció cartogràfica.

El seu origen és molt recent, doncs la programació va començar al 2002. La idea que donà forma al projecte era la creació d'una eina per a visualitzar dades GIS de forma àgil, i que a més pogués suportar una gran quantitat de formats georeferenciats diferents.

L'elecció d'aquesta aplicació com a complement de GRASS es deu a que QGIS s'integra perfectament dins l'entorn d'aquest programa d'anàlisi; és capaç de llegir la informació compresa dins la base de dades de GRASS, i fer servir les eines del mateix dins la seva interfície gràfica (A tall d'exemple veure el *toolbox* de GRASS dins QGIS, a la figura 5.19).

Això és possible degut als beneficis proporcionats pel programari lliure, tal i com hem esmentat anteriorment; la capacitat d'integrar diversos programes en un mateix projecte, tot programant codi nou en el cas que sigui necessari, és una gran avantatge en quant a l'investigador es refereix, doncs li permet fer servir les millors eines per a cada tipus de tasca concreta durant la recerca.

### 5.4.4 Excavació i anàlisi espacial del camp de batalla

La visualització del territori del camp de batalla a partir de GIS és la primera fita per a començar a fer servir aquest tipus d'eines en benefici de l'arqueologia del conflicte. Pot proporcionar vistes molt útils de la zona d'enfrontament, especialment si el DEM ràster té una bona resolució, i el sistema és capaç de crear una representació tridimensional del terreny, com per exemple l'ús de NVIZ dins de GRASS.

També és interessant la possibilitat de connectar-se a un servidor que disposi de WMS, per tal de relacionar les dades d'altura amb fotografia aèria d'alta resolució<sup>35</sup>,

---

<sup>35</sup>Com a mínim a escala 1:25.000, tot i que 1:5.000 és l'escala més recomanable a partir de la qual treballar.



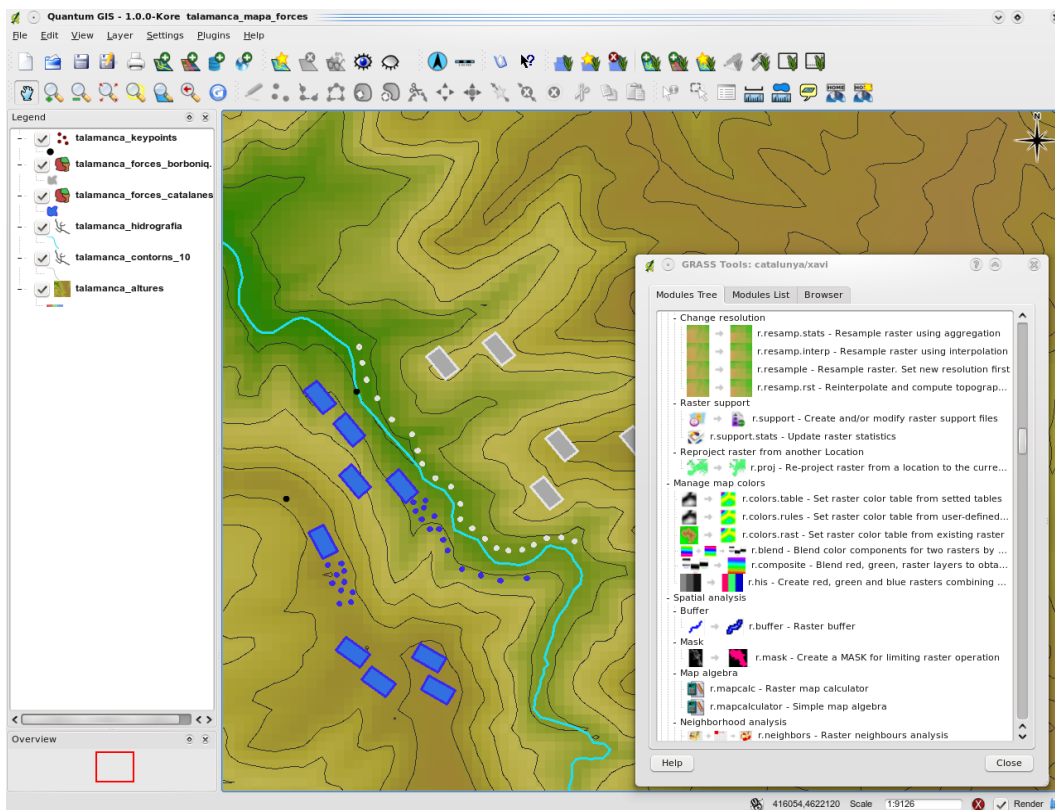


Figura 5.19: Integració dels entorns QGIS i GRASS

així com amb mapes topogràfics que permetin situar topònims que puguem trobar en fonts primàries textuais o cartogràfiques referides a la batalla. La fotografia aèria en concret permet detectar estructures relacionades amb la batalla, com podrien ser trinxeres, accidents geogràfics referenciats en cartografia de la època, modificacions en el traçat de camins i rius, etc. (García Sanjuán 2005, pp. 105-119)

Adicionalment podem integrar en el projecte GIS mapes coetanis a la mateixa batalla. Per a fer-ho, és necessari realitzar un procés de georeferenciació, en el qual es van seleccionant punts coneguts i referenciats pel GIS al mapa que estem intentant integrar. Per exemple, en el cas d'un camp de batalla podríem anar seleccionant diversos edificis dispersos pel territori que romanguin visibles en l'actualitat, o bé punts de creuament entre carreteres encara existents, accidents geogràfics identificables, etc. Contra més punts se situïn sobre el mapa més qualitat tindrem en la referenciació; finalment, el programa deformarà el mapa de tal manera que pugui encaixar dins les dades geogràfiques del model GIS.

Cal destacar que la cartografia generada a l'època moderna no és, evidentment, tan exacta com la que es pugui fer avui en dia, i per tant alguns dels mapes es deformaran de manera ostensible perquè no són suficientment acurats. En relació a mapes de batalla, repetidament ens trobem que la zona principal d'enfrontament és molt detallada, mentre que l'entorn que la rodeja tendeix a distorsionar-se de forma extrema, degut a que l'autor no va considerar pertinent que fos necessari mantenir l'escala. Veure per exemple la figura 5.20, que representa la batalla de Prats de Rei, ocorreguda al 1711 vora Calaf. La zona principal és molt detallada, fins i tot a nivell de trinxeres, rius, cases, etc.

En canvi, al allunyar-se del camp de batalla el terreny està tan distorsionat que gairebé és irreconeixible, com es pot veure en la figura 5.21, en la qual s'ha georeferenciat el mapa anterior.

Totes aquestes tècniques contribueixen a programar el treball dut a terme durant l'excavació. Podem fer-les servir per a trobar el camp de batalla, intentar delimitar-lo, i fins i tot hipotetitzar sobre les zones amb un major potencial en quant a trobar material de l'enfrontament, per tal d'iniciar els treballs amb una certa seguretat



Figura 5.20: Mapa de la batalla de Prats de Rei (1711)



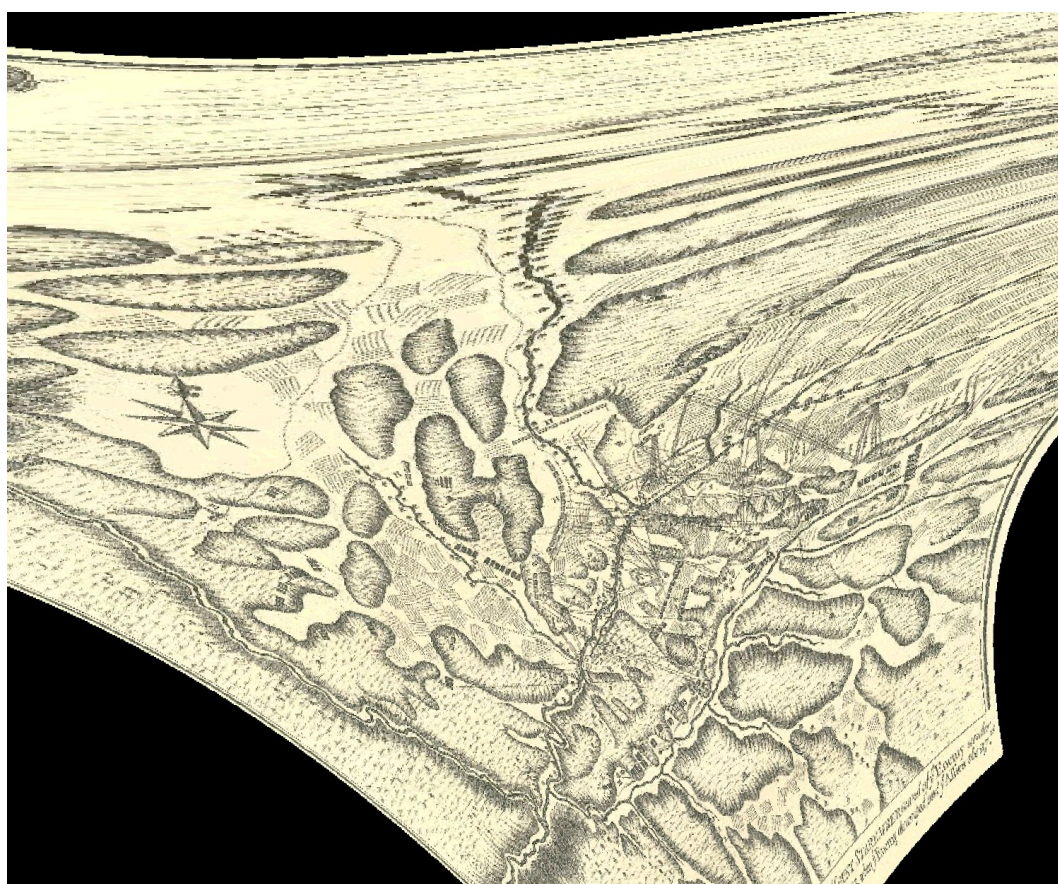


Figura 5.21: Versió georeferenciada de Prats de Rei

sobre els resultats.

Un cop l'excavació s'ha dut a terme podem afegir a aquest mateix sistema les dades recollides pels aparells GPS, dins les coordenades cartogràfiques ja creades. Fent servir un format vectoritzat<sup>36</sup> podem definir el model de dades que ens interessi, tot afegint els atributs requerits per l'estudi<sup>37</sup>. Si la base de dades està correctament dissenyada podem iniciar l'anàlisi espacial, tot fent servir les eines esmentades anteriorment.

Les consultes ens permeten filtrar la informació, a fi i efecte de detectar patrons espacials en les troballes arqueològiques. Per exemple, si els soldats van lluitar fent servir armes de foc, com passa als camps de batalla d'època moderna, podem classificar cada projectil de plom trobat pel seu pes. Fent una consulta que discrimini els registres de bales a partir dels pesos detectarem els projectils provinents d'armes que fessin servir calibres diferents, com per exemple els fusells i les carrabines. Com que les tropes feien servir armes especialitzades, és possible per aquest sistema saber si ens trobem en un lloc d'enfrontament entre infanteria (que portava fusells) o bé cavalleria (armada amb pistoles i carrabines). En els casos en els quals els calibres són diferents pels dos bàndols el sistema GIS pot mostrar qui va disparar cadascuna de les bales, per la qual cosa es genera un volum d'informació encara més important.

Així doncs, sumant les dades provinents d'arqueologia, cartografia antiga i actual, i fotografia aèria podem obtenir una imatge global del camp de batalla que estem estudiant. Això és important per sí mateix, però com hem anat veient al llarg d'aquest capítol és la punta de l'iceberg en quant al potencial dels GIS.

A partir d'un DEM a suficient resolució podem extreure, com hem vist, els mapes de gradient i aspecte de la zona. Si la qualitat és suficientment bona podem trobar algunes pistes sobre les rutes lògiques existents al territori de l'enfrontament. Les àrees amb valors de gradient alt seran difícilment emprades per les formacions típiques del segle XVIII, consistents en el desplegament lineal de les tropes. Si

---

<sup>36</sup>En els nostres casos d'estudi hem fet servir el format vectorial anomenat *shapefile*.

<sup>37</sup>L'apèndix C resumeix la base de dades creada durant el segon cas d'estudi, la batalla de Talamanca. Cada fila és un element arqueològic recuperat a la zona, essent les columnes els diferents atributs definits.

transcendim la zona del camp de batalla i examinem una campanya sencera, les rutes marcades per les zones amb un valor de fricció baix seran les emprades per un exèrcit en marxa, que porta amb ell cavalls, mules, trens d'artilleria, subministres i més impedimenta.

Així, podem emprar els algoritmes referents a rutes de mínim cost (dins l'apartat 5.3.8.5 per a trobar les zones de marxa dels exèrcits quan aquestes siguin desconegudes. En aquest sentit és bàsica la tria d'un algoritme adequat. Alguns d'ells són *enganyats* pels màxims i mínims locals, és a dir, punts en els quals a priori és més fàcil la circulació, però que a la llarga tenen un cost superior al d'altres de diferents. Això passa quan l'algoritme no *veu* més enllà d'unes poques cel·les, motiu pel qual pot caure en un error d'aquest tipus al faltar-li algun tipus de mecanisme de decisió a llarg abast.

Malgrat tot, no cal menysprear aquests algoritmes senzills, doncs depenent de la situació un exèrcit marxa més d'aquesta manera que no pas com si conegués a la perfecció el terreny. Tipifica, sobretot, exèrcits desplaçant-se per territori enemic, quan les referències conegudes poden ser escasses i és possible equivocar-se.

Els algoritmes d'optimització referents a la localització de punts donats també ens poden ser útils. Un exemple és l'exploració de zones campamentals, a on una sèrie de variables (proximitat de l'aigua, gradient, altiplans, etc.) poden discriminar els millors llocs potencials per a establir campaments, tot orientant una futura prospecció o excavació arqueològica.

Un altre tipus d'algoritme útil en quant a l'arqueologia de camps de batalla és l'anàlisi de línies de visió a partir d'un DEM. Aquests algoritmes permeten saber el que es veu des d'un punt de vista determinat, tot especificant tant la distància (que podria ser variada per boira, pluja, etc.) com l'altura sobre el terreny. Un cop especificats aquests valors, podem explorar algunes problemàtiques especials dels camps de batalla moderns, com ara bé el que un comandant veia des d'un punt determinat, o les posicions de bateries artilleres, així com les zones a les quals podien disparar.

Finalment, el *buffering* ens pot ser útil per a hipotetitzar sobre els límits d'un

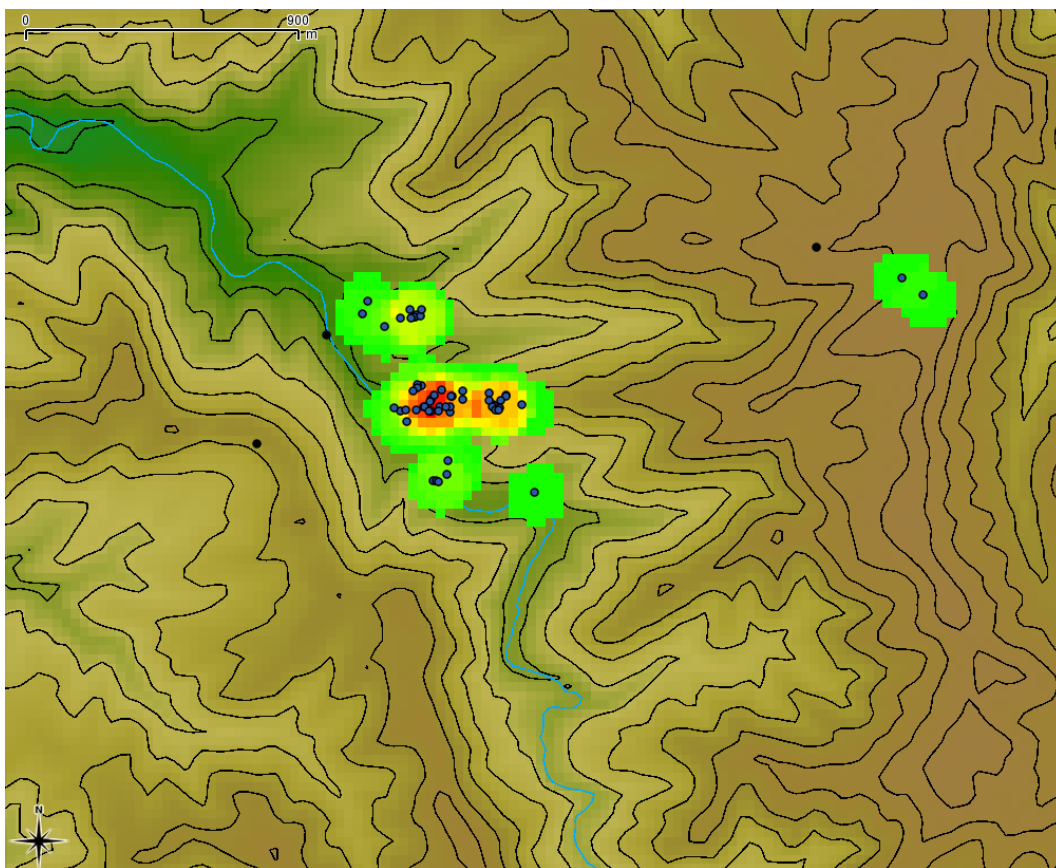


Figura 5.22: Resultats de l'algoritme de neighbourhood

camp de batalla. Imaginem una situació en la qual hem excavat una part que suposem petita d'un enfrontament, i ho hem fet de tal manera que les zones excavades estan disperses per tot el camp de batalla. En un cas com aquest, podem aplicar algoritmes de *neighbourhood* basats en el *buffering*, a fi i efecte d'expandir les densitats de projectils que tenim sobre el terreny, amb la intenció de formular hipòtesis sobre els límits del camp de batalla, així com les zones principals d'enfrontament (veure, per exemple, la figura 5.22).

#### 5.4.5 Interpretació i Didàctica

Les dades generades pel GIS no solament són útils en quant a l'estudi i excavació del camp de batalla. També poden solucionar alguns dels problemes descrits a l'inici d'aquest capítol, referent a la desorientació i ambigüitat que genera la cartografia

emprada normalment en publicacions i museïtzacions relatives a aquests entorns patrimonials.

Així, una primera opció és fer servir les eines al nostre abast per a donar una perspectiva més particular de les accions i punts de vista de cada bàndol. En enfrontaments a escala tàctica seria interessant descartar la vista d'ocell típica de les projeccions ortogràfiques, cosa que ens permet un GIS com GRASS, que porta incorporat un sistema de visualització en 3 dimensions, des de qualsevol punt i enfoc possible.

Aquest tipus de sistemes obté el màxim potencial quan es deixa escollir al propi usuari el punt de vista sobre el terreny que ell o ella desitgi, a través d'algun tipus d'aplicació informàtica complementària a la publicació. Existeixen ja alguns exemples, com el recorregut pels paisatges de la batalla de l'Ebre (Hernández et al. 2004).

D'altres exemples, inclosos dins els casos d'estudi proposat en aquest treball, són les figures 7.31, 7.30, 8.5 i 8.7.

En les dues primeres imatges es visualitza el camp de batalla d'Almenar des de diversos punts de vista, a fi de demostrar la utilitat i el potencial d'aquest tipus de tècniques en quant a dotar a la pròpia narració textual d'una perspectiva necessària que destaquï la importància del terreny i el paisatge circumdant a l'enfrontament. Les dues darreres figures representen la visió dels comandants durant la batalla de Talamanca, seguint informació proporcionada per les fonts textuales. Cal destacar que, a més, es combinen aquestes reconstruccions amb anàlisis de línies de visió dels dos emplaçaments.

A banda de les representacions tridimensionals, hi ha altres aspectes destacats en els quals l'ús de GIS pot millorar la comprensió d'un enfrontament bèl·lic. L'anàlisi espacial basat en mesures pot ser d'ajuda en la creació de mapes històrics, doncs d'aquesta manera es podran establir acuradament les dimensions de les diverses formacions, tot tenint en compte el terreny. D'altra banda, és de la màxima prioritat, especialment en quant a visites físiques al camp de batalla, que la persona que està fent servir la informació publicada sigui capaç de relacionar el terreny que estigui



veient amb les indicacions dels mapes.

Per tant, es pot combinar informació relativa tant a la cartografia antiga com a la nova, a fi i efecte d'aconseguir que el visitant interpreti el terreny de forma autònoma, al mateix temps que doti de sentit l'àrea per la qual està circulant.

És bastant fàcil concloure que totes les ajudes cartogràfiques que se li donin a l'usuari seran especialment benvingudes, donades les dificultats que té la concepció global de l'espai quan no es tenen elements visuals destacables. Si, a més, estem parlant d'un conjunt patrimonial de grans dimensions com és un camp de batalla, a on la importància del terreny és encara més bàsica que no pas en altres tipus de jaciments arqueològics, podem concloure que l'ús d'un GIS per a generar coneixement cartogràfic és gairebé necessari.

Aquesta tendència s'està generalitzant en les últimes publicacions relacionades amb la història de la guerra. Cada cop més sovint les guies i llibres s'editen amb una abundant cartografia, i algunes de les millors obres contenen fins i tot una detallada descripció del territori a on està emmarcada l'acció, incloent mapes, fotografies del paisatge i altres elements descriptius (Duffy 2008, pp. 400-419).

Finalment, publicar els resultats dels diversos anàlisis espacials realitzats pot contribuir a explicar de forma didàctica la recerca feta i, per tant, a que el visitant compregui el que va passar en una batalla a partir del procés científic que l'ha estat investigant i en el qual, a banda de les fonts textuais, tenim nombrosos elements que requereixen ser explicats. Així es contribueix a la idea que s'ha de relacionar estretament la investigació feta al voltant d'un element patrimonial i la seva presentació al públic, doncs aquest fet incidirà de manera important en la interpretació feta, com es notava a l'apartat 2.2.2.