

UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA

Enginyeria Tècnica en Informàtica de Sistemes

Anàlisi del riu Llobregat com a via de transport del Baix Llobregat a l'època romana, amb eines SIG.

Alumne: Raül Vicente Botello Serrano

Dirigit per Anna Muñoz Bolas

Curs 2007-2008, Gener/Juny

UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA

Enginyeria Tècnica en Informàtica de Sistemes

Agraïments

Als meus pares, per educar-me en
l'esforç i la perseverança.

A la Sònia, el Pol i en Jan, per regalar-me
tot el temps que he necessitat per
aconseguir arribar fins aquí.

Anàlisi del riu Llobregat com a via de transport del Baix Llobregat a l'època romana, amb eines SIG

Resum

L'objectiu del treball és estudiar els sistemes d'informació geogràfica (SIG), conèixer la tecnologia associada a aquests sistemes, i els tipus i formats de les dades que utilitzen. A més de la part purament teòrica i, per treballar el funcionament del programari *Geomedia*, es desenvolupa un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG), que permeti analitzar les funcions dels jaciments romans de la zona del riu Llobregat i consultar els jaciments, emmagatzemats en una base de dades de forma espacial. S'implementaran les funcionalitats de consulta de la informació històrica associada al jaciment i, finalment, es simularan les crescudes del riu Llobregat en l'època romana. Es fa palès que la principal característica dels SIG és la capacitat d'analitzar informació georeferenciada. Per tant, s'incideix en els conceptes bàsics de topologia, cartografia, i els diferents tipus de dades que fan servir els SIG: metadades, atributs i models de dades espacials, sobre tot models digitals de terreny (MDT). Seguidament, s'exposen les tasques que cal fer per preparar les dades que serviran de mostra per al desenvolupament del treball (mapes, ortofotografies i digitalitzacions). A continuació, s'aborda el desenvolupament de l'eina de gestió i les simulacions a realitzar. Finalment, s'exposen les conclusions obtingudes del treball.

Análisis del río Llobregat como vía de transporte del *Baix Llobregat* en la época romana, con herramientas SIG

Resumen

El objetivo del trabajo es estudiar los sistemas de información geográfica (SIG), conocer la tecnología asociada a estos sistemas, y los tipos y formatos de los datos que utilizan. Además de la parte puramente teórica y, para trabajar el funcionamiento del programa *Geomedia*, se desarrolla un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permita analizar las funciones de los yacimientos romanos de la zona del río Llobregat y consultar los yacimientos almacenados en una base de datos de forma espacial. Se implementarán las funcionalidades de consulta de la información histórica asociada a cada yacimiento y, finalmente, se simularán las crecidas del río Llobregat en la época romana. Resulta evidente que la principal característica de los SIG es la capacidad de analizar información georeferenciada. Por tanto, se incide en los conceptos básicos de topología, cartografía, y los diferentes tipos de datos que utilizan los SIG: metadatos, atributos y modelos de datos espaciales, sobre todo modelos digitales de terreno (MDT). Seguidamente, se exponen las tareas necesarias para preparar los datos que servirán de muestra para el desarrollo del trabajo (mapas, ortofotografías y digitalizaciones). A continuación se aborda el desarrollo de la herramienta de gestión y las simulaciones a realizar. Finalmente, se exponen las conclusiones obtenidas del trabajo.

Analysis of the Llobregat river as a Baix Llobregat's mean of transporting in Roman times, with GIS tools

Abstract

The objective of this work is to study geographic information systems (GIS), understand the technology associated with these systems, and the types and formats of data they use. In addition to the theoretical side, and to work the operation of *Geomedia*, it is developed a Geographic Information System (GIS), which permits the analysis functions of the Roman deposits in the area of the Llobregat river and consult deposits stored in a spatial form data base. It will be implemented functionalities to consult historical information associated with each site and, finally, the river Llobregat floods in the Roman era will be simulated. Clearly, the main feature of GIS is the ability to analyse geo-referenced information. Therefore, the basic concepts of topology, cartography, and the different types of data using GIS: metadata, attribute and spatial data models, especially digital terrain models (DTM) will be reviewed. After the tasks necessary for preparing the data to serve as a sample for development work (maps, orthophotos and scan) are treated. From this point on, the development of the management tool and the simulations to be performed are treated. Finally, the findings of the work are presented.

Índex

1.1. Descripció del Treball de Fi de Carrera	8
1.2. Objectius.....	8
1.3. Abast del treball	9
1.4. Organització	9
1.5. Productes obtinguts	10
1.6. Descripció de la memòria	10
1.7. Avaluació del seguiment del Pla de Treball	10
2. Els sistemes d'informació geogràfica	11
2.1. Introducció.....	11
2.1.1. Definició dels Sistemes d'Informació Geogràfica	11
2.1.2. Maquinari.....	11
2.1.3. Programari	12
2.1.4. Les dades.....	12
2.2. Models de dades	13
2.2.1. Model vectorial	13
2.2.2. Model ràster.....	16
2.3. Entrada de dades.....	18
3. Introducció a la cartografia.....	19
3.1 La cartografia	19
3.1.1. Els mapes	19
3.1.2. L'escala.....	19
3.1.3. Les corbes de nivell i la llegenda	21
3.1.4. Els sistemes de referència espacial i projeccions cartogràfiques.....	22
4. Els models digitals de terreny	26
4.1. Concepte de model digital de terreny.....	26
4.1.1. Definició de model.....	26
4.1.2. Tipus de models.....	26

4.1.3. Els models digitals de terreny	28
4.1.4. Mapes i models digitals de terreny	29
4.1.5. Simulació de processos amb els MDT	29
4.2. El model digital d'elevacions.....	30
5. Elaboració d'un SIG de la zona de treball amb <i>Geomedia® Professional</i>	35
5.1. Geomedia® Professional®	35
5.1.1. Els elements principals.....	36
5.2. La cartografia de la zona de treball	39
5.2.1. Sistemes de referència cartogràfics.....	40
5.2.2. Tipus de dades.....	40
5.3. Integració de la cartografia en el programari Geomedia®	41
5.3.1. El sistema de coordenades.....	41
5.3.2. Creació del GeoWorkspace	42
5.3.3. Digitalització del traçat del riu Llobregat a l'època romana	45
6. Conclusions	57
7. Línies futures de treball	58
7. Glossari	59
8. Bibliografia	60

Índex de figures

Figura 1. Calendari.....	9
Figura 2. Imatge, d'esquerra a dreta, d'un grup de punts, de línies i de polígons. (http://www.udistrital.edu.co/comunidad/profesores/rfranco/graficas/unidades.jpg).....	14
Figura 3. Imatge d'una xarxa d'arcs.....	15
Figura 4. Exemple de formació de polígons i emmagatzematge de les dades a les taules.	15
Figura 5. Model ràster.	16
Figura 6. Relació de connectivitat en el model de dades ràster.....	17
Figura 7. Escala gràfica (http://elprofe.iespana.es/images/Dibujo/escala.gif).....	20
Figura 8. Tres mapes a escala gran (1:10000), mitjana (1:50000) i petita respectivament (1:25000). (http://www.fao.org/DOCREP/003/T0446S/T044644.gif).....	20
Figura 9. Procés de creació de les corbes de nivell. (http://manual.endureros.com/enduro/cotas.jpg).....	21
Figura 10. Llegenda d'un mapa amb diferents símbols.(http://www.orista.llucanes.net/gallery2/d/109-2/llegenda.JPG).....	22
Figura 11. Imatge del sistema de coordenades geogràfiques. (http://images.encarta.msn.com/xrefmedia/eencmed/targets/illus/ilt/T012774A.gif).....	23
Figura 12. Mapa amb sistema de coordenades propi.....	23
Figura 13. Fusos de la projecció de Mercator. (http://www.ikumendi.com/gps/conocimientos/fotos/husos.gif).....	24
Figura 14. Quadricula UTM. (http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Utm-zones.jpg).....	24
Figura 15. Situació precisa d'un punt per mitja de coordenades UTM. (http://www.ikumendi.com/gps/conocimientos/fotos/mapa_utm.gif).....	25
Figura 16. Model icònic de la Terra (http://www.danotario.com/topografia/modelo3.JPG).....	26
Figura 17. Mapa mundi (http://zaragozaciudad.net/violinista/upload/20070516115341-mapa-mundi112.jpg).....	27
Figura 18. Exemple de model simbòlic, una conca de visibilitat (http://www.departamento.us.es/dpreyaraq/web/img/visibilidad9.jpg).....	27
Figura 19. Procés de simulació amb MDT.....	30
Figura 20. Model de contorns (http://www.danotario.com/topografia/modelo20.jpg).....	31
Figura 21. Exemple d'una xarxa TIN (http://dusk2.geo.orst.edu/gis/images/tin.gif).....	31
Figura 22. Exemple de matriu regular.....	32
Figura 23. Procés de divisió i subdivisions per la construcció d'un <i>quadtree</i>	32

Figura 24. Exemple de model digital d'elevacions. (http://gis.esri.com/library/userconf/latinproc00/costa_rica/analisi_vulnerabilidad/mapa1.jpg)	34
Figura 25. (http://www.cidem.com/catalonia/imatges/mapa_cat.gif)	39
Figura 26. En blau, recorregut del riu Llobregat a la comarca del Baix Llobregat a l'època romana.	39
Figura 27. Sistema de coordenades del GeoWorkspace.....	42
Figura 28.....	43
Figura 29. Creació del magatzem de lectura de dades ArcView.....	43
Figura 30. Imatge de la finestra de registre d'una imatge.	44
Figura 31. Imatge de la llegenda del treball, on s'aprecia la personalització dels jaciments	44
Figura 32. Imatge inicial del treball a la finestra del GeoWorkspace.....	45
Figura 33. Imatge amb les ortofotografies carregades al SIG.	46
Figura 34 Imatge amb la malla de referència i els mapes topogràfics carregats al SIG.	46
Figura 35. Imatge general del traçat (en blau) del curs fluvial.	47
Figura 36. Detall de la digitalització.....	47
Figura 37. Finestra de l'àrea d'estudi	48
Figura 38. Capa DTM_15m_filled	48
Figura 39. Blending.....	49
Figura 40. Capa ombrejada i acolorida per altures.....	49
Figura 41 Capa curs del riu.....	50
Figura 42. Detall de la capa flux de l'aigua. En blau s'han destacat els corrents amb valors més alts.....	50
Figura 43. Detall de la xarxa de drenatge	51
Figura 44. Detall centrat al riu Llobregat de la capa de xarxa segmentada.	51
Figura 45. Conques fluvials	51
Figura 46. Imatge de les capes ja vectoritzades i amb els colors canviats.	52
Figura 47. Imatge final de les dades carregades al SIG, un cop realitzats tots els càlculs (només es mostren les conques del riu Llobregat).	52
Figura 48. Creació del model 3D.....	53
Figura 49. Imatge del terreny 3D.....	54
Figura 50. Imatge del terreny 3D amb ortofotografies i un mapa.....	54
Figura 51. Imatge del terreny 3D amb les conques hidrològiques del riu Llobregat.	55
Figura 52. Imatge global de la comarca del Baix Llobregat i el recorregut del riu Rubricatvm.	56

Introducció

Ningún plan de batalla sobrevive al contacto con el enemigo.

Von Moltke, H.K.B. (1800-1891)

Seguidament s'exposa la descripció detallada del present treball i el llistat dels seus objectius, tant genèrics com específics. A més, s'analitza l'abast del treball proposat.

1.1. Descripció del Treball de Fi de Carrera

El riu de major envergadura a l'època romana va ser, pel que fa a la costa central de Catalunya, el riu Llobregat. Aquest riu era navegable en època romana, sobretot entre la seva desembocadura i el seu encreuament amb la Via Augusta, com prova la localització de petits embarcadors a les dues ribes.

Aquest treball està orientat a la construcció d'un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG), utilitzant *Intergraph® Geomedia® Professional 6.0*, que possibiliti analitzar les funcions dels jaciments romans de la zona del riu Llobregat. El Sistema permetrà consultar els jaciments, emmagatzemats en una base de dades, de forma espacial i en funció de les dades de referència. Com a resultat de les consultes es mostrarà una vista en tres dimensions amb la localització dels jaciments correctament simbolitzats, corbes de nivell i toponímia corresponent. S'implementaran les funcionalitats de consulta de la informació històrica associada al jaciment i, finalment, es simularan les crescudes del riu Llobregat en l'època romana.

1.2. Objectius

1.2.1. Generals

Un cop finalitzat el treball de fi de carrera, s'han d'haver assolit els següents objectius:

- Comprendre els conceptes de la tecnologia SIG i la seva metodologia.
- Conèixer l'estructura dels diferents tipus de dades amb els quals treballa un SIG i el concepte de topologia.
- Trobar, generar i manipular dades geogràfiques.
- Saber plantejar un treball SIG.
- Demostrar coneixement pràctic de les operacions d'anàlisi espacial i transformacions en *Intergraph® Geomedia® Professional 6.0*.
- Demostrar coneixements pràctic d'operacions d'anàlisi ràster.
- Entendre i saber usar les operacions i anàlisi de models digitals de terreny (MDTs).

1.2.2. Específics

- Digitalitzar el traçat del riu Llobregat segons les fonts històriques i realitzar vistes 3D sobre el MDT de la zona, aportant el màxim d'informació històrica complementària.
- Simular els efectes d'una riuada. Estudiar l'impacte sobre els diferents tipus de jaciments i la seva ubicació.

1.3. Abast del treball

Es considera dintre de l'abast d'aquest treball:

- Estudi de la tecnologia SIG i de la seva metodologia, així com el concepte de topologia, de cartografia i d'estructura dels diferents tipus de dades.
- Recopilació, cerca i tractament de les dades (jaciments romans i ortofotomapes) que es faran servir com a mostra del treball.
- Digitalització del traçat del riu Llobregat a l'època romana.
- Creació de la base de dades que es farà servir com a mostra de l'estudi.
- Implementació de les eines de consulta automatitzada i de la simulació de riuada.
- Redacció de la memòria del treball.
- Realització de la presentació virtual.
- Participació en el debat virtual.

1.4. Organització

A continuació es detalla la organització del treball, dividit en una sèrie d'activitats que s'agrupen en quatre Proves d'Avaluació Continuada (PAC) i un Debat Virtual. El calendari es mostra en diagrama de Gantt a la figura 1. La distribució d'hores disponibles diàriament al calendari segueix un patró uniforme de quatre hores diàries.

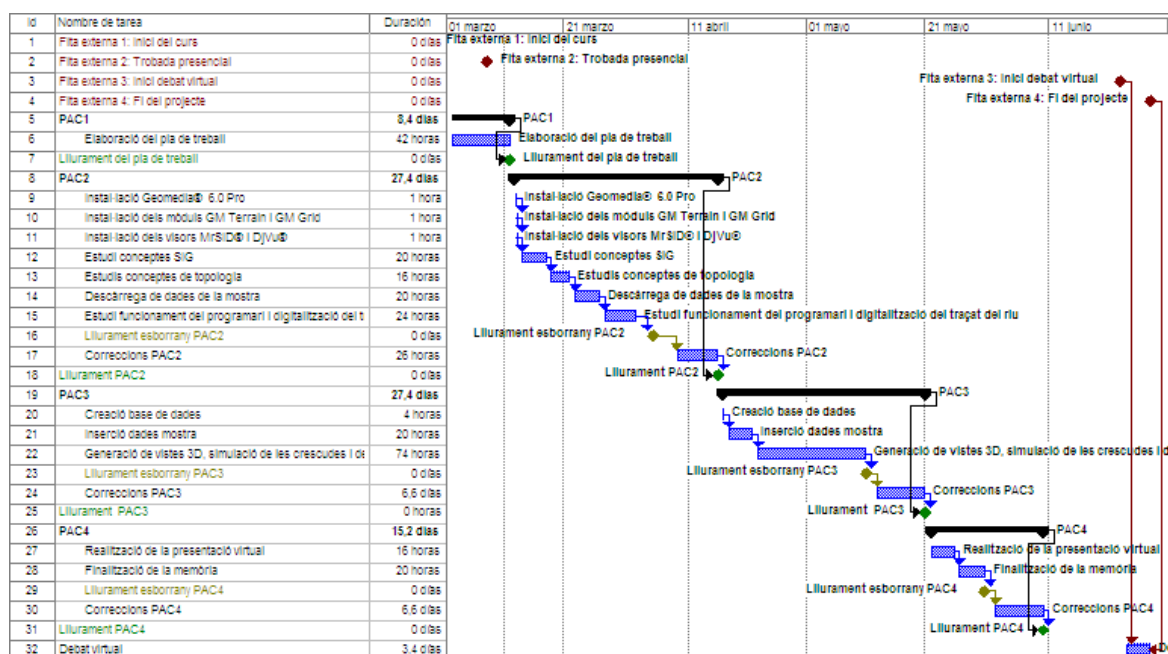


Figura 1. Calendari

1.5. Productes obtinguts

Al finalitzar el treball s'obtingran els següents lliurables:

- Arxius de Geomedia (*GeoWorkspace*, arxius de coordenades)
- Arxius utilitzats per al desenvolupament (fonts, recursos i arxius del projecte)
- Continguts de les bases de dades de jaciments, toponímia romana i enllaços a les dades.
- Document de la memòria.
- Presentació virtual.

1.6. Descripció de la memòria

La memòria està organitzada en set capítols:

- 1 **Introducció.** Pla de treball
- 2 **Conceptes.** Conceptes relacionats amb la tecnologia SIG que són necessaris per a entendre la resta de la memòria.
- 3 **Cartografia.** Introducció a la cartografia i als conceptes bàsics imprescindibles per a l'execució del treball.
- 4 **Models Digitals de Terreny.** Breu ressenya del concepte de model digital de terreny i introducció a les seves característiques.
- 5 **Elaboració d'un SIG de la zona de treball amb Geomedia® Professional.** Iniciació al programari Geomedia i les tasques i modificacions necessàries per a carregar i tractar les dades de mostra. Anàlisi de les conques hidrogràfiques i la generació de models 3D amb les dades recopilades.
- 6 **Conclusions.** Dificultats trobades i valoració final.
- 7 **Línies futures de treball.** Propostes de futur per millorar el treball.

1.7. Avaluació del seguiment del Pla de Treball

El Pla de treball s'ha pogut seguir de forma relativament fàcil. Les dues primeres fites i el quart lliurament s'han realitzat d'acord a la planificació.

Per contra, la tercera Prova d'Avaluació Continuada ha suposat una càrrega de feina superior a la prevista inicialment, que ha coincidit amb una sèrie de qüestions alienes a la voluntat de l'autor que van endarrerir la feina.

Sortosament els mecanismes de reserva temporal van funcionar prou bé i amb el recolzament constant de la Directora del treball es van superar els entrebancs.

2. Els sistemes d'informació geogràfica

2.1. Introducció

A continuació s'exposen alguns conceptes bàsics relatius als Sistemes d'Informació Geogràfica, la topologia i tipus de dades que fan servir aquelles eines.

2.1.1. Definició dels Sistemes d'Informació Geogràfica

Entre totes les definicions que es troben de "sistema d'informació geogràfica", una vàlida seria:

"Una col·lecció organitzada de maquinari, programari, dades i experts, destinada a capturar, actualitzar, manipular, analitzar i representar tota mena d'informació referenciada geogràficament, d'una manera eficient." [Rhind]

En definitiva, un SIG és un sistema informatitzat destinat al maneig d'informació localitzada geogràficament.

A aquests efectes, "maneig" abasta la captació, l'emmagatzematge, la consulta, l'anàlisi i la representació. Per consulta i anàlisi s'entén la resolució de problemes complexos de planificació i gestió així com la creació i producció de nova informació. I "localitzada geogràficament" és la característica que permet interrelacionar i integrar diferents capes d'informació i presentar-la.

Un SIG estarà, doncs, format per maquinari, programari, dades i persones.

2.1.2. Maquinari

El maquinari està present en totes les tasques SIG però el seu paper és fonamental als següents aspectes:

- Potència de càlcul (servidors i estacions de treball).
- Magatzem de dades (discs durs, CD-ROM, DVD-R).
- Vehicle de comunicació (xarxes, Internet).
- Sistema d'adquisició de dades (satèl·lits, GPS, sensors, escàners).
- Eina de presentació de resultats (impressores de gran format, traçadors gràfics...).

La majoria dels SIG estan adaptats per treballar amb els ordinadors de sobretaula actuals. Molts d'ells han migrat a tecnologies *Windows*[®], si bé alguns es basen en sistemes operatius *UNIX*[®]/*Linux*[®]. És evident que un SIG fa un ús intensiu de les possibilitats del maquinari, i per tant és preferible treballar amb un ordinador amb unitats centrals de procés i processadors gràfics potents.

També destaquen les arquitectures Client-Servidor. El més habitual actualment és treballar amb una xarxa d'ordinadors on les dades (que tenen gran volum) es mantenen a un únic servidor amb gran capacitat d'emmagatzematge i diversos clients que consulten aquestes dades i les processen amb els seus propis recursos (la seva CPU i memòria). Això només serà possible si es disposa d'una xarxa informàtica d'alta velocitat com pot ser una Ethernet o la fibra òptica.

2.1.3. Programari

Existeixen dues parts importants en el programari:

- Els algorismes de processament de dades: Aquests algorismes cal que siguin potents (permetin treballar amb grans volums d'informació) i ràpids (eficients).
- La interfície: La presentació de les dades ha de ser agradable, les eines fàcils de trobar i que estiguin ben documentades.

En general, el programari no és una limitació. En ocasions serà necessari implementar algun programa específic per donar solucions a problemes concrets. Aquesta solució es podrà programar de diverses maneres, ja sigui amb programació d'alt nivell (*Matlab*¹), de baix nivell (*Java*[®], *Visual Basic*[®], *C++*[®]) o llenguatges de programació específics (freqüentment *Visual Basic for Applications*[®]).

El preu d'un programari SIG no ha de ser una barrera donat que hi ha sistemes en el mercat des de 0 euros (domini públic com el GRASS, JUMP, GVSig[®]) fins a desenes de milers d'euros.

2.1.4. Les dades

Les dades són el principal problema a resoldre. La necessitat de dades d'un SIG és molt elevada, però les dades necessàries no sempre estan disponibles:

Ens poden trobar diferents problemes:

- Les dades no estan disponibles. Algunes vegades serà possible derivar-les d'altres dades (anàlisi) o bé adquirir-les, fabricar-les (vols, fotointerpretacions) o encarregar-les a tercers, però generalment el cost és molt alt.
- Poques dades disponibles, o de baixa o desconeguda qualitat.
- Dades massa cares. Les dades cartogràfiques solen ser cares.

Moltes vegades la problemàtica de les dades se centra en conèixer què hi ha, on es pot trobar, qui és el propietari i com s'hi pot accedir i també quines són les seves característiques. Per a respondre a aquestes qüestions l'administració pública catalana ha creat l'IDEC (Infraestructura de Dades Espacials de Catalunya): <http://www.geoportal-idec.net/geoportal/cat/inici.jsp>.

¹ <http://gis.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap600/p600.htm>

2.2. Models de dades

La informació gràfica es descompon en unitats elementals d'estudi i observació que s'anomenen primitives geomètriques. En el cas dels vectors podem escollir entre el punt, la línia i el polígon, mentre que en el cas dels ràster, la primitiva geomètrica és la cel·la o el píxel.

2.2.1. Model vectorial

Un SIG vectorial està basat en la representació vectorial del component espacial de les dades [Bosque Sendra, J.]. El model vectorial defineix l'espai com un conjunt d'entitats que estan descrites directament a partir de les seves coordenades cartesianes x i y (component planimètrica).

Les dades vectorials es poden associar a un o diversos registres d'una base de dades on es guardaran les característiques dels objectes que pretén descriure. Aquestes característiques s'anomenen atributs (component temàtica).

2.2.1.1. Primitives geomètriques: punts, línies i polígons

Des d'un punt de vista geomètric, tenim a disposició 3 tipus d'entitats matemàtiques per a modelitzar l'espai segons la seva dimensió: **punts, línies i polígons** (veure figura 2).

Els punts són objectes espacials de dimensió 0. Per tant, presenten localització a l'espai però no tenen ni dimensió ni amplada. Són representats per un parell de coordenades x , y .

Són entitats típicament puntuals, per exemple, els pous, semàfors i els vèrtex geodèsics.

Les línies són objectes espacials d'una sola dimensió. Es a dir, presenten localització a l'espai però no tenen amplada. En molts SIGs, només és possible definir una línia com un conjunt de coordenades x , y anomenades vèrtexs. Cada dos vèrtex consecutius s'uneixen per un segment rectilini.

Entitats típicament lineals són aquelles que s'organitzen en xarxes, com per exemple les carreteres, els camins, la xarxa hidrològica o les línies elèctriques.

Els polígons són objectes espacials de dues dimensions que es representen a partir de seqüències de coordenades x, y (línies) que no intersequen amb si mateixes i que defineixen les seves vores. Per a cada una d'aquestes seqüències s'assumeix que la darrera coordenada connecta amb la primera i s'anomena anell.

Són entitats típicament poligonals aquelles que tendeixen a descriure gran part del territori si no tot, per exemple les divisions administratives (comarques, comunitats autònomes), parcel·les i els usos del sòl.

Quan un polígon és descrit directament pels seus vèrtex en diem polígon explícit per distingir-lo del polígon topològic que es descriu més endavant.

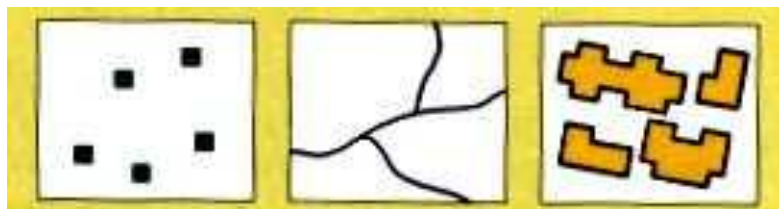


Figura 2. Imatge, d'esquerra a dreta, d'un grup de punts, de línies i de polígons.
(<http://www.udistrital.edu.co/comunidad/profesores/rfranco/graficas/unidades.jpg>)

2.2.1.2. Primitives topològiques

La topologia, als SIGs, fa referència a algunes propietats dels elements gràfics 2D que són independents de les posicions absolutes (de la posició o la forma dels objectes gràfics) i només depenen de les posicions relatives definides per les relacions entre aquests elements. La definició d'aquestes propietats comporta una restricció addicional per als objectes de tipus línia, i es forma l'objecte **arc**, que és un objecte de tipus línia que no interseca amb cap altre arc (excepte pels seus extrems).

Es consideren propietats topològiques les següents relacions espacials, entre d'altres:

- Contigüïtat: analitza les característiques d'entitats interconnectades.
- Connectivitat: continuïtat física i lògica d'entitats interconnectades.
- Proximitat: mesura de distància entre entitats.
- Inclusió: punt en un polígon, línia en un polígon o polígon dintre de polígon.

Aquestes relacions topològiques són immutables tot i que les entitats es rotin o escalin. Les capes que contenen aquests objectes s'anomenen topològiques o estructurades.

La característica d'immunitat, tot i canviar d'escala o de projecció, facilita que els SIG facin servir la topologia per descriure, emmagatzemar i analitzar les relacions espacials entre els elements geogràfics, amb l'ús dels punts, dels nodes i dels polígons.

Topologia arc-node

Formada per una xarxa d'arcs enllaçats entre si. Cada arc té un sentit d'avançament (o circulació) que permet recórrer tota la xarxa; segons el sistema aquests sentit pot ser reversible o no. Els nodes se situen en tots els punts de confluència de tres arcs o més i en punts intermedis d'un arc al qual volem associar alguna dada.

Les relacions topològiques entre arcs i nodes es guarden en taules de relacions. Així, la taula d'arcs, contindrà els identificadors de node inicial i final. La taula de nodes contindrà la llista d'identificadors d'arc que convergeixen a ell.

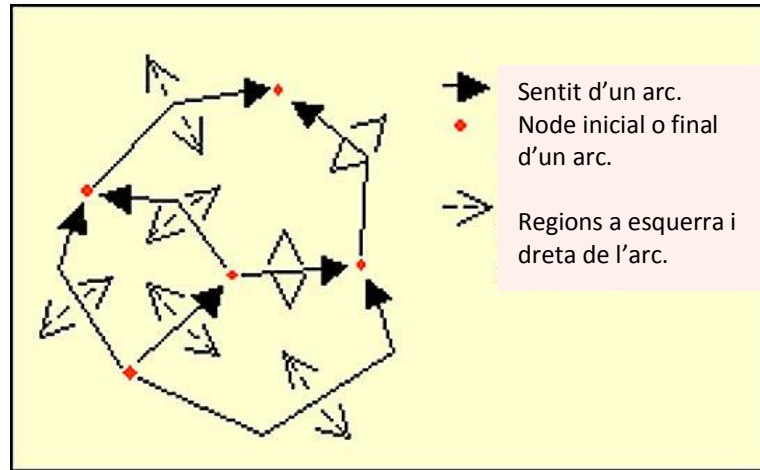


Figura 3. Imatge d'una xarxa d'arcs.

(<http://www.mappinginteractivo.com/imagenes/art-04/octubre04/art1/imagen2.jpg>)

Topologia de polígons

Formada per una xarxa d'arcs que defineixen els recintes tancats i un conjunt de punts interiors a aquests recintes que defineixen els centroides² dels polígons i que serveixen de punters a la base de dades. En els sistemes orientats a objectes, el centroide és opcional i qualsevol coordenada interior permet l'accés al registre del polígon.

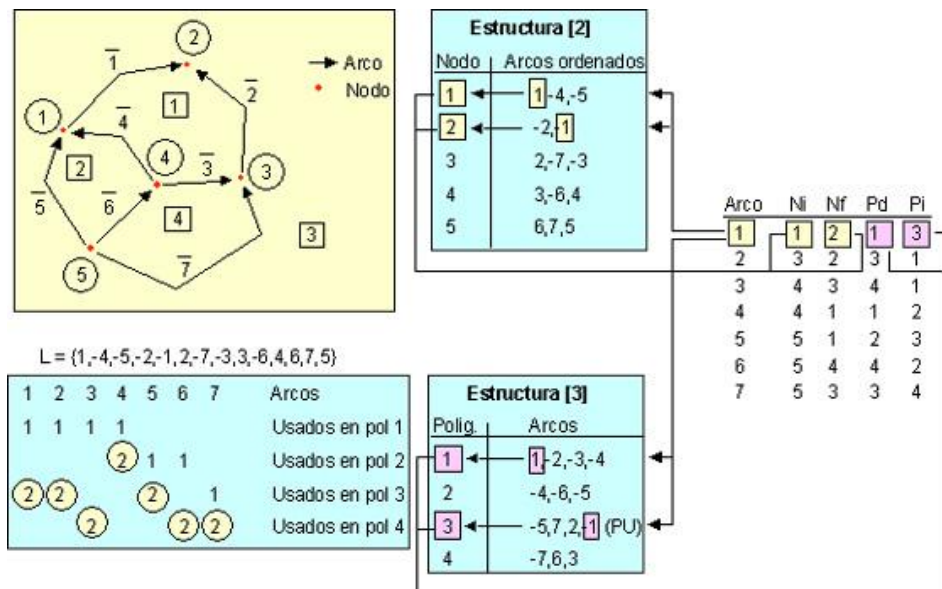


Figura 4. Exemple de formació de polígons i emmagatzematge de les dades a les taules.

(<http://www.mappinginteractivo.com/imagenes/art-04/octubre04/art1/imagen13.jpg>)

Les regles bàsiques de la topologia de polígons són:

- Cada arc té associats 2 nodes (potser repetit).
- Cada arc té associats 2 polígons (el dret i l'esquerra).
- Cada polígon està envoltat per un cicle d'arcs i nodes.
- Cada node està envoltat per un cicles de arcs i polígons.
- No hi ha interseccions en els arcs que no siguin en els nodes.

² Centroide: Centre de massa o punt d'equilibri.

2.2.1.3. Avantatges de la topologia

Presenta tres avantatges bàsics:

- Reducció de la redundància. La topologia de polígons permet mantenir la informació sobre les coordenades centralitzada a la capa d'arcs evitant redundàncies i errors. Els polígons i els nodes descansen sobre les coordenades dels arcs.
- Durant el procés de generació de topologia es recullen en taules de topologia informacions sobre les relacions entre els objectes que poden ser d'utilitat per un posterior anàlisi de la capa.
- Molts errors geomètrics i d'atributs poden ser detectats de forma automàtica pel programari SIG durant els processos de generació de topologia.

La topologia de polígons garanteix que s'ha descrit tot l'espai sense deixar forats entre els elements, cosa molt difícil de controlar amb processos només geomètrics.

2.2.2. Model ràster

El format ràster és un model de dades que descriu l'espai a partir d'una graella regular formada per una seqüència ordenada de formes geomètriques idèntiques que cobreix tot l'espai sense deixar forats (prenent formes de quadrat, hexàgon o triangle), com s'aprecia a la figura 5.

La figura escollida a la majoria de casos és el quadrat, perquè permet definir fàcilment el concepte de fila i columna com un sistema de coordenades alternatiu. Eventualment podria tractar-se d'un rectangle. També es pot definir com una matriu de punts ordenats que cobreix l'àrea d'estudi formant una retícula. Quan es defineix el ràster segons aquesta segona aproximació s'anomena GRID.

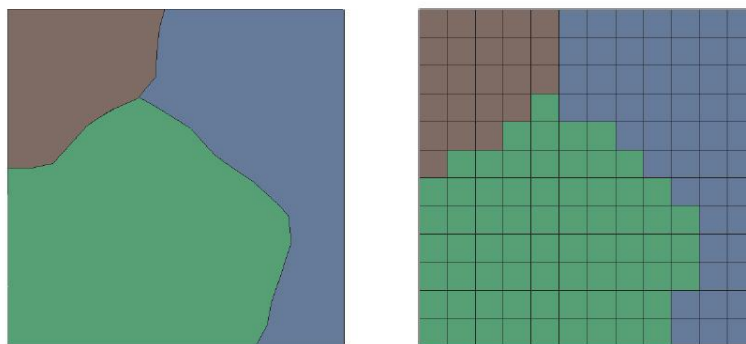


Figura 5. Model ràster.

(http://www.urbanecology.washington.edu/GIS_Tutorial/raster-vs-vector.jpg)

En un SIG, els valors del ràster representen valors mesurats o relacionats sobre el territori. El color es donarà posteriorment, com una manera de visualitzar aquests valors però no és una component del model. Per altra banda, el ràster també està georeferenciat sobre el territori.

2.2.2.1. Components del model de dades ràster.

Els models de dades ràster tenen tres components: component espacial, temàtica i temporal.

El component espacial es centra més en les propietats de l'espai que en la representació dels objectes en si. Això és perquè la matriu de cel·les és regular i només es possible definir objectes a partir d'agrupacions de cel·les amb característiques comunes.

Les cel·les tenen conceptes topològics implícits: contigüitat, connectivitat (4 veïns, 8 veïns) o situació relativa. A més, les cel·les del ràster cobreixen tot l'espai, cosa que no es pot garantir en els models vectorials sense topologia (veure figura 6).

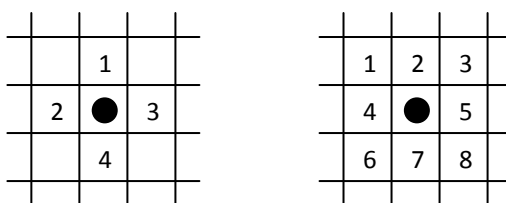


Figura 6. Relació de connectivitat en el model de dades ràster.

La distribució espacial presenta unes característiques molt relacionades amb la georeferenciació, que es poden resumir així:

- Les cel·les de la retícula són indivisibles i s'identifiquen pel seu número de cel·la i columna.
- Per a cada cel·la es registra el valor que el mapa analògic adopta. És el valor de la variable d'informació emmagatzemat a cada cel·la d'una capa.
- Localització: El nombre de fila i columna que s'utilitza per identificar cada cel·la i situar-la en relació amb les altres.
- Orientació: És l'angle format entre el nord i les columnes de ràsters.
- Resolució: és la dimensió lineal mínima de la unitat més petita de l'espai geogràfic per a la qual cosa es recullen les dades. Com més petita sigui la superfície de terreny representada per cada cel·la, més gran serà la resolució i s'incrementarà la quantitat de cel·les amb que es treballa.
- Zona i classe: una zona és un conjunt de cel·les contigües que presenten un mateix valor. Una classe són diverses zones que mostren el mateix valor.

El component temàtic es relatiu al propòsit de representació de cada capa. Els valors de les cel·les d'una capa ràster tenen el propòsit de descriure alguna propietat del territori.

Finalment, la vessant temporal indica que els valors de les cel·les corresponen a un moment del temps.

2.2.2.2. Formats de dades ràster

Els formats clàssics en què està emmagatzemat l'arxiu són:

- ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*).
- Binari (té dos valors possibles:0,1).
- Binari-RLE (*Run Length Encoding o Packed Binary*).

2.3. Entrada de dades

A continuació es detallen alguns processos emprats per a l'adquisició de dades pels SIGs.

2.3.1. L'escaneig

L'escaneig pot ser automàtic, tot i que és necessari un equipament d'alt cost i es tracta d'un procés dividit en diverses fases: es pren la imatge amb l'escàner, normalment d'una resolució de 1200 punts per polzada per originals a escala 1:50000; seguidament la imatge es filtra per separar les estructures d'interès (com serien les corbes de nivell). A continuació es vectoritza la imatge ja contrastada i, finalment, es reconeixen els valors d'interès al mapa (com poden ser els valors d'elevació) per mitjà de aplicacions de reconeixement de caràcters o edició manual.

L'escaneig també pot ser manual. En aquest cas, l'operari ressegueix amb un estri (ratolí o tauler de digitalització) les estructures d'interès, mentre l'ordinador emmagatzema les dades a intervals definits. En aquest cas és molt important la capacitat professional de l'operador i l'ús de mapes en bon estat, sense plecs ni arrugues.

2.3.2. Adquisició de dades en temps real: sistemes de posicionament global

El sistema global de localització (conegut pel seu nom en anglès *Global Positioning System* o GPS) utilitza un grup de satèl·lits de referència, i mitjançant la triangulació, s'obtenen variables de les tres coordenades espacials per a un lloc concret de la superfície de la terra.

Per obtenir les tres coordenades, es necessari obtenir la distància precisa d'un mínim de tres satèl·lits simultàniament. Aquest mètode presenta una important limitació, la necessitat d'accedir físicament al lloc d'interès per a obtenir la mesura.

3. Introducció a la cartografia

Els propers punts desenvolupen alguns conceptes cartogràfics i geodèsics que permeten fer servir un SIG. S'inicia l'exposició amb els conceptes cartogràfics, seguits del concepte de coordenades geogràfiques i de *datum* i acaba amb la noció de projecció.

3.1 La cartografia

La cartografia és la ciència que s'ocupa de la representació gràfica de la superfície terrestre, mitjançant mapes i plànols.

3.1.1. Els mapes

Un mapa és una representació gràfica, convencional i generalitzada de la superfície de la Terra, que s'ha reduït aplicant uns criteris de proporcionalitat i que mostra, en forma de símbols, alguns aspectes seleccionats de tots els possibles.

La quantitat del territori a representar ens permet diferenciar els mapes: els mapamundis que representen la Terra sencera, amb poc detall i els plànols, que representen territoris petits i una informació més detallada.

També es diferencien segons la seva funció i la informació que contenen, dividint-los en mapes topogràfics i mapes temàtics.

Els topogràfics representen territoris petits amb molta precisió, representant els diferents elements al lloc exacte, i mantenint les proporcions correctes. També indiquen, amb molta exactitud, les posicions relatives i les distàncies entre els diferents elements representats.

Els mapes temàtics solen mostrar un territori reduït i només proporcionen informació d'una categoria d'objectes (o alguna més, sempre relacionades entre sí), que permeten destacar-ne la seva distribució espacial.

3.1.2. L'escala

L'escala d'un mapa mostra el grau de reducció existent entre el territori real i el mapa, i es manifesta en tots els mapes. L'escala és la proporció que hi ha entre les dimensions del mapa i les del terreny, que es mostra de forma numèrica o gràfica.

L'escala numèrica és una fracció sense unitats mètriques, que relaciona les mesures sobre el mapa i les mesures sobre el territori. El seu denominador indica les vegades que s'ha reduït la realitat.

L'escala gràfica és l'equivalència d'una distància sobre un segment de línia. Els segments representen els centímetres de mapa traduïts a les unitats a que corresponen en el terreny, en funció de l'escala del mapa. Aquesta escala conserva la relació de proporció entre el mapa i el territori. Si s'amplia o redueix el mapa, es pot determinar quina és la seva escala numèrica.

Exemples:

Escala 1:50.000= 1 cm al mapa equival a 50.000 cm o 0,5 km de la realitat.

Escala 1:5000= 1 cm al mapa equival a 5.000 cm o 50 m de la realitat.

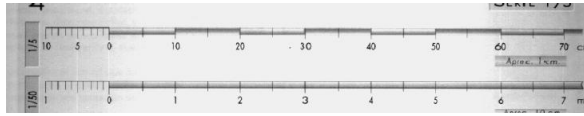


Figura 7. Escala gràfica (<http://elprofe.iespana.es/images/Dibujo/escala.gif>)

Així, quan es parla d'escala petita o gran es fa referència a la mida dels objectes a la realitat, no a la reducció. D'aquesta forma, quan més gran sigui la escala més elements es poden representar, i del seu detall serà major (veure imatge 8).

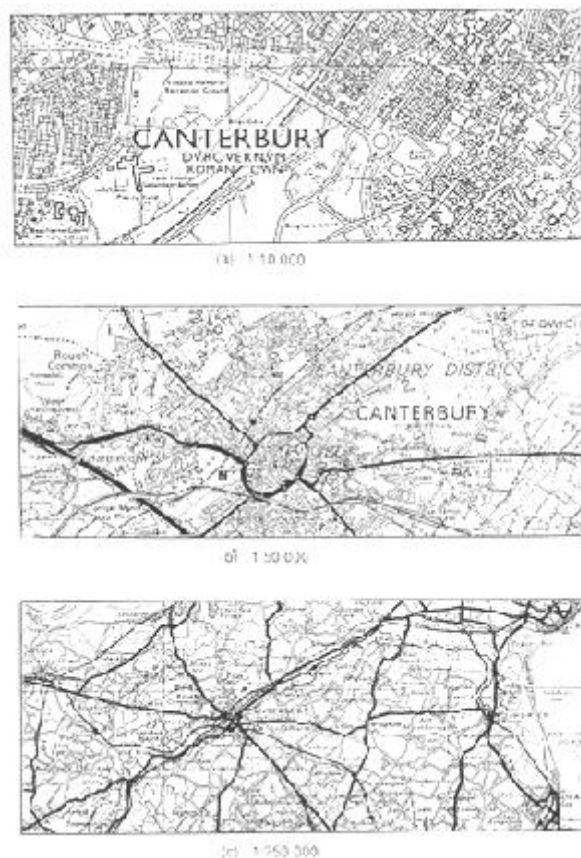


Figura 8. Tres mapes a escala gran (1:10000), mitjana (1:50000) i petita respectivament (1:25000). (<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0446S/T044644.gif>)

3.1.3. Les corbes de nivell i la llegenda

Les corbes de nivell són un dels mètodes més utilitzats per representar el relleu del terreny a un mapa (a banda dels colors hipsomètrics, les cotes altimètriques i l'ombreig, entre d'altres). Cada corba de nivell és una línia imaginària, que uneix punts situats a la mateixa alçada. Són el resultat de la intersecció del relleu amb plans paral·lels horitzontals i equidistants, com es pot apreciar a la figura 9.

Es distingeixen dos tipus de corbes de nivell, les mestres i les ordinàries (o intermèdies). Les corbes mestres es dibuixen més gruixudes i sempre espaiades per la mateixa distància vertical (100-200-300 metres), mentre que les ordinàries són més fines i estan espaiades equidistantment per una distància fixada en cada mapa (per cada cinc corbes ordinàries n'hi ha una de mestra).

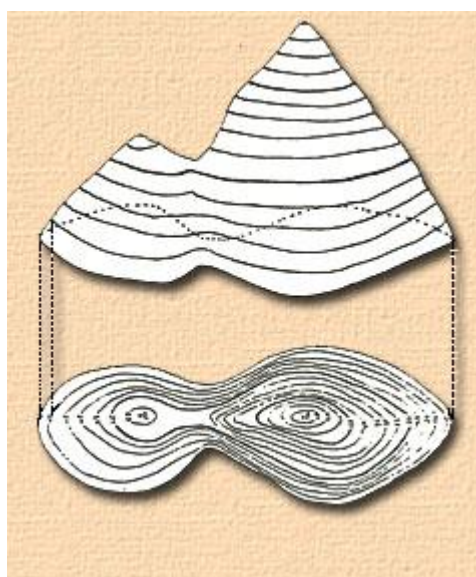


Figura 9. Procés de creació de les corbes de nivell. (<http://manual.endureros.com/enduro/cotas.jpg>)

Per poder interpretar el mapa, cal trobar sempre, a més de les corbes de nivell i molts altres elements, la seva llegenda.

A la llegenda hi trobem representats els signes gràfics que hi ha al mapa, amb la seva explicació corresponent. Aquests símbols es poden representar segons els tipus de llenguatge o segons la forma.

En funció del llenguatge, es diferencien els símbols alfanumèrics (lletres i xifres) i els símbols cartogràfics (tota la resta d'elements gràfics que representen objectes i fenòmens).

Entre els símbols cartogràfics, segons la seva implantació (forma d'ubicació al mapa), es distingeix entre símbols puntuals (de localització concreta), lineals (fets que s'estenen seguint una línia) i superficials. Es mostra un exemple a la figura 10.



Figura 10. Llegenda d'un mapa amb diferents símbols. (<http://www.orista.llucanes.net/gallery2/d/109-2/llegenda.JPG>)

3.1.4. Els sistemes de referència espacial i projeccions cartogràfiques

Si considerem la Terra com una esfera que gira sobre sí mateixa, l'equador seria la línia imaginària que la divideix en l'hemisferi nord i l'hemisferi sud. Cada cercle paral·lel a l'equador traçat al seu nord o sud, s'anomena paral·lel, i de la unió dels pols entre sí, resulten els meridians.

Aquests paral·lels i meridians formen una xarxa imaginària que s'anomena xarxa geogràfica. La xarxa permet localitzar exactament, a la superfície terrestre qualsevol punt, en forma de graus, minuts i segons, que componen les coordenades de latitud i longitud.

La latitud és la distància entre l'equador i un punt qualsevol sobre un paral·lel, mesurada en graus, minuts i segons, que varia entre 0° i 90° i sempre s'ha d'indicar si correspon al nord o sud de l'equador.

La longitud és la distància existent entre un meridià inicial o de *Greenwich* i un punt qualsevol de la superfície terrestre. També és una distància angular, que varia entre els 0° i els 180°, i s'ha d'indicar si correspon a l'est o l'oest del meridià inicial. (Veure figura 11)

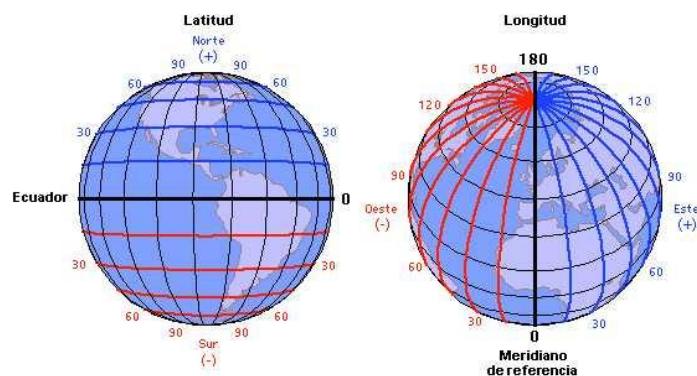


Figura 11. Imatge del sistema de coordenades geogràfiques.

(<http://images.encarta.msn.com/xrefmedia/eencmed/targets/illus/ilt/T012774A.gif>)

Aquest sistema de localització per coordenades geogràfiques és ideal per a la situació d'un punt al globus terraquí, però de difícil ús a un mapa, ja que no es tracta de distàncies lineals.

Per a aquest fi, existeixen altres tipus de sistemes de coordenades més adequats als mapes: les coordenades mapa i les quadrícules UTM.

3.1.4.1. Les coordenades mapa

Les coordenades mapa es fan servir a mapes d'escala petita o mitjana, i són coordenades relatives, que s'estableixen a cada mapa, generalment basades en una quadrícula de columnes i files, guiada per les lletres de l'abecedari i els números. Un exemple el trobem als carrers de qualsevol ciutat (imatge 12).

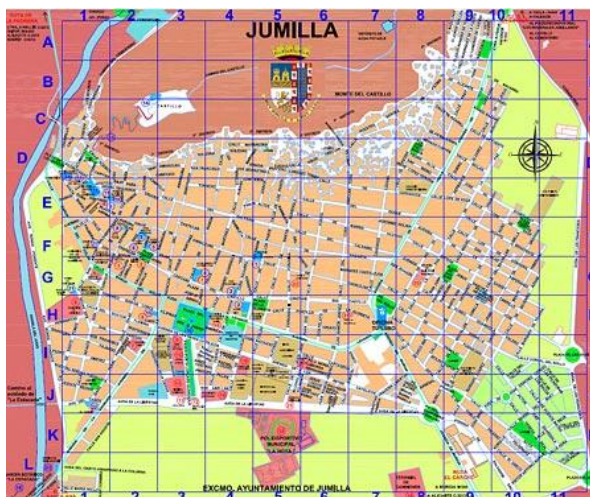


Figura 12. Mapa amb sistema de coordenades propi.

(<http://www.jumilla.org/servicios/callejero.jpg>)

3.1.4.2. El sistema de coordenades UTM

Els sistema de coordenades UTM és un sistema internacional emprat per molts països en els mapes d'escala petita. Està basat en la projecció *Universal Transversal* de Mercator. La localització per mitjà d'aquest sistema és absoluta sempre que defineixi el fus i l'hemisferi on el troba el punt.

Aquest sistema consisteix en un reticle, format per quadrats, que és el resultat de dividir la superfície terrestre en uns eixos de coordenades resultants de sobreposar un cilindre transversal secant al globus terraquí en seixanta posicions diferents. Cada posició genera un fus de 6° de longitud, ja que aquesta és la distància màxima admesa en la que la distorsió és mínima. La projecció UTM només considera el terreny comprés entre els 84° N i els 84° Sud, i per a la resta s'utilitzen projeccions polars.

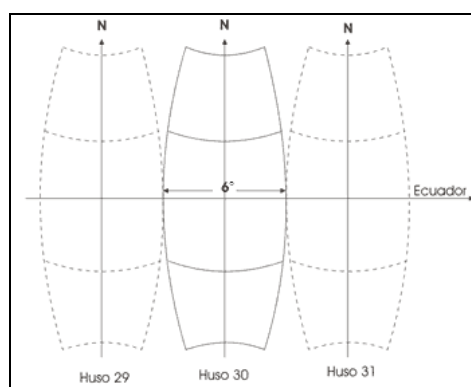


Figura 13. Fusos de la projecció de Mercator.

(<http://www.ikumendi.com/gps/conocimientos/fotos/husos.gif>)

Aquest fusos s'enumeren de l'1 als 60, on el primer correspon al meridià 180° a l'oest del meridià de *Greenwich* (aquest meridià està situat entre el fus 30 i 31). Els fusos, a la vegada, es divideixen en franges horitzontals anomenades zones, que s'identifiquen amb una lletra. (Figura 14).

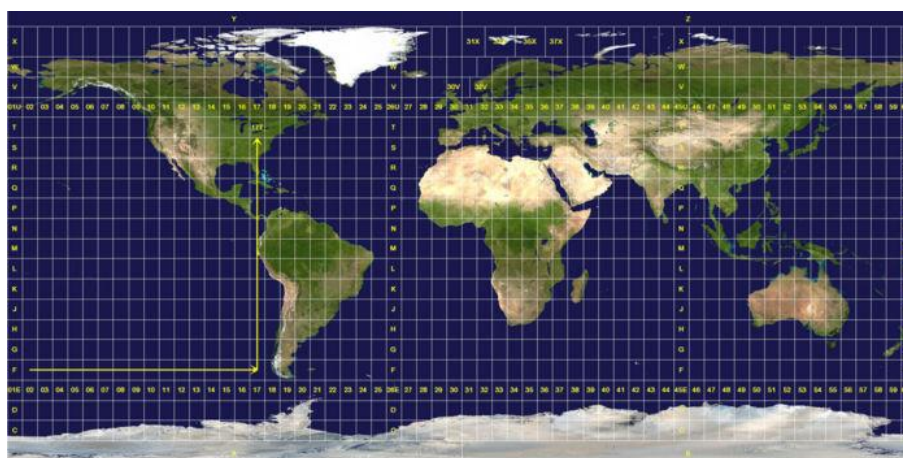


Figura 14. Quadrícula UTM. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Utm-zones.jpg>)

Cada zona es subdivideix en un reticle format per quadrats de 100 km de costat, identificats amb dues lletres. El nombre de quadrats varia segons la latitud, ja que els meridians són més propers a latituds més altes. (Figura 14)

Per a cada zona vertical s'agafa un punt de referència, que és el centre del fus, on s'interseca amb el paral·lel zero. En aquest punt es dona una posició relativa de 500.000 metres d'on parteixen les coordenades de tot el fus, cap a l'est i l'oest. És el Fals Origen del Fus, i resulta molt important indicar, juntament amb les coordenades, a quin fus es refereix (a Catalunya es situa al fus 31).

Per a obtenir els quadrats de 1 km de costat que presenta la quadrícula UTM dels mapes topogràfics, es divideixen els quadrats de 100 km en altres cada cop més petits, fins arribar a la mida desitjada.

La distància real de la quadrícula UTM dels mapes topogràfics va en funció de la escala del mapa; en un mapa d'escala gran, la distància real dels quadrats serà menor.

Per exemple, a l'hora de localitzar un punt situat a la zona 30T, a 231 metres a la dreta de la línia 513 i a 455 metres per sobre de la línia numerada com 4763 al mapa es situaria com es mostra a la figura 15, i els coordenades s'escriurien "30T 513231 4763455"

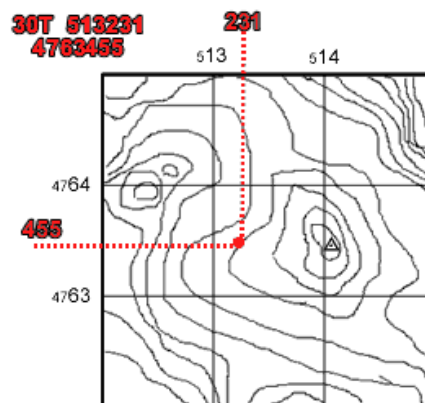


Figura 15. Situació precisa d'un punt per mitja de coordenades UTM. (http://www.ikumendi.com/gps/conocimientos/fotos/mapa_utm.gif)

4. Els models digitals de terreny

Seguidament, es mostra una panoràmica del funcionament dels models digitals de terreny (MDT), des dels seus fonaments conceptuals fins les mètodes que permeten l'anàlisi i l'extracció de la informació territorial. Així, es farà palès que l'ús dels MDT amb els sistemes d'informació geogràfica ofereix una representació de la realitat i la simulació de processos que millora de forma important la capacitat del SIG per administrar informació temàtica.

4.1. Concepte de model digital de terreny

Seguidament s'exposa una base conceptual dels MDT, la seva construcció i els seu maneig³.

4.1.1. Definició de model

Si entenem que un model és "una representació simplificada de la realitat, on hi apareixen algunes de les seves propietats" (Joly), s'arriba a la conclusió que, ja que el model representa la realitat amb una quantitat menor d'informació, existeix un error inherent al procés de modelització que no pot ser eliminat tot i que es pot reduir per dues vies diferents i complementàries: la major precisió de la mesura i millor selecció dels components, que no implica un model més complex, per una banda, i la major quantitat de components, que sí implica un model més complex, per l'altra.

En conseqüència, s'ha de buscar el compromís entre la complexitat del model i una errada acceptable dels resultats.

4.1.2. Tipus de models

A continuació s'exposen unes classificacions de models que són molt il·lustratives del concepte de MDT i que ajuden a comprendre el concepte bàsic.

4.1.2.1. Models icònics, anàlegs i simbòlics

Aquesta distinció es fonamenta en com s'ha establert la correspondència entre la realitat i el model.

Per una banda, els models icònics (figura 16) es distingeixen per la correspondència morfològica, normalment amb un canvi d'escala, i la conservació de la resta de propietats topològiques. Un exemple de model icònic seria una maqueta. Aquest model presenta algunes mancances, derivades del canvi d'escala, on es perden algunes propietats i podria arribar a ser difícil d'establir la correspondència amb la realitat.



Figura 16. Model icònic de la Terra (<http://www.danotario.com/topografia/modelo3.JPG>)

³ Ángel Manuel Felicísimo "Modelos digitales de terreno" i altres documents del mateix autor.

Per altra banda, els models anàlegs presenten algunes característiques similars a la realitat representada, però no són una replicació d'aquests, com s'aprecia a la figura 17. Es fan servir convencions que sintetitzen i codifiquen propietats de la realitat per facilitar-ne la interpretació. Un exemple d'aquest model són els mapes impresos, on, per mitjà de les convencions geogràfiques s'arriba a un resultat final que, tot i que és molt diferent de la realitat representada, permet llegir moltes de les seves propietats.

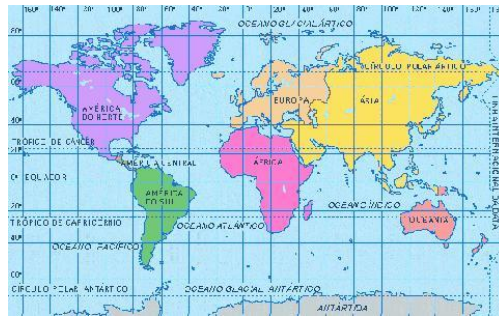


Figura 17. Mapa mundi (<http://zaragozaciudad.net/violinista/upload/20070516115341-mapa-mundi112.jpg>)

Finalment, els models simbòlics representen un pas més cap a l'abstracció, i es tracta d'uns models on la realitat es representa per mitjà d'una codificació matemàtica (geomètrica, estadística....). Es presenta un exemple a la figura 18.

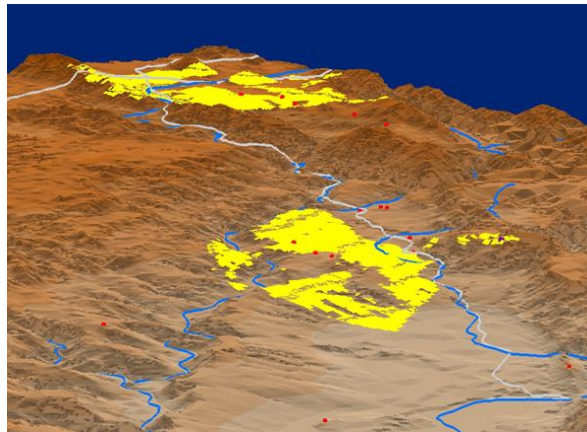


Figura 18. Exemple de model simbòlic, una conca de visibilitat (<http://www.departamento.us.es/dpreyarg/web/img/visibilidad9.jpg>)

4.1.2.2. Models analògics i digitals

Resulta imprescindible distingir entre aquest dos tipus a aquest estudi, pel que fa als MDT. El model digital està codificat amb números, cosa que els identifica amb els models simbòlics i que permet el seu tractament informàtic i, per tant, per construir-los cal un procés de codificació de la informació. El model analògic és un model físic, com ho seria una maqueta o un mapa imprès.

Les característiques dels models digitals, relacionades amb la seva naturalesa numèrica (manca d'ambigüitat, verificabilitat i repetibilitat) els fan molt interessants per al disseny dels MDT i el seu tractament amb eines informàtiques. Tot i això, no es pot oblidar que es tracta de models, i no de la realitat, i que la precisió que permet la codificació numèrica no elimina l'existència de errades.

4.1.3. Els models digitals de terreny

Arribat a aquest punt, ja es pot definir el concepte de model digital de terreny: una estructura numèrica de dades, que representa la distribució espacial d'una variable quantitativa i continua. Són, per tant, models simbòlics que estableixen una relació de correspondència amb la realitat amb algorismes i convencionalismes matemàtics.

Algunes de les propietats bàsiques dels MDT són:

- Els MDT són estructures de dades, el que vol dir que no només són un llistat de xifres, sinó que s'han de construir d'acord a una estructura interna. Aquesta estructura es reflecteix en la forma lògica d'emmagatzemar i vincular les unitats d'informació entre si, que ha de representar les relacions espacials entre les dades. Aquesta condició implica que un llistat de coordenades acompanyades de la seva altitud no es pot considerar un MDT, tot i que presenti tota la informació necessària per a construir-ne un, ja que no presenta estructura interna i és necessari processar les dades per fer-lo utilitzable en el procés de modelització.
- Els MDT representen la distribució espacial d'una variable; aquesta característica implica que el seu àmbit d'actuació és la modelització de fenòmens geogràfics. La definició indica que la variable representada pel MDT ha de ser quantitativa i de distribució continua.

Aquest darrer punt diferencia explícitament els MDT dels mapes temàtics, ja que s'exclouen les variables nominals i les variables representades per entitats lineals o puntuals, com seria una xarxa hidrològica.

Com s'ha vist, la definició genèrica de MDT no fa referència explícita a la variable representada i, en conseqüència, pot ser qualsevol de les que compleixi els requisits d'aquella. Tot i que és freqüent identificar els MDT amb els models digitals d'elevacions (MDE), en realitat, es poden representar moltes altres característiques del terreny. D'ara endavant, es denominaran els models de forma explícita, i així especificar la variable que es representa, i es farà servir el terme MDT per a la denominació genèrica.

4.1.4. Mapes i models digitals de terreny

La versió analògica dels MDT són els mapes que poden representar les mateixes variables, codificades a un suport físic a través de convencions gràfiques, i es podríem denominar models analògics de terreny (MAT).

Comparats els dos models, els MDT presenten la important avantatge que representa la possibilitat del tractament numèric de les dades mitjançant les eines informàtiques. Entre aquestes possibilitats es troben l'obtenció d'estadístics descriptius d'una variable, per exemple, l'obtenció de l'altitud mitja d'una variable (derivat del model digital d'elevacions), i la de crear nova informació per mitjà de l'anàlisi d'un MDT o una combinació de dos o més, fent servir procediments estadístics o lògics (àlgebra de mapes), com seria l'obtenció de la distribució de pendents en funció de l'altitud; en aquest cas es combinarien dos MDT (MDE i MD de pendents), per obtenir un resultat estadístic.

Una altra possibilitat dels MDT es la realització de processos de simulació del funcionament d'un sistema dinàmic real, com el que és un dels objectius del present treball.

4.1.5. Simulació de processos amb els MDT

La naturalesa digital dels MDT permet utilitzar-los per a realitzar processos de simulació dinàmica, com s'ha assenyalat abans. Mitjançant la modelització d'objectes es creen models de processos.

Aquesta modelització és possible amb el disseny i l'ús d'algoritmes numèrics, o dit d'altra forma, amb la construcció de seqüències d'operacions que porten a la solució dels problemes. Generalment, aquestes operacions condueixen a la creació de nous MDT, que es denominen models digitals derivats.

La funció dels algoritmes es revisa amb el contrast o la verificació del model derivat amb l'objecte real. Aquesta operació es realitza mitjançant els mètodes d'anàlisi d'errada, habitualment comparant una mostra del model derivat amb mesures empíriques realitzades sobre el terreny. Els resultats d'aquest anàlisi permeten ajustar l'algoritme per augmentar la seva fiabilitat i, en conseqüència, la seva capacitat de predicció. Es podria afirmar que un algoritme sòlid, aplicat sobre un MDT fiable i amb la resolució adequada, permet estimar propietats que es poden aplicar als objectes reals amb un marge d'error moderat.

La modelització de processos també exigeix una selecció acurada dels paràmetres i les relacions rellevants per al problema que es vol tractar. Normalment serà necessari representar processos complexos amb aproximacions semi-empíriques o, en el millor dels casos, justificades amb una base teòrica més o menys sòlida. Aquest procés de selecció de variables dels processos, i la seva representació s'anomena parametrització.

El procés genèric arran del MDT fins a la seva aplicació a l'objecte real (el terreny), amb un cicle de correcció de l'algoritme que genera el model derivat es representa a continuació a la figura 19:

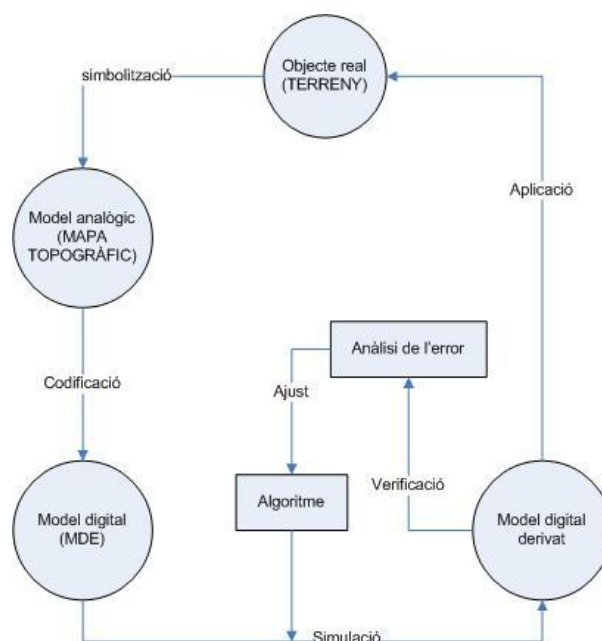


Figura 19. Procés de simulació amb MDT

Des de la superfície real del terreny, la construcció del mapa topogràfic es realitza representant sobre un pla les propietats del terreny, fent servir relacions d'analogia ja establertes. La codificació numèrica del model analògic porta al model digital, que permetrà el tractament matemàtic. Aquest tractament possibilita la creació dels models derivats i modelitzar els processos mitjançant les simulacions numèriques. Com que els resultats obtinguts es poden comprovar a la realitat, es poden induir correccions i ajustos que condueixen a una millor correspondència amb la realitat.

4.2. El model digital d'elevacions

El model digital d'elevacions (MDE) descriu l'altimetria d'una zona per mitjà d'un conjunt de cotes. Es possible construir-ne models derivats, ja sigui arran només de la informació que conté el MDE (pendent, orientació,...) o elaborar models més complexes que abastin la morfologia del terreny i simulacions de processos físics, incorporant-ne més informació.

Si s'apliquen els conceptes ja establerts sobre els MDT, es pot dir que un MDE és una estructura numèrica de dades que representa la distribució espacial de l'altitud de la superfície del terreny.

4.2.1. Unitats d'informació dels MDE

La unitat bàsica d'informació del MDE és un punt acotat, definit per tres valors, l'altitud z acompanyada pels valors x i y . A diferència del mapes impresos, on les altituds es representen mitjançant corbes de nivell, o cotes altimètriques representades com a punts sobre el territori, als MDE s'han utilitzat diferents estructures, dividides en dos grups de dades: vectorial i ràster.

Bàsicament, pel model vectorial són els **contorns** (polilínies d'altitud constant) i les xarxes irregulars de triangles adosats (**TIN**); pel que fa a les estructures ràster, destaca l'ús de matrius regulars (**malles de cel·les quadrades GRIDS**) i matrius imbricades en una estructura jeràrquica o **quadrees**. Es mostren exemples d'aquestes estructures a les figures 20,21,22 i 23.

Seguidament, i sense aprofundir massa, es fa una descripció breu d'aquestes quatre estructures:

El model vectorial de contorns es pot definir com un vector de n coordenades (x, y) que descriu la trajectòria d'una corba de nivell; aquest vector pot ser d'un únic element, i llavors permet introduir cotes d'interès aïllades. En aquest cas, el MDE el formarà el conjunt de corbes de nivell que passen per la zona representada, més un conjunt de punts acotats que defineixen llocs d'interès (cims, collats,...etc)

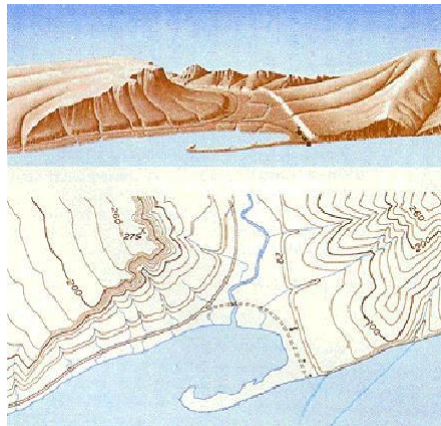


Figura 20. Model de contorns (<http://www.danotario.com/topografia/modelo20.jpg>)

Les xarxes de triangles irregulars (**TIN**) es constitueixen com un conjunt de triangles que s'adossen al terreny adaptant-se a la seva superfície (amb més o menys detall). Vist d'una altra manera, el terreny es representa per un conjunt de superfícies planes (els triangles) que s'hi ajusten. El mètode de triangulació més emprat és l'anomenat triangulació de *Delaunay*.

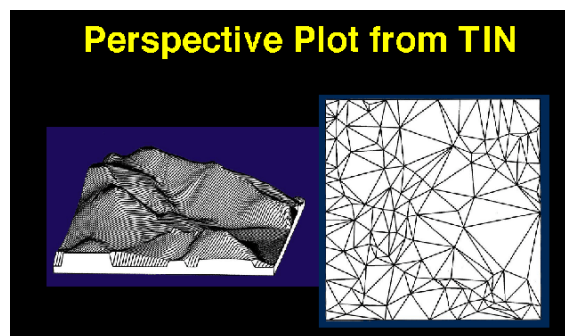


Figura 21. Exemple d'una xarxa TIN (<http://dusk2.geo.orst.edu/gis/images/tin.gif>)

La matriu regular és un mètode basat en el resultat de superposar una retícula sobre el terreny i extreure l'altitud mitja de cada cel·la. Normalment, la retícula té forma de matriu regular, ja que és una estructura que el programari informàtic pot manejar fàcilment i es representable com una matriu de dos dimensions. (Figura 22).

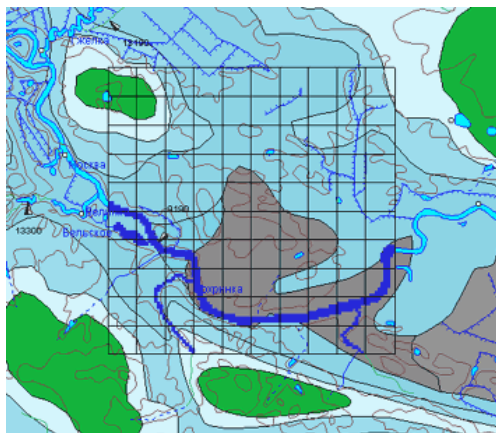


Figura 22. Exemple de matriu regular.

(<http://www.logicgroup.com/SoftwareThird/Mapping/grids.gif>)

Finalment, les **matrius jeràrquiques** o *quadrees* són unes estructures resultat de la divisió de l'espai basada en estructures jeràrquiques de quatre quadrants; s'inicien des d'una matriu regular de 2x2 cel·les i cada cel·la es pot dividir en altres 4 si l'atribut varia en el seu domini espacial. Aquestes matrius jeràrquiques solucionen un inconvenient de les matrius regulars, la resolució espacial constant, però les operacions d'anàlisi, combinació i modificació són més complexes.

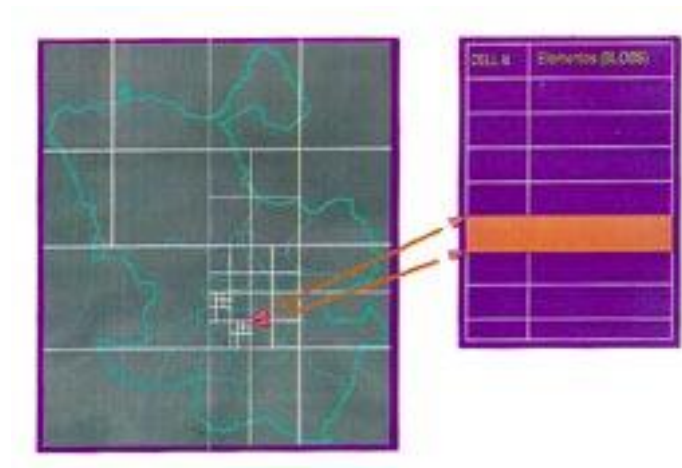


Figura 23. Procés de divisió i subdivisions per la construcció d'un *quadree*.

(<http://www.mappinginteractivo.com/imagenes/art-99/Abril99/art2/foto3.jpg>)

L'ús de les diferents estructures s'hauria d'establir tenint en compte les seves implicacions respecte a la construcció del model, el tipus d'informació que representarà, els algorismes que es necessitaran..., etc. A la pràctica, normalment es fan servir dos tipus d'estructures: les matrius regulars i els TIN. Concretament, els SIG fan servir les matrius regulars (ja que permeten càlculs matemàtics més àgils que els TIN) o una varietat d'aquestes matrius, que consisteix en subdividir-les en lloses, que permet el maneig d'una porció del terreny (la llosa) i no de la matriu sencera.

4.2.2. Procés de creació d'un MDE

A continuació, i només per referència, s'enumeren els diferents processos que comporta la creació d'un MDE, i es mostra un exemple a la figura 24:

- ❖ Captura de dades:
 - Mètodes directes
 - ◆ Altimetria radar o làser (aporten molta precisió).
 - ◆ GPS
 - ◆ Aixecament topogràfic
 - Mètodes indirectes
 - ◆ Restitució arran de pars d'imatges
 - ◆ Estereo-imatges digitals
 - ◆ Estereo-imatges analògiques
 - ◆ Interferometria radar
 - ◆ Digitalització de mapes topogràfics
 - Automàtica amb escàner i posterior vectorització
 - Manual amb taulell digitalitzador

Un cop obtingudes totes les dades, aquestes s'estructuren i fins i tot es milloren, reduint les corbes de nivell, determinant els punts acotats singulars d'importància (cims...), incorporant línies estructurals amb valors d'altitud - com és la xarxa fluvial -, sense valors d'altitud (anomenades línies de trencament) – com són els penya-segats -, i amb valor constant - com són els llacs -. Així s'obté un conjunt de dades vectorials (punts, línies i polígons).

Seguidament continua el procés de construcció del MDE, formant la matriu regular arran de la informació vectorial. Aquest és un procés realitzat per interpolació, pel mètode bilineal, cúbic, del veí més proper..., dels valors problema (les interseccions de fila i columna) en funció de les dades de l'entorn vectorial al punt. Així s'obté el model ràster.

També és possible obtenir un model vectorial, construint una TIN. En aquests casos, el procés més emprat és la triangulació de *Delaunay*⁴, ja sigui per mitjà d'un procés de triangulació mínima on es van afegint progressivament nous vèrtex, fins a un límit definit pel llindar d'error (*multi-pass refinement methods*) o per l'eliminació de punts d'un model massiu, en funció del criteri d'increment mínim de l'error (*multi-pass decimation methods*).

⁴ "La triangulación de Delaunay aplicada a los modelos digitales del terreno". Priego de los Santos, José Enrique, Porres de la Haza, María Joaquina (http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/doc1_8.pdf)

Les construccions amb triangles generen una estructura molt complexa i més difícil de tractar que les matrius regulars (sobre tot l'anàlisi), tot i ser més adequada per la construcció d'un MDE. En conseqüència, el més habitual és crear el MDE amb TIN i, posteriorment, generar un MDE matricial, interpolant les dades.

Tots aquest processos presenten dos problemes, que afecten a la matèria que es tracta a aquest treball, pel que fa a la continuïtat hidrològica i la simulació dels seus processos.

Habitualment apareixen "terrasses", és a dir superfícies planes, a causa del desequilibri de la distribució espacial de les dades i la mida del mostreig per la creació de la matriu regular. També s'observen concavitats (pous) al recorregut de les valls, causades per les funcions d'interpolació. Aquestes concavitats tenen molta importància pel que fa a la simulació dels processos hidrològics, ja que interrompen el flux.

Aquestes limitacions s'haurien de resoldre a l'hora de generar el MDE (incorporant la xarxa hidrològica com línies de trencament) o, en darrer cas, amb el programari SIG, de forma que aquest elimini els pous segons un valor de tolerància, per exemple.

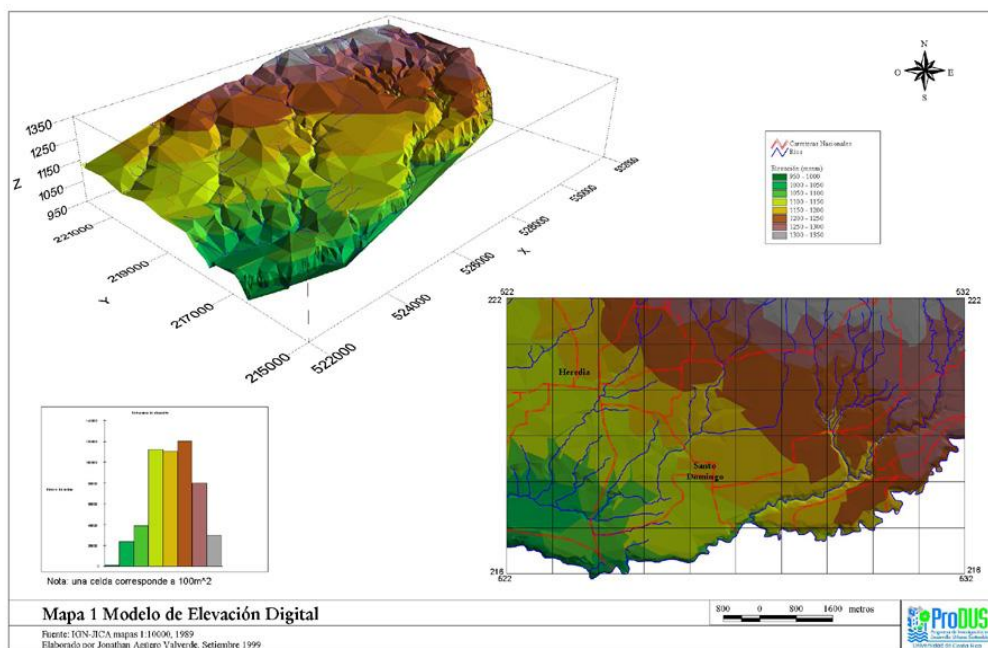


Figura 24. Exemple de model digital d'elevacions.

(http://gis.esri.com/library/userconf/latinproc00/costa_rica/analisis_vulnerabilidad/mapa1.jpg)

5. Elaboració d'un SIG de la zona de treball amb *Geomedia® Professional*

Un cop introduïts els conceptes relatius als SIG, a la cartografia i en particular als DTM, comença la part pràctica del treball on es comentaran les principals funcionalitats del programari, la cartografia de la zona escollida i la seva introducció en el SIG.

El programari SIG emprat ha estat Geomedia® Professional® sent aquest un dels més utilitzats al món empresarial i l'establert per la direcció del treball. Els següents punts detallen algunes de les seves característiques tècniques i com s'ha realitzat la introducció de la cartografia. Val a dir que es vol evitar descriure profusament els procediments de l'ús del programari, ja que no és l'objectiu del present document.

La cartografia de la zona de treball seleccionada ha estat la corresponent a la comarca del Baix Llobregat de Catalunya (Espanya), sobre tot la part centrada als curs del riu Llobregat. L'apartat 5.2 detalla les seves característiques.

5.1. Geomedia® Professional®

Geomedia® Professional® 6.0 és un sistema d'informació geogràfica de la companyia Intergraph® per a sistemes operatius Windows® XP®. Permet combinar dades geogràfiques de diverses procedències, en formats diferents i amb projeccions cartogràfiques diferents, en un únic entorn. Aquest producte permet realitzar consultes complexes amb dades espacials i d'atributs de distintes procedències [Manual d'usuari].

Per a poder començar a treballar amb Geomedia® s'ha de configurar l'entorn de treball, que es guardarà en un *GeoWorkspace*, i posteriorment es definiran els magatzems on quedaran guardades les dades i també el sistema de coordenades. A partir d'aquí es pot començar a gestionar les dades.

Geomedia® Professional® mostra la informació agrupada en entitats, que representen els objectes d'anàlisi del món real. Les entitats d'un mateix tipus s'agrupen en classes d'entitat. La informació de les entitats es mostra de dues maneres: una de forma gràfica a la finestra del mapa i de forma de taula de dades amb els seus atributs a la finestra de dades.

Geomedia® incorpora un entorn de desenvolupament que permet la personalització d'aplicacions i la creació de noves en funció de les necessitats de l'usuari, tot i que aquestes funcionalitats no s'han utilitzat al present treball.

A més, cal esmentar el mòdul Geomedia® Grid®, que s'ha utilitzat per la generació del terreny en tres dimensions. Tot i que inicialment el mòdul més adient seria Geomedia® Terrain®, aquest ha presentat alguns problemes de programació que han impedit el seu ús.

Geomedia® Grid® és una extensió de la família Geomedia®. Es tracta d'una col·lecció d'operacions amb malles que permeten la creació, edició i manipulació d'arxius de malla. El programari pot convertir qualsevol tipus de "feature class" en una capa de malla i aplicar tècniques d'anàlisi a les seves dades, i fa possible operacions locals, zonals i de proximitat (*neighborhood*) entre diferents capes. L'usuari pot extreure els atributs de bases de dades, convertir-los a malla, combinar-los amb altres capes, com són els models digitals d'elevacions, veure els resultats en tres dimensions, i obtenir el resultat d'una consulta dins una classe del tipus vector.

(<http://imgs.intergraph.com/ggrid/>).

5.1.1. Els elements principals

Seguidament es descriuran els elements principals amb els que treballa Geomedia®: els GeoWorkspace, els magatzems, els sistemes de coordenades, les entitats i les classes d'entitat, les finestres de treball i la llegenda.

5.1.1.1 El GeoWorkspace

El GeoWorkspace és l'entorn de treball, allà es troben les connexions dels magatzems amb les seves dades (es guarden les rutes per accedir a les dades), les finestres del mapa, de dades i de composició, les barres d'eines, la informació del sistema de coordenades i les consultes que s'hagin generat.

Les configuracions i les connexions definides al GeoWorkspace es guarden en un fitxer d'extensió *.gws*.

5.1.1.2 Els magatzems

Les dades (geogràfiques i descriptives) que s'utilitzen en un GeoWorkspace es guarden a magatzems. Per a accedir a la informació es creen connexions als magatzems on cadascuna utilitza un servidor de dades per a convertir aquestes en un format que permeti la seva visualització.

Geomedia® permet la creació de magatzems Access de lectura i escriptura. Els magatzems generats a partir de bases de dades Oracle, i SQL són de lectura i escriptura però no els podem generar. La resta de magatzems, amb l'objectiu de protegir la integritat de les dades, són exclusivament de lectura.

El tipus de dades generades en altres formats que Geomedia® accepta són:

- ARC/INFO
- Shapefile de ArcView
- CAD: autoCAD, MicroStation
- FRAMME
- MapInfo
- MGE Segment Manager
- ODBC Tabular
- Model d'objectes de Oracle
- Servidor SQL
- Servidor SmartStore
- Servidor d'arxius de text.

Les dades de les entitats en formats admesos per Geomedia® i que es situïn en magatzems de sols lectura es poden enviar a magatzems generats a Geomedia® de lectura i escriptura, amb la comanda "Sacar a clase de entidad".

5.1.1.3 Sistemes de coordenades


El sistema de coordenades en que es mostren totes les entitats a la finestra del mapa, independentment del sistema de referència en el que es trobin, és el que tenim definit en el GeoWorkspace.


Els sistemes de coordenades admesos per Geomedia® són el geogràfic, el projectat i el geocèntric.


5.1.1.4 Entitats i classes d'entitats

Una entitat és un element geogràfic que es representa a la finestra del mapa amb una geometria i que també està definida a la base de dades amb atributs no gràfics.

En un magatzem de lectura i escriptura és possible generar una classe d'entitat, suprimir-la i editar-la i també generar i/o modificar els valors dels atributs assignats a una entitat. Per tal de diferenciar les diferents entitats d'una mateixa classe d'entitat es defineix una clau primària formada per un atribut que permet diferenciar-la de la resta. Els tipus de geometries que representen les entitats són:

 **Punt:** Representa la ubicació d'una entitat de caràcter puntual o bé entitats que són impossibles de representar a l'escala de visualització del mapa. Per exemple, un jaciment.

 **Línia:** Es representa per un o més arcs o línies, un exemple seria un riu. La seva visualització és una única línia, però en realitat poden ser un conjunt de segments que representen una única entitat.

 **Àrea:** Es representa per una zona delimitada, un exemple serien els límits administratius d'un municipi.



Composta: Es poden tenir geometries de tipus punt, línia i àrea en una classe d'entitat, un exemple seria una consulta sobre quins pobles es veurien afectats en el cas d'una riuada, que agruparia els pobles i el límit de la riuada.



Text: Es representen amb text que figura en una ubicació puntual del mapa.



Imatge: és la representació d'una imatge ràster.

5.1.1.5 Les imatges

En Geomedia® Professional®, les imatges ràster, com per exemple mapes escanejats, fotografies aèries i imatges satèl·lit, es guarden en classes d'entitat imatge. Les classes d'entitat imatge les distingeix el seu sistema de coordenades. Només es poden inserir imatges en classes d'entitat existents quan el sistema de coordenades de la imatge i el de la classe d'entitat coincideixen.

La forma com Geomedia® guarda el conjunt d'entitats de tipus imatge és diferent a la de la resta d'entitats. En lloc de guardar el contingut dins del propi magatzem només hi guarda un enllaç a la ubicació d'un fitxer, el qual conté realment la imatge.

Per inserir una imatge en un magatzem de Geomedia® es pot fer de dues maneres:

- **Inserció interactiva:** es dibuixa un rectangle en una finestra de mapa que defineix la mida i la ubicació de la imatge, i posteriorment s'indica quina és la imatge que s'hi vol mostrar. Les coordenades de la imatge s'obtenen de les dades de l'arxiu, que mostren dos punts, i després es calcula la resta per poder georeferenciar-les. Aquest és el mètode que s'ha emprat per inserir les imatges al present treball.
- **Inserció georeferenciada:** alguns tipus d'imatges com ara GeoTiff porten associada una capçalera amb les dades de la seva georeferenciació.

5.1.1.6 Finestres de treball

El GeoWorkspace de Geomedia® pot contenir diverses finestres, com finestres de mapes, finestres de dades i una finestra de composició. Aquestes finestres proporcionen diferents formes de visualitzar les dades contingudes en els magatzems.

La **finestra de mapa** mostra una visualització gràfica de les dades geogràfiques (entitats, imatges, etc.). Cada finestra de mapa conté les notes marginals següents: una llegenda, una Fletxa Nord i una barra d'escala.

La **finestra de dades** mostra les mateixes entitats en format tabular, mostrant els atributs associats amb les dades geogràfics. D'aquesta manera, si una entitat es visualitza en diverses finestres de mapes i de dades, es ressaltarà a totes al seleccionar-la.

La **finestra de composició** permet dissenyar i traçar una composició de mapa. Els gràfics de mapa en la finestra de composició es vinculen a la finestra de mapa d'origen per reflectir qualsevol canvi realitzat en les dades, o es poden col·locar opcionalment com una instantània estàtica que reflecteixi les característiques de la finestra de mapa en el moment de la col·locació.

5.1.1.7 La llegenda

La llegenda és l'eina que ens proporciona Geomedia® per a controlar la visualització a la finestra del mapa. La llegenda ens permet controlar les classes d'entitat, les imatges, els resultats de consultes, etc que es mostren a la finestra.

La llegenda també ens permet definir que vol representar cada un dels elements que conté i definir els seus atributs de representació, com pot ser l'icona que representa un jaciment (punt).

5.2. La cartografia de la zona de treball

La zona de treball és la comarca del Baix Llobregat, a la zona litoral de la província de Barcelona (figura 25), a Catalunya. La comarca té una superfície de 486,5 km² i està dividida en trenta municipis, per a un total de població (aproximat) de 750.000 habitants.



Figura 25. (http://www.cidem.com/catalonia/imatges/mapa_cat.gif)

L'accident geogràfic objecte de l'estudi, el riu Llobregat, té el seu darrer tram a aquesta comarca, fins a la seva desembocadura al mar Mediterrani, a un vast delta d'aproximadament 100 km² de superfície (figura 26).

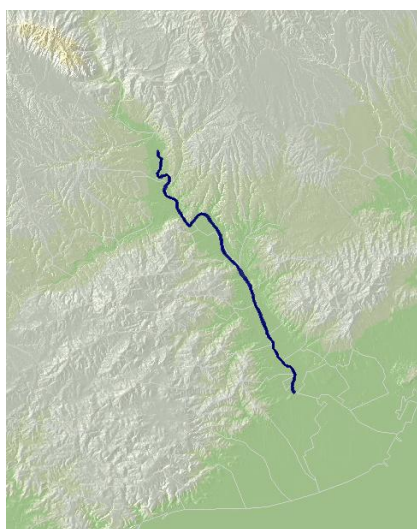


Figura 26. En blau, recorregut del riu Llobregat a la comarca del Baix Llobregat a l'època romana.

La cartografia que s'ha fet servir ha estat recopilada per l'autor d'aquest treball. Altres dades fonamentals les han estat proporcionades pel Departament d'Humanitats de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC) i la Directora del present.

5.2.1. Sistemes de referència cartogràfics

El sistema de referència utilitzat a l'elaboració de la cartografia és el datum ED 50, on l'el·lipsoide és l'Internacional o Hayford (1924). El sistema de coordenades utilitzat als mapes és el *Universal Transverse Mercator* (UTM).

La zona de treball es troba sencera al fus 31. Per unificar les diferents fonts de la cartografia i les dades que es fan servir al treball, es va decidir que tota ella estaria referida al *datum* ED50, i que el sistema de projecció seria UTM fus 31, hemisferi Nord.

5.2.2. Tipus de dades

A continuació es descriuen els diferents tipus de dades que s'utilitzen a aquest treball.

5.3.2.1 Dades vectorials

La ubicació dels jaciments arqueològics ibers i romans a la zona del Baix Llobregat ha estat facilitada, en forma de full de càlcul, pel Departament d'Humanitats de la UOC. Aquestes dades s'han ampliat consultant diverses fonts bibliogràfiques i l'inventari del patrimoni arqueològic de Catalunya (<http://cultura.gencat.net/invarque/index.asp>). D'aquesta forma, molta de la nova informació es mostra com a enllaç en clicar cadascun dels jaciments. Per la inserció de les dades en hipertext al programari s'han utilitzat atributs funcionals de les entitats.

Inicialment s'havia indicat que el *datum* dels jaciments era WGS84, però, finalment, s'ha pogut establir que realment corresponia amb el *datum* ED50 i, per tant, no ha estat necessari re-projectar-les.

El mateix Departament va proporcionar el traçat de les vies de transport a l'època romana a Catalunya. Aquestes dades estaven en format ArcView/ArcGis, en WGS84, i van ser re-projectades a ED50 fent servir el mateix programa Geomedia⁵.

Els límits administratius (comarques, municipis i caps de municipi) s'han obtingut de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC). Aquesta informació ja es trobava en ED50 i la seva gran qualitat ha permès la seva introducció directa sobre el SIG.

També s'ha creat una base de dades amb la toponímia romana dels municipis més importants del Baix Llobregat, arran de les coordenades obtingudes de l'ICC i algunes fonts bibliogràfiques⁶, en el sistema de referència ED50.

Finalment, i arran de la informació obtinguda de les dades ràster i fonts bibliogràfiques^{7,8}, s'ha digitalitzat el curs del riu Llobregat a l'època romana, de forma aproximada.

⁵ IDERioja. *Implementación en GeoMedia del modelo de cambio de datum (ED50-ETRS89) con modelado de distorsión mediante superficie de mínima curvatura (IGN)*. 2006

⁶ Moran i Ocerinjauregui, Josep. *Els noms de lloc al Baix Llobregat*.

⁷ Solias i Arís, Josep Maria. *Rvbricatvm Roma al Baix Llobregat*. Ajuntament de Sant Boi de Llobregat.

⁸ Solias i Arís, Josep Maria. *El curs inferior del Llobregat en Època ibèrica i romana. Evolució històrica i models de poblament*. Estrat núm. 6,1993.

5.2.2.2 Dades ràster

Les dades ràster obtingudes provenen de diverses fonts i totes elles han estat tractades amb el programa Geomedia®.

Mapes topogràfics i ortofotografies: s'ha obtingut una col·lecció de mapes topogràfics que abasten la zona d'estudi (curs del riu Llobregat). Aquests mapes es descarreguen en format MrSid, a escala 1:5000 i presenten una resolució de 1 m els mapes i a una resolució de 0,5 m les fotografies.

Van ser georeferenciats utilitzant un mètode de càlcul basat en la informació de que proporcionen el arxius MrSid (les coordenades X i Y del punt corresponent a la cantonada superior esquerra). Per a tal fi, s'ha utilitzat el programa MrSid GeoViewer® per llegir les metadades de cada arxiu, i es va programar un full de càlcul per automatitzar les fórmules que proporcionarien la resta de coordenades. Un cop obtingudes totes les dades, es va executar el procediment d'inserció d'imatge interactiva, descrit més amunt, del Geomedia®.

Model digital d'elevacions (MDE): El model digital d'elevacions ha estat facilitat per la Directora del present treball, a diverses resolucions. Ateses les característiques dels mapes topogràfics i les ortofotografies emprades al treball i les recomanacions del *Plan Nacional de Ortofotografía Aérea*, del *Instituto Geográfico Nacional* espanyol, que recomana una malla de regular de 5 m per ortofotografies amb resolució de 0,5 m, el model digital d'elevacions triat ha estat el de malla de 15 m, la més petita de les proporcionades.

5.3. Integració de la cartografia en el programari Geomedia®

A continuació es mostren els procediments i les eines utilitzades per inserir les dades de la cartografia base al programari.

5.3.1. El sistema de coordenades

El primer pas que s'ha efectuat és la generació d'un arxiu d'extensió .csf amb les especificacions del sistema de coordenades emprat.

Aquest arxiu es pot crear des de fora del programa, cliclant a **inicio | programas | GeoMedia Profesional | Utilidades | Definir archivo de sistema de coordenadas** o bé des de dins de Geomedia®: **Ver | Sistema de coordenadas de GeoWorkspace**.

Els valors introduïts han estat:

- **Sistemes de coordenades:** Projectió.
- **Unitats d'emmagatzament horitzontal:** 1 metre.
- **Unitats d'emmagatzament vertical:** 1 metre.
- **Sistema de projecció:** Universal Transverse Mercator.
- **Paràmetres de projecció:** hemisferi Nord, fus 31, meridià principal 3:00:00º, X falsa: 500 000 m, Y falsa 0 m, factor d'escala al meridià principal: 0.9996. (Veure figura 27).
- **Datum geodèsic horitzontal i el.lipsoide de referència:** European ED50.
- **Datum vertical:** User defined – non estandard.
- **Referència de Datum vertical:** Geoide, altures ortomètriques.

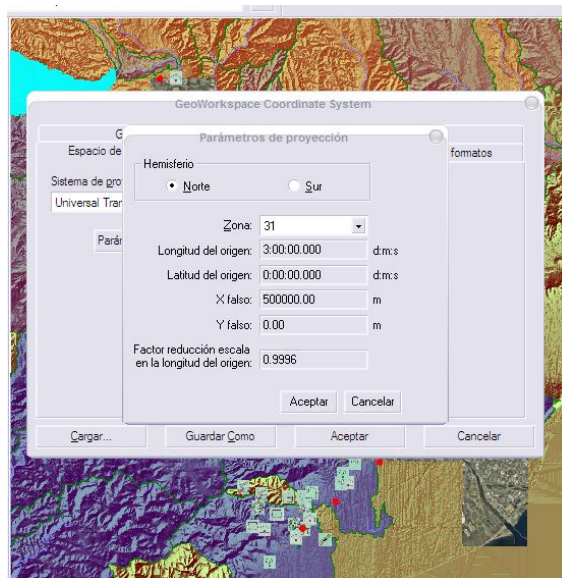


Figura 27. Sistema de coordenades del GeoWorkspace

5.3.2. Creació del GeoWorkspace

El GeoWorkspace que contindrà tota la informació del SIG, que s'anomenarà `rbotello_treballpractic.gws`, està basat en una plantilla anomenada `UTM-31.gwt` i que conté el sistema de coordenades vist a l'apartat anterior.

5.3.2.1 Els magatzems

Per treballar amb la cartografia base s'han generat dos tipus de magatzems: els que guardaran les dades vectorials i els que ho faran amb les dades ràster.

Magatzem de dades vectorials

Al treball s'han fet servir dos tipus de magatzem de dades vectorials: els dels punts geogràfics que identifiquen els jaciments arqueològics i la toponímia romana, i els que es troben en format ArcView/ArcGis, principalment el DTM, les vies romanes, la capa de comarques i municipis i una capa de malla 1:5000 per ajudar a situar les ortofotografies. Per importar aquest format de dades, prèviament s'ha de crear un arxiu amb el sistema de per a les dades vectorials, i que és el mateix sistema del GeoWorkspace. També s'ha de definir la configuració dels magatzems, on s'especifica el directori on es troben les dades i l'arxiu del sistema de coordenades. (Figura 28).

Pel que fa a la capa de vies romanes, aquestes dades es van canviar de *datum*, passant de WGS84 a ED50, abans de inserir-les al magatzem.

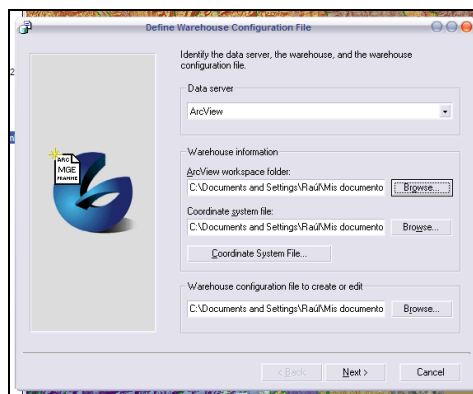


Figura 28

A continuació es crea un magatzem només de lectura des de **Almacén | Conexión nueva ...** (veure figura 29).

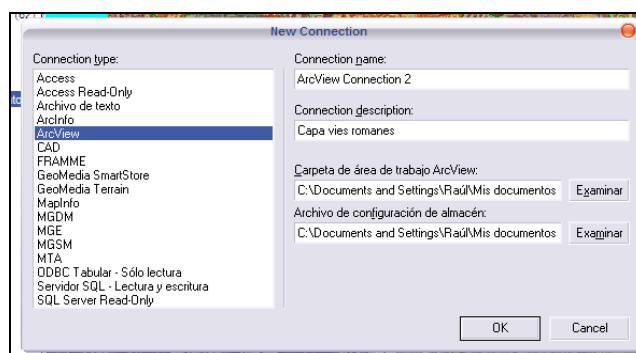


Figura 29. Creació del magatzem de lectura de dades ArcView.

Les entitats dels diferents magatzems són:

Magatzem de les xarxes de comunicació romanes:

Nom: Xarxes
Descripció Xarxes de comunicació a Catalunya durant l'imperi romà
Magatzem ArcView
Geometria Línia
Atributs:

Nom	Descripció
Lentgh:	Longitud
Nom:	Nom de la via
Et-Id	
Et-fnode	
ET-Tnode	
SourceTHM	
Rec_num	
Tf-meters	
Ft-meters	

Magatzem de la malla 1:5000:

Nom: Tall5mv10r01
Descripció Malla escala 1:5000
Magatzem ArcView
Geometria Àrea
Atributs

ID5MABS
ID5MREL

Pel que fa al magatzem de comarques i municipis, la seva estructura es troba documentada pel ICC al document de característiques tècniques⁹.

⁹ "Especificacions per al format "ESRI Shapefile" (SHP) de la base municipal 1:1000000 (BM-1000M) v3.3", ICC.

Magatzems de dades ràster

Com ja s'ha apuntat, al treball s'han utilitzat dos classes d'imatges ràster, un grup d'ortofotografies de resolució 0,5 m i un conjunt de mapes topogràfics a escala 1:5000. A ambdós casos, les imatges s'ajusten al recorregut del riu Llobregat per la comarca del Baix Llobregat.

Per la introducció de dades ràster es creen un magatzem de lectura i escriptura d'Access, es defineix una classe d'entitat de tipus imatge i s'especifica el sistema de coordenades en el que es troben les imatges que s'insertaran.

Anem a **Insertar | Imágenes interactivas** i escollim l'arxiu, el nom del magatzem i la classe d'entitat on s'insertarà. El cas que ens ocupa eren imatges amb format MrSid (figura 30). Tal i com s'ha explicat el que es guarda al magatzem és l'enllaç a la ubicació de la imatge. El procediment d'inscripció s'ha explicat a apartats anteriors, i es pot resumir en el registre de totes les coordenades de cada imatge, calculades amb l'auxili d'un full de càlcul i un programa que permet consultar les metadades de cada arxiu.

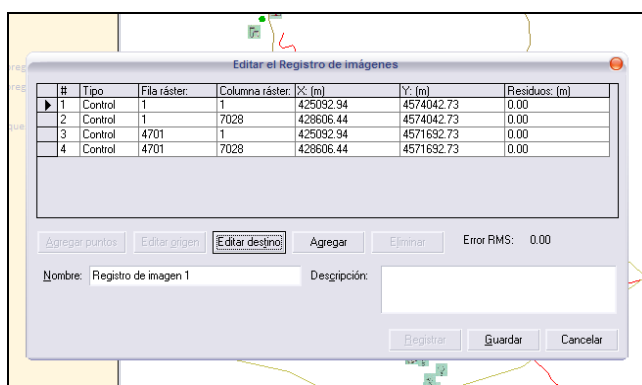


Figura 30. Imatge de la finestra de registre d'una imatge.

5.3.2.2. La Llegendra

Per visualitzar les dades que s'han considerat les adients, s'ha utilitzat **Leyenda | Agregar entradas de leyenda**.

A més, s'han personalitzat les entrades relatives al magatzem de jaciments arqueològics; així, els jaciments s'han ordenat segons la seva tipologia, i s'ha adjudicat una icona diferent per a cada tipus diferent.

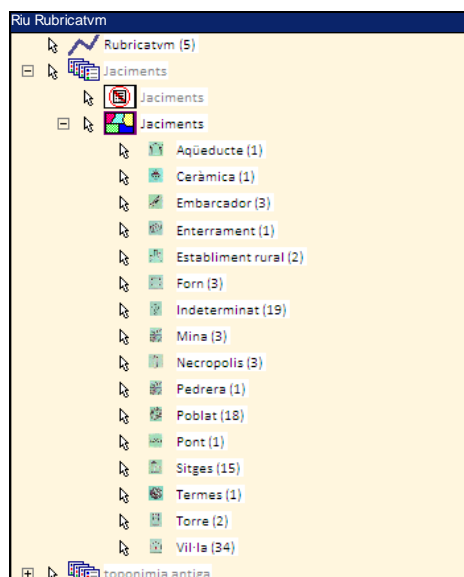


Figura 31. Imatge de la llegenda del treball, on s'aprecia la personalització dels jaciments

Per finalitzar aquest apartat, es mostra la finestra de mapa, sense el model digital de terreny (figura 32), on es té carregat el magatzem de jaciments arqueològics, la toponímia romana, la capa de municipis i comarques i la de les vies de comunicació romanes.

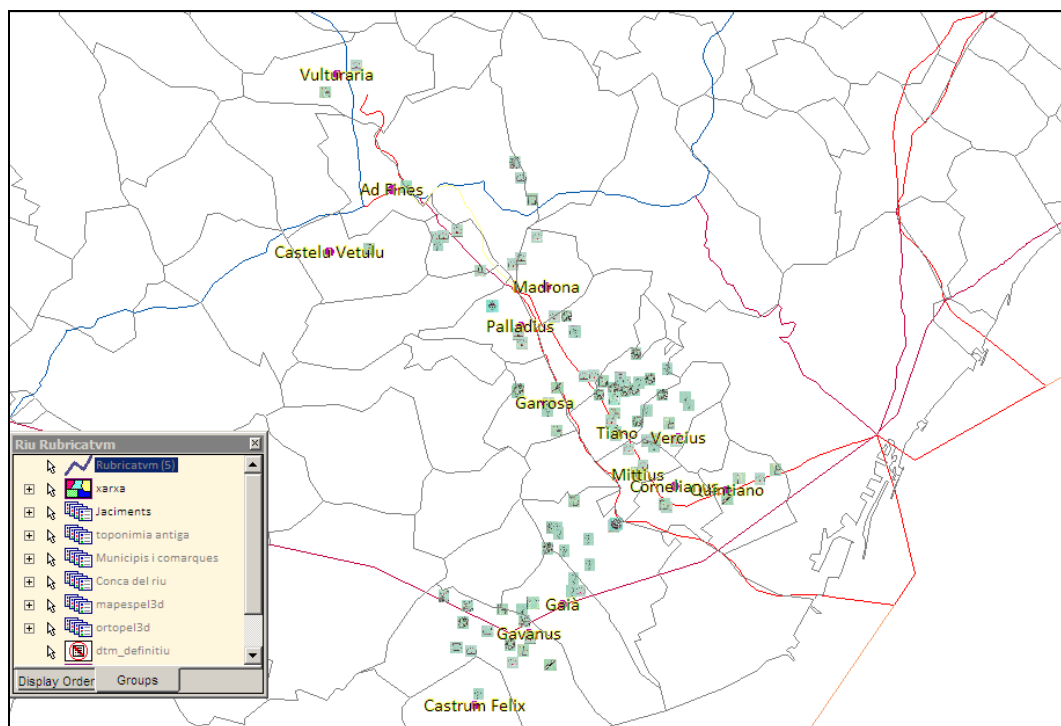


Figura 32. Imatge inicial del treball a la finestra del GeoWorkspace.

5.3.3. Digitalització del traçat del riu Llobregat a l'època romana

El següent pas de l'elaboració del treball ha estat digitalitzar, de forma aproximada, el traçat que tenia el riu Llobregat a l'època romana.

Arran de la bibliografia consultada, s'ha establert que a l'època romana, el delta del riu era inexistent, i la línia de costa es trobava, aproximadament, seguint el traçat de l'actual carretera C-245¹⁰.

Un cop establerta la línia de costa d'aquella època, s'han pres, com a punts de referència del recorregut del riu els jaciments d'embarcadors fluvials i dels ponts.

Amb totes aquestes referències historico-geogràfiques, es carreguen al SIG una col·lecció d'imatges ortofotogràfiques i mapes topogràfics, corresponents a l'actual recorregut del riu, que es recolzen amb una malla a escala 1:5000 per a la seva georeferenciació (figures 33 i 34).

¹⁰ Pales Martínez, Josep Maria. Documentació Jornades Roma a Gavà "Gavà i el Pla de Barcelona entre l'època ibèrica i l'antiguitat tardana".

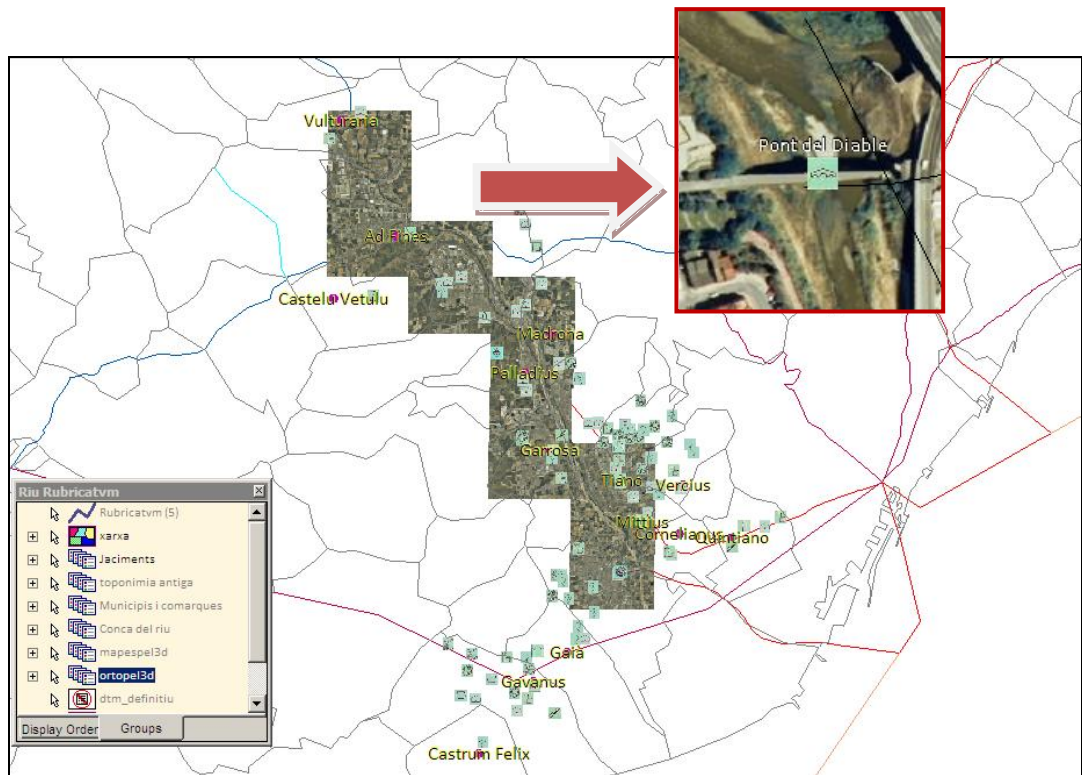


Figura 33. Imatge amb les ortofotografies carregades al SIG.

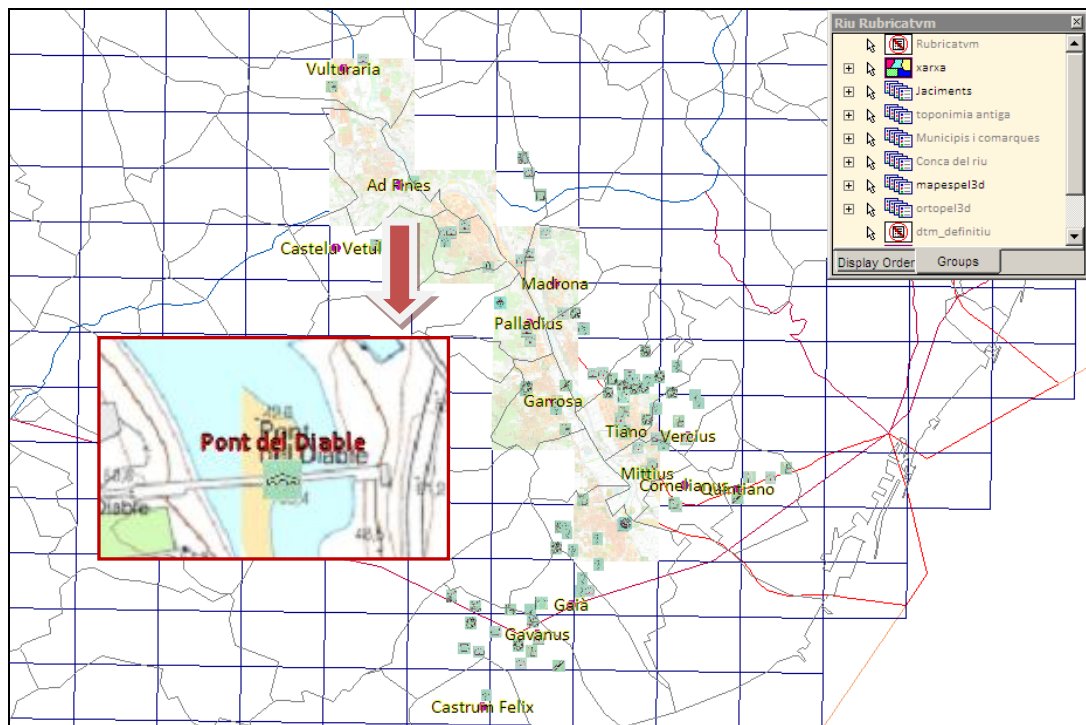


Figura 34 Imatge amb la malla de referència i els mapes topogràfics carregats al SIG.

Arribat a aquest punt, s'inicia la digitalització del traçat del riu, emprant les eines específiques del programa Geomedia®. Així, s'insereix el traçat vectorial amb geometria de línia, resseguint sobre les imatges actuals amb els paràmetres històrics ja comentats (veure imatge 35 i 36).

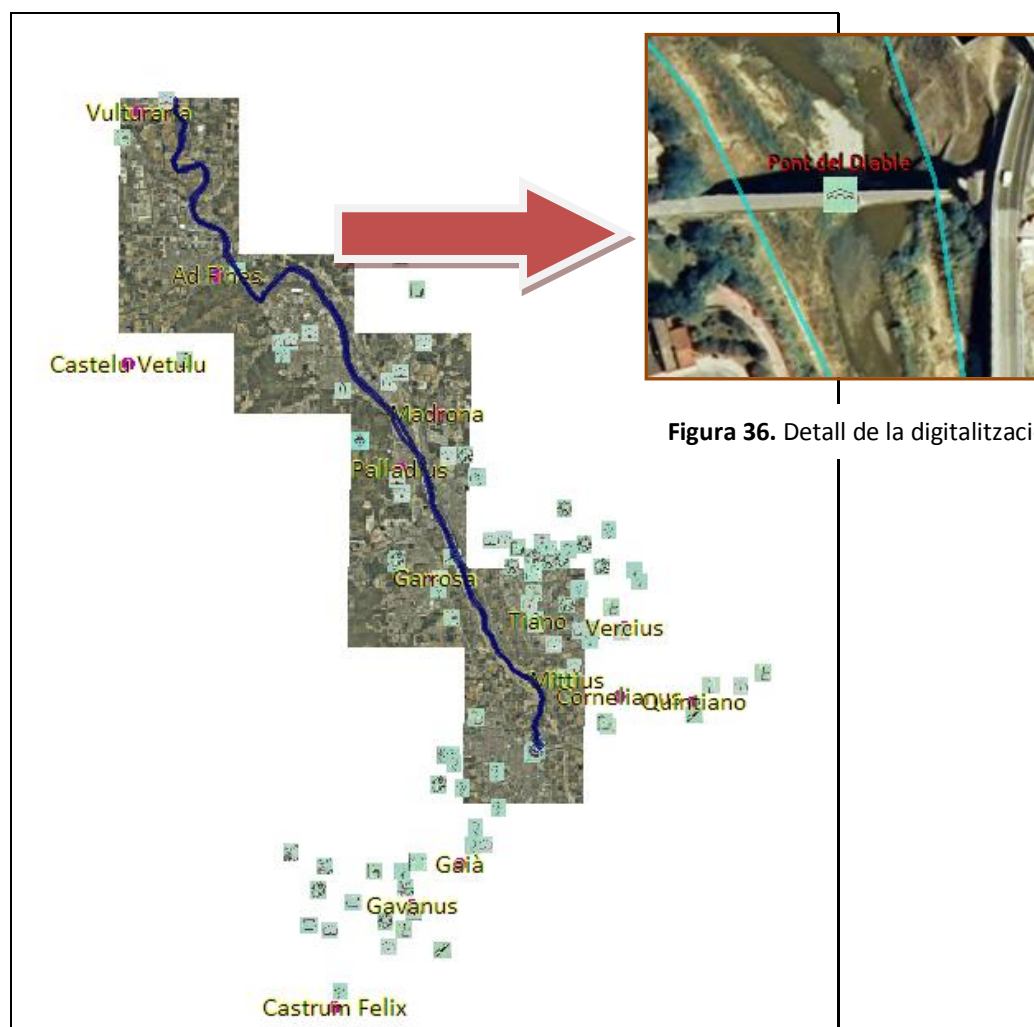


Figura 35. Imatge general del traçat (en blau) del curs fluvial.

Figura 36. Detall de la digitalització

5.3.4. Generació de vistes en tres dimensions de la conca del riu Llobregat

El següent pas, un cop digitalitzat el traçat del riu Llobregat, ha estat la generació d'una sèrie de vistes en 3D incorporant al SIG el model digital de terreny del Baix Llobregat i fent servir el mòdul Geomedia® Grid® per calcular les conques hidrogràfiques de la zona d'estudi.

Per a aquest fi, ha resultat molt útil el document "DEM to Watershed" que proporciona l'ajuda del mòdul Geomedia® Grid®.

En tractar-se d'un mòdul completament integrat amb Geomedia®, només cal carregar el GeoWorkspace del treball i ja es pot començar a fer servir, executant les comandes des de l'entrada del menú corresponent.

Geomedia® Grid® requereix la definició d'un àrea d'estudi, que es genera automàticament en carregar i importar el mòdul digital de terreny. En aquest cas, i com ja s'ha explicat, s'ha triat un MDE de malla regular de 15 m (figura 37).

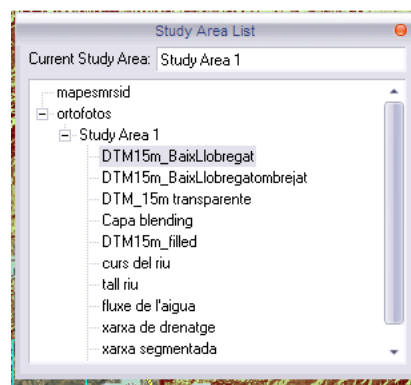


Figura 37. Finestra de l'àrea d'estudi

A continuació s'ha treballat per tal d'eliminar les depressions de la superfície.

Aquesta operació és molt útil per la construcció de models hidrològics, ja que les depressions anormals (veure capítol 4 del present treball) poden dificultar la modelització de les direccions del curs de l'aigua. Un cop realitzat el procediment, s'obté la capa DTM_15m_filled. (Figura 38)

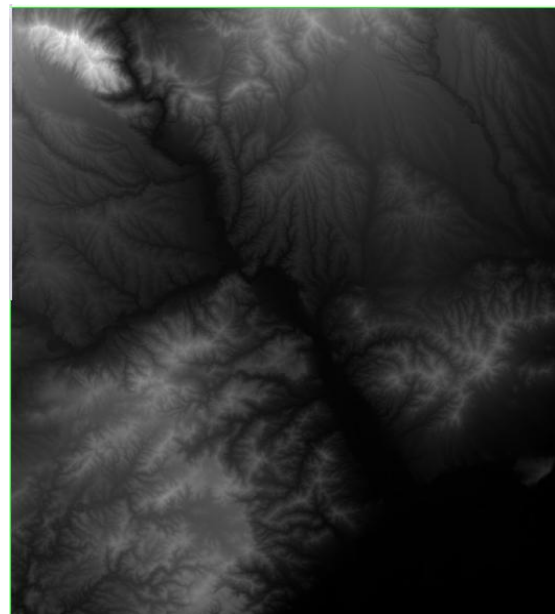
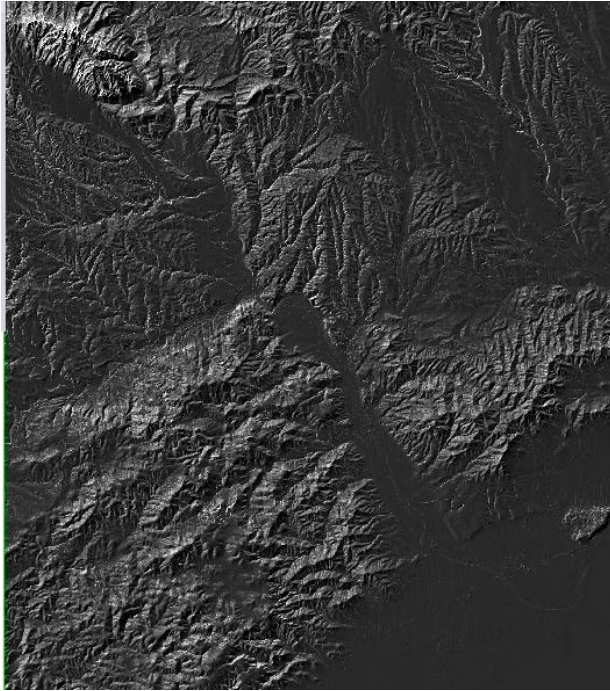


Figura 38. Capa DTM_15m_filled



Seguidament s'ha tractat de millorar la visibilitat de la imatge, modificant lleugerament el contrast i brillantor del MDE replè. Per això ha estat necessària la creació d'una capa temporal transparent (DTM_15m transparent), per fusionar-la amb el MDE (Blending result layer). Un cop fusionades, el programari ens permet modificar els valors de contrast i brillantor, que s'emmagatzema a la capa DTM_15_ombrejat.¹¹ També s'ha aprofitat per canviar el color de la imatge final, combinant la capa ombrejada amb el DTM original on s'han canviat els colors, -graduats-los per altures- (veure imatges 39 i 40).

Figura 39. *Blending*

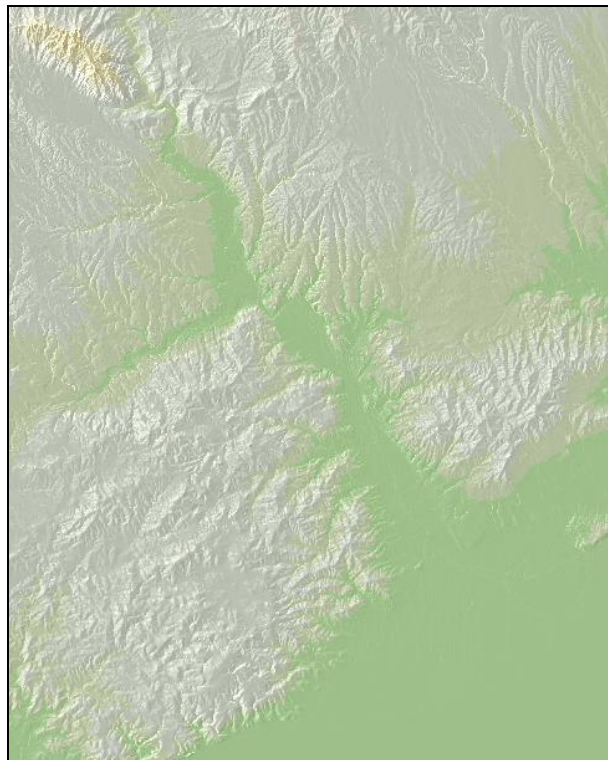


Figura 40. Capa ombrejada i acolorida per altures.

¹¹ Intergraph, *Change the contrast and brightness of a grid layer.*

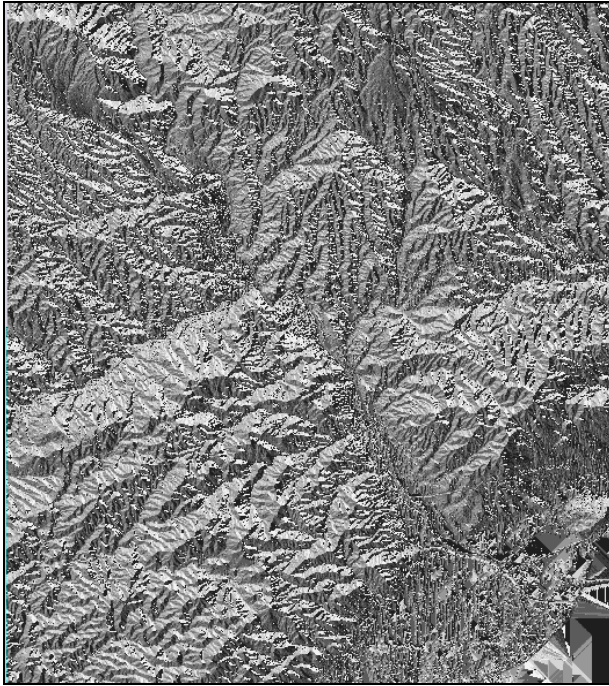


Figura 41 Capa curs del riu

A continuació, s'aplica la comanda **Downhill Path**, per generar una capa de les direccions que seguirien els canals hidrològics durant el seu descens pels pendents.

Aquesta operació proporciona una capa on en valor de cada cel·la representa la direcció del camí de descens del flux hidrològic, corresponent a un de nou punts cardinals.(Figura 41).

El següent pas consisteix a, mitjançant la comanda **Downhill Accumulation**, realitzar el càlcul de les acumulacions del flux hidrològic, i el resultat es mostra a una nova capa. L'operació funciona assignant a cada cel·la de la capa de direccions un valor igual al nombre de cel·les que es troben en un camí directe d'ascens des de aquella cel·la.

Aquests valors han permès assenyalar els grans corrents hidrològics presents a la capa i, així, s'ha assignat el color blau als corrents amb valors superiors a 916, que, entre altres, corresponen al riu Llobregat. (Figura 42).

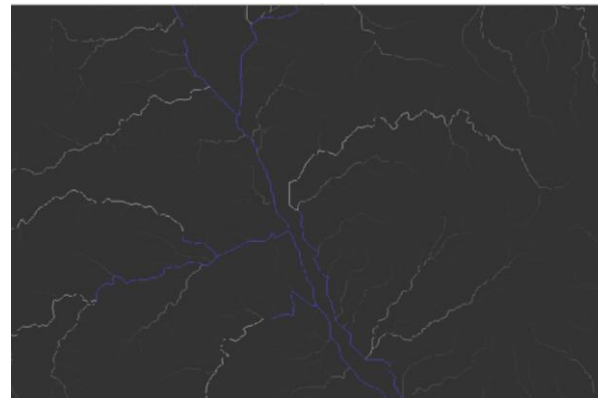


Figura 42. Detall de la capa flux de l'aigua. En blau s'han destacat els corrents amb valors més alts.

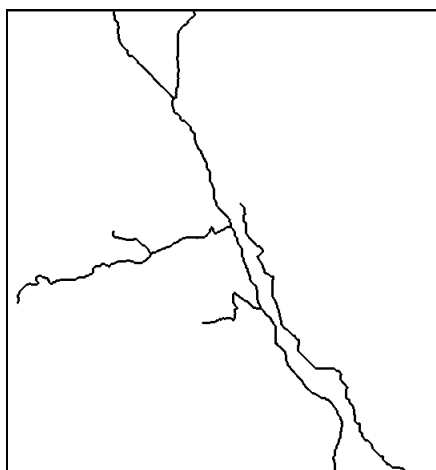


Figura 43. Detall de la xarxa de drenatge

El següent pas consisteix en **segmentar la xarxa de drenatge**, per diferenciar els diferents segments d'una xarxa fluvial. Per realitzar l'operació, es necessiten dues capes, la de la xarxa de drenatge i la de direcció del flux, i executar la comanda **Segmentation**. També s'ha aprofitat la possibilitat d'edició de capa del programari per assignar el color blau als segments corresponents a riu Llobregat.

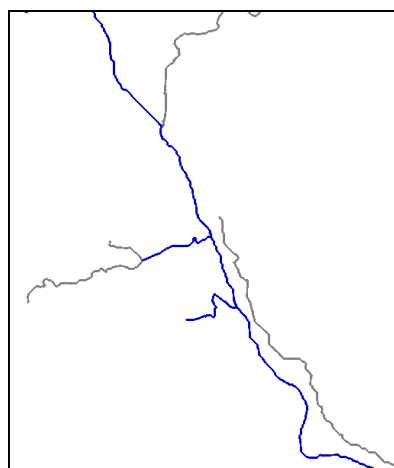


Figura 44. Detall de la capa de xarxa segmentada, centrat al riu Llobregat.

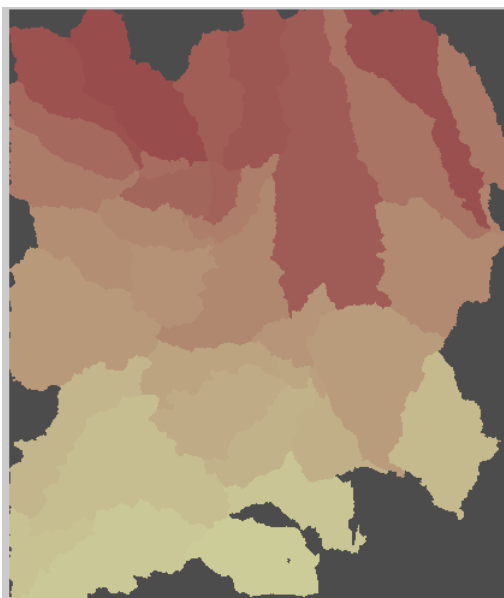


Figura 45. Conques fluvials

A continuació s'ha utilitzat la comanda **Recode**, per aconseguir la xarxa de drenatge. Aquesta operació crea una capa amb només dos valors, 1 pels valors superiors 916 i "void" per la resta. Així, s'aconsegueix individualitzar la conca del riu Llobregat (entre d'altres).

El darrer pas de la creació de les capes passa per aplicar la comanda **Sub-Basin Delineation** a les capes de xarxa segmentada i de direcció del flux hidrològic, per obtenir una capa amb les conques fluvials. L'operació defineix les conques hidrològiques per a cada segment de la xarxa, per mitjà de la identificació de totes les cel·les que es troben per sobre del segment del corrent hidrològic.

Aquesta capa també s'ha personalitzat per mitjà de la assignació de diferents colors en funció dels valors diferents de "VOID" de cada conca.

Finalment, s'ha utilitzat la funció **Vectorize to a Feature Class** per vectoritzar la xarxa segmentada i la capa de conques hidrològiques.



Figura 46. Imatge de les capes ja vectoritzades i amb els colors canviats.

I, finalment, es mostra el resultat final de les dades carregades al SIG:

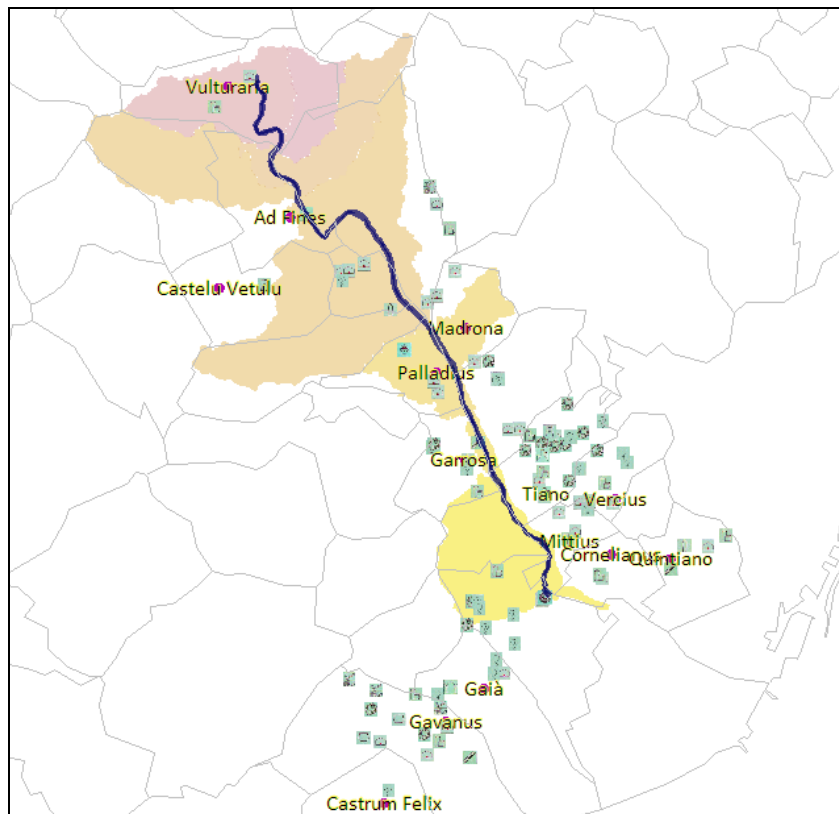


Figura 47. Imatge final de les dades carregades al SIG, un cop realitzats tots els càlculs (només es mostren les conques del riu Llobregat).

Amb totes les capes generades i les dades vectorials i ràster carregades al SIG, s'han realitzat les imatges en tres dimensions, amb l'ús del programa TerraExplorer, construït des del mateix GeoWorkspace, el model 3D.

L'ús del programari TerraExplorer ha presentat alguns problemes: no carregava les imatges ràster en format MrSid, o gran quantitat d'altres tipus de dades i ha necessitat molts recursos de maquinari i de temps per a generar-les. La finestra de diàleg per la creació del model 3D es mostra a la següent imatge:



Figura 48. Creació del model 3D

A la finestra es distingeixen tres parts, una dedicada a la selecció de les dades vectorials a representar, una altra per a les imatges, i la darrera per a les superfícies. Per a les superfícies s'ha carregat la capa DTM_15m_BaixLlobregat. Pel que fa a les imatges, sempre s'ha seleccionat la capa DTM_def_2 i les ortofotografies i un mapa topogràfic (només per a un dels terrenys generats); finalment, les dades vectorials han estat la toponímia romana, el traçat del riu, els jaciments arqueològics, els municipis i comarques i les vies romanes de comunicació i, a la darrera imatge, s'han afegit les conques hidrològiques.

Per salvar les dificultats respecte a la càrrega de les imatges MrSid, es van seleccionar individualment les més relacionades amb el curs del riu a l'època romana. Així s'ha aconseguit disminuir la quantitat d'imatges a carregar. També es van presentar problemes per carregar els jaciments amb una mida d'icona de llegenda 20 pt. Després de diferents proves, la mida màxima per a carregar-los tots va ser de 16 pt.

El resultat es la generació diverses imatges en tres dimensions de l'àrea de terreny objecte del treball, sobre la vertical del jaciment romà de Sant Hil·lari (Abrera), que s'exposen a continuació:

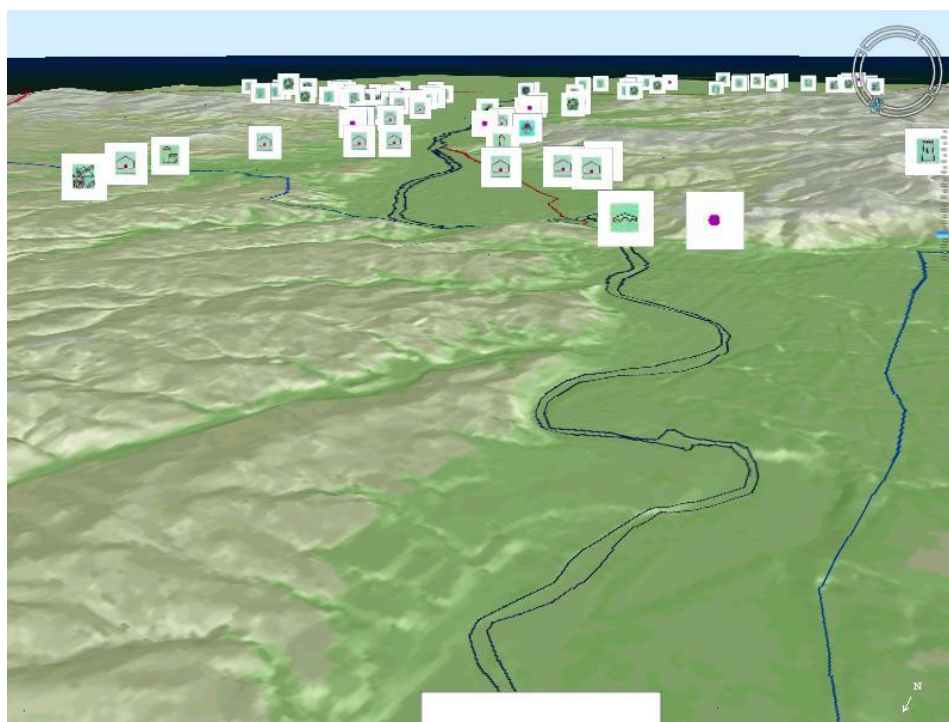


Figura 49. Imatge del terreny 3D.

La propera figura mostra el relleu ombrejat i tota la informació dels jaciments, toponímia romana, xarxes de comunicació romana, municipis i comarques i el traçat del riu.



Figura 50. Imatge del terreny 3D amb ortofotografies i un mapa.

La següent figura mostra la capa de les conques hidrològiques sobre el relleu ombrejat i tota la informació dels jaciments, toponímia romana, xarxes de comunicació romana i el traçat del riu.

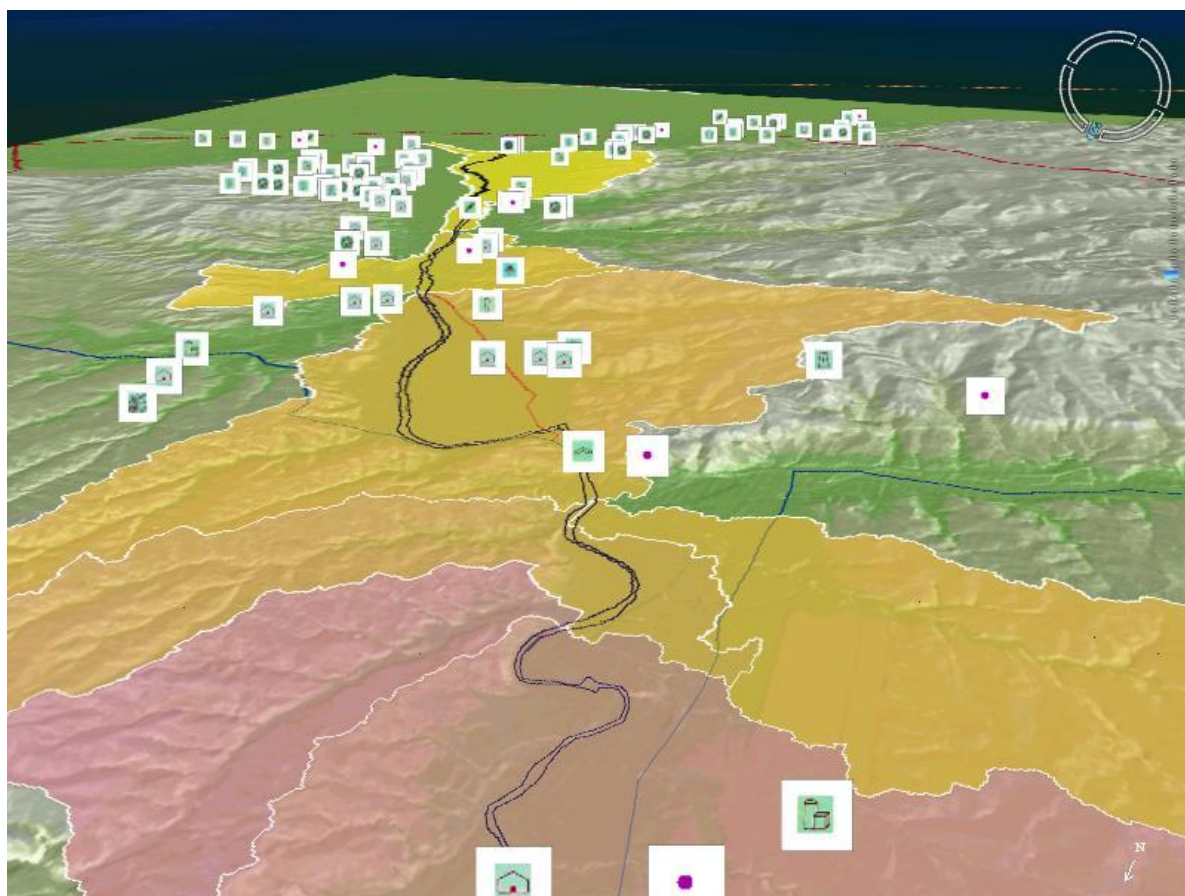


Figura 51. Imatge del terreny 3D amb les conques hidrològiques del riu Llobregat.

Finalment es mostra una imatge, presa des de la mar, on es veu la comarca del Baix Llobregat, el recorregut del riu Llobregat, i la situació dels jaciments romans.

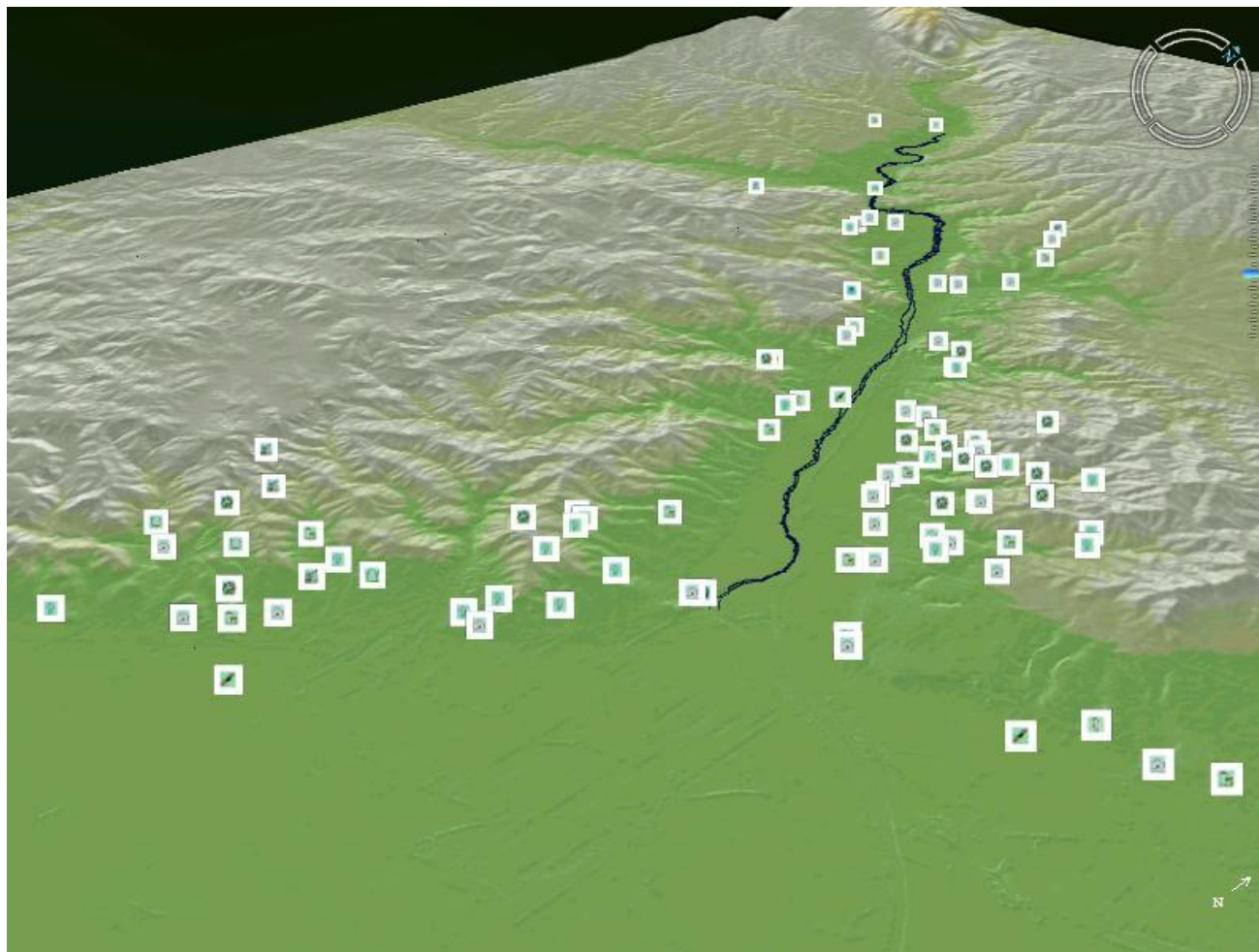


Figura 52. Imatge global de la comarca del Baix Llobregat i el recorregut del riu Rubricatvm.

6. Conclusions

A algun lloc, quelcom increïble espera ser descobert
Sagan, C. (1934-1996) Astrònom nord-americà

El treball ha permès establir algunes característiques dels Sistemes d'Informació Geogràfica: la seva potència per tractar problemes amb base espacial - ja que l'ús de bases de dades i la personalització de les consultes possibilita realitzar anàlisis complexos- i la seva flexibilitat, en adaptar-se a les necessitats historico-geogràfiques sense dificultats.

D'acord amb els objectius plantejats al projecte, s'han treballat i assolit els següents:

- Estudi de la tecnologia SIG i de la seva metodologia, així com el concepte de topologia, cartografia i d'estructura dels diferents tipus de dades.
- Recopilació, cerca i tractament de les dades (jaciments romans i ortofotomapes) que es faran servir com a mostra del treball.
- Digitalització del traçat del riu Llobregat a l'època romana.
- Creació de la base de dades que es farà servir com a mostra de l'estudi.
- Implementació de les eines de consulta automatitzada i càlcul de la conca hidrogràfica.
- Estudi de la simulació d'inundacions.

S'han trobat dificultats teòriques durant el desenvolupament del treball: per exemple, l'ampla teoria necessària per comprendre la naturalesa dels SIG, que en alguns casos, com la generació dels models digitals de terreny, abastarien treballs sencers.

També s'han patit algunes dificultats pràctiques: alguns problemes amb el programari, sobre tot amb incompatibilitat de *Geomedia®Professional* amb *Windows® Vista®*, i la aparició d'una errada del mòdul *Terrain®*, que no ha permès fer-lo servir.

Es vol ressenyar que s'ha detectat la inexistència d'un estàndard del format d'arxiu per als SIG, ja que els diferents paquets de software treballen amb formats propietari que impossibiliten, en alguns casos, el treball de les dades amb diferents programes.

Aquest treball ha suposat un repte per la capacitat de l'autor de desenvolupar un projecte amb certa complexitat i de diferents activitats, com són la planificació, la recollida de dades i l'aprenentatge del funcionament del programari per arribar a construir un SIG.

Finalment, només queda afegir que la realització del treball ha estat una experiència molt enriquidora intel·lectualment i personal, i que cal agrair a la UOC la oportunitat de treballar una vessant molt interessant de la informàtica i a la Directora del treball i als companys d'aula el seu recolzament i haver fet la feina més fàcil.

7. Línies futures de treball

A partir del SIG dissenyat el següent pas seria treballar amb mòduls específics de simulació d'hidrogrames¹² de la conca del riu Llobregat, amb dades pluviomètriques i poblacionals històriques i veure quina influència va tenir el riu Rubricatvm en la localització dels assentaments humans a l'època ibera i romana a la comarca del Baix Llobregat.

També es proposa la creació d'un format estandarditzat per als arxius que fan servir els SIG. D'aquesta forma seria possible l'ús del SIG generat amb un programari amb un altre diferent, és dir, que es permetria la interoperabilitat directa entre el diferent programari SIG, i no mitjançant la importació de dades. Potser el desenvolupament de programari lliure sigui fonamental per aconseguir-lo.

En aquest sentit, destaca la iniciativa de l'empresa ESRI de dissenyar un mòdul que permet importar 75 formats espacials diferents amb el programari ArcGIS® 9¹³. Tot i que no es la solució proposada, sí és un pas cap a endavant.

¹² Gràfic que mostra la variació en el temps d'una informació hidrològica (nivell d'aigua, cabdal...) per a un riu.

¹³ ESRI, <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/datainteroperability/index.html>

7. Glossari

Cartografia: Art de traçar mapes o cartes geogràfiques.

Coordenada: Qualsevol de dues o més magnituds que determinen la posició d'un element espacial (un punt, un pla, etc.).

Datum: Punt de referència en el terreny que serveix com a origen de coordenades d'un sistema geogràfic.

ED50: European Datum 1950. Datum utilitzat habitualment a Europa.

Fus: Secció de la terra limitada per dos meridians.

Georeferenciar: Assignar coordenades geogràfiques a un objecte o estructura.

Hidrograma: Gràfic que mostra la variació en el temps d'una informació hidrològica (nivell d'aigua, cabdal...) per a un riu.

Longitud: Angle que forma la projecció d'un punt amb el meridià de referència.

Mapa: Model gràfic de la superfície terrestre on es representen objectes espacials i les seves propietats mètriques, topològiques i d'atributs.

MDE: Model digital d'elevació, tipus del Model Digital del Terreny (MDT) on la coordenada z és l'elevació del terreny.

Meridià: Intersecció d'un pla que conté l'eix de la Terra amb la superfície d'aquesta.

Meridià de *Greenwich*: Meridià que passa per la ciutat de *Greenwich* i que es pren com a referència de 0°.

MDT: Estructura numèrica de dades, que representa la distribució espacial d'una variable quantitativa i continua.

Paral·lel: Línies d'intersecció entre els infinits plans perpendiculars a l'eix de la Terra i la superfície d'aquesta.

Polígon: Objecte geomètric representat per una sèrie de línies. Objecte geogràfic bàsic en el model de dades vectorial.

Projecció: Conjunt de transformacions mètriques per a representar la superfície de la Terra sobre un plànol.

Punt: Objecte geomètric representat per un parell de coordenades. Objecte geogràfic bàsic en el model de dades vectorial.

Ràster: Mapa constituït per una matriu regular de cel·les, definides per les coordenades X, Y, N (X i Y referides a la distància en píxels a l'origen de coordenades i N a la profunditat de color o nivell de gris).

Registre: Conjunt d'atributs relacionats amb un objecte o entitat geogràfica i que són tractats com a una entitat pel software de gestió de la base de dades geogràfica.

Topologia: Definició matemàtica explícita de les interrelacions geomètrico-espacials de les entitats cartogràfiques, representades per punts, línies, polígons i volums.

Vectorial: Model de dades que representa la realitat mitjançant vectors o estructures de vectors.

8. Bibliografia

- Biblioteca de la UOC, Treballs de fi de carrera i Projectes finals de carrera d'anteriors semestres.
- Bosque Sendra, J. 1992. *Sistemas de información geográfica*. Ediciones RIALP. Madrid.
- Bouza Badenes, B. 2005. *Análisis de la estabilidad del cauce del río Llobregat tras la construcción de la autovía del Baix Llobregat*. UPC
- De Soto, P. i Carreras, C. 2006. *Anàlisi de la xarxa de transport a la Catalunya romana: alguns apunts*. Revista d'arqueologia de ponent nº 16-17.
- Felicísimo Pérea, A. M. 1994. *Los modelos digitales de terreno en las ciencias ambientales*. Oviedo *Intergraph, Manual del usuario de Geomedia® Professiona*
- Lantada, N y Núñez, M.A. 2002. *Sistemas de Información Geográfica. Prácticas con ArcView*. Edicions UPC. Barcelona.
- Rhind, D.W. 1990. "Why GIS?", in *Understanding GIS. The ArcInfo Method*. editor: ESRI. California.
- Rosas Rodríguez, H. 2001. *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat*. UPC. Barcelona
- Solias i Arís, J. M. 2003. *Rubricatvm. Roma al Baix Llobregat*. Ajuntament de Sant Boi de Llobregat. Sant Boi de Llobregat
- Varis. 2001. *Roma a Gavà*. Actes de les Jornades Roma a Gavà. Associació d'Amics del Museu de Gavà. Gavà

Internet

- Associació catalana de SIG: <http://www.aesig.org/>
- SIG: <http://www.nosolosig.com/>
- SIG: <http://www.cartografia.cl/>
- SIG: <http://foro.gabrielortiz.com/>
- Proveïdor SIG *Intergraph*: <http://www.intergraph.es/>
- Proveïdor SIG ESRI: <http://www.esri.com/>
- Institut Cartogràfic de Catalunya: <http://www.icc.es/>
- Inventari del patrimoni arqueològic de Catalunya: <http://cultura.gencat.net/invarque/index.asp>