

Construcció d'un Sistema d'Informació Geogràfica per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

**Estudis d'Informàtica i Multimèdia
Enginyeria Tècnica en Informàtica de Gestió**

**Treball Final de Carrera
Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica
Curs 2006-2007 – Semestre de Tardor**

**Autor del treball:
Pablo Rodríguez Madroño**

**Tutor del treball:
Eduard Allué Pont**

A la Inés, la meva nena petita.

Deu ser el bebè que més sap de Sistemes d'Informació Geogràfica.

A la Sílvia, la meva nena gran.

Sense la seva comprensió i recolzament aquest treball mai no s'hauria fet.

A l'Eduard, el meu tutor.

Els seus ànims han estat constants tot el temps i m'han empès a anar més enllà.

RESUM

Els Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG) cada vegada són més importants per a la gestió de la informació d'organitzacions i empreses, en afegir una component de referenciació geogràfica a les dades.

El sistema *Global Positioning System* (GPS) permet determinar la localització geogràfica i establir recorreguts de forma molt fàcil, i accessible. Un nombre creixent de persones i organitzacions disposen de dades obtingudes d'aquesta manera.

En el present treball es planteja la necessitat d'una empresa de sanitat animal de fusionar ambdós conceptes per tal de cartografiar les rutes entre la seva seu i les granges que visiten els veterinaris que hi treballen. Els recorreguts efectuats són capturats mitjançant una PDA (*Personal Digital Assistant*, o ordinador de mà) equipada amb un receptor GPS, però les rutes són eminentment rurals i per tant no estan incloses a la cartografia estàndard de carreteres, de forma que cal implementar una solució personalitzada mitjançant un SIG.

La resolució de la problemàtica exposada al llarg d'aquest treball s'aborda en dues fases. Una primera constitueix un estudi teòric dels diversos conceptes implicats: SIG, cartografia, geodèsia i GPS, amb especial atenció al tipus de receptors GPS disponibles al mercat.

La segona part és eminentment pràctica i està formada per l'exposició de la solució adoptada per a respondre a les necessitats de l'empresa: el SIG GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0, les dades geogràfiques de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), la base de dades d'emmagatzematge MICROSOFT ACCESS, l'eina de programació MICROSOFT VISUAL BASIC 6.0 i les comandes personalitzades del SIG que s'han desenvolupat per a implementar la funcionalitat requerida.

ÍNDEX DE CONTINGUTS

Resum	1
Índex de continguts.....	2
Índex de figures	3
Índex de taules.....	4
Capítol 1: Introducció.....	5
Capítol 2: Sistemes d'Informació Geogràfica	8
Capítol 3: Cartografia i Geodèsia	12
Capítol 4: <i>Global Positioning System (GPS)</i>	17
Capítol 5: GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0.....	23
Capítol 6: Construcció del SIG	27
Capítol 7: Disseny de l'aplicació	35
Capítol 8: Conclusions i treballs futurs	54
Glossari	56
Bibliografia.....	58

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1 – Models vectorial i <i>raster</i> de SIG (a) i representació de la informació en capes temàtiques (b)	11
Figura 2 – Comparació de la superfície de la Terra, el geoide i un el·lipsoide	12
Figura 3 – Fusos i zones a la projecció UTM [20].....	15
Figura 4 – Coordenades geogràfiques (esquerra) y geocèntriques (dreta).....	16
Figura 5 – Transformació entre sistemes de coordenades.....	16
Figura 6 – Estacions de control (esquerra) i determinació d'una posició amb trilateració.....	18
Figura 7 – L'administrador de complements de VISUAL BASIC 6.0	26
Figura 8 – Incorporació d'una comanda a mida dins la interfície de GEOMEDIA	26
Figura 9 – Propietats de visualització del SIG.....	28
Figura 10 – Punts de control a la imatge per satèl·lit.....	30
Figura 11 – El SIG vist a una escala alta	31
Figura 12 – El SIG vist a una escala mitjana	32
Figura 13 – El SIG vist a una escala baixa	34
Figura 14 – Model entitat-relació de les taules de l'aplicació.....	35
Figura 15 – Barres d'eines (a) i menú de GEOMEDIA (b) amb les comandes programades	38
Figura 16 – Esquema conceptual de les comandes de l'aplicació	38
Figura 17 – Diàleg de creació de punt terminal	39
Figura 18 – Nou punt terminal a la pantalla de mapa	40
Figura 19 – Formulari de gestió de veterinaris.....	42
Figura 20 – Diàleg d'importació de recorreguts	43
Figura 21 – Recorregut importat a la pantalla de mapa.....	44
Figura 22 – Diàleg de transformació de recorreguts a rutes.....	46
Figura 23 – Habilitació de la comanda de detecció de creuaments	48
Figura 24 – Confirmació d'un punt de creuament.....	49
Figura 25 – Missatge de conversió correcta	49
Figura 26 – Diàleg d'exportació de rutes.....	52
Figura 27 – Diàleg de selecció de carpeta.....	52

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1 – Fonts d'error al sistema GPS	20
Taula 2 – Protocol NMEA.....	21
Taula 3 – Tipus de connexions a GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0.....	25
Taula 4 – Conversió de cartografia a classes d'entitat	29
Taula 5 – Coordenades errònies de granges.....	31
Taula 6 – Configuració de la llegenda.....	33

CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ

Aquest document constitueix la memòria del Treball Final de Carrera (TFC) de l'Enginyeria Tècnica en Informàtica de Gestió, dins l'àrea dels Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG).

En aquest capítol es realitza una introducció als diversos aspectes tractats a la resta del treball seguint els següents punts:

- **Justificació del TFC i context en el qual es desenvolupa: punt de partida i aportació:** s'exposa l'objecte de l'assignatura que constitueix el TFC, així com el problema resolt.
- **Objectius del TFC:** es detallen els punts a assolir en aquest TFC, des del punt de vista tant de l'assignatura com del problema a resoldre.
- **Enfocament i mètode seguit:** s'explica la metodologia i la orientació seguida durant l'elaboració del TFC.
- **Productes obtinguts:** es detallen els productes resultants de l'elaboració del TFC.
- **Breu descripció dels altres capítols de la memòria:** s'explica el contingut de la resta de la memòria.

1.1. Justificació del TFC i context: punt de partida i aportació

L'àmbit del treball es centra en una empresa de sanitat animal. Una part de la seva tasca diària és la de visitar les granges dels seus socis per a controlar-ne l'estat sanitari. Aquestes visites es realitzen tres cops a l'any i, per tant, convé que els veterinaris tinguin un registre de les rutes que cal seguir per arribar a aquestes granges.

Una manera d'emmagatzemar aquestes rutes és mitjançant navegadors GPS. El problema és que la cartografia estàndard no inclou els camins que van de les carreteres a les granges, i que de vegades poden ser de diversos quilòmetres. Per tant, el primer cop que els veterinaris visiten una granja, cal emmagatzemar la ruta i generar així la cartografia corresponent. La solució que s'ha adoptat és la construcció d'un sistema que emmagatzemi les rutes fetes pels veterinaris i, el següent cop que es visiti la granja, se'n pugui fer ús per arribar-hi.

En concret, la feina desenvolupada en aquest treball ha estat la construcció d'eines per a l'obtenció, l'emmagatzematge i la gestió de les rutes no cartografiades fetes pels veterinaris dins un SIG.

Així doncs s'integren en una solució dues tecnologies en plena expansió avui en dia.

1.2. Objectius del TFC

Els objectius del treball es resumeixen en els següents punts:

- Saber plantejar un projecte d'un Sistema d'Informació Geogràfica:
 - Analitzar un problema complex de tipus pràctic transformant-lo en un projecte informàtic.

- Planificar i estructurar el desenvolupament del projecte mitjançant l'elaboració d'un pla de treball aplicant una metodologia adient.
- Treballar a fons els aspectes formals del desenvolupament de projectes.
- Sintetitzar una solució viable i realista al problema proposat.
- Elaborar una memòria del projecte segons una estructura prefixada.
- Elaborar una presentació del desenvolupament i resultats finals del projecte.
- Conèixer les característiques fonamentals dels SIG, els components que el formen i les principals aplicacions que tenen.
- Conèixer els conceptes cartogràfics i geodèsics necessaris per a entendre com es situen els objectes en el SIG i quines coordenades utilitzen.
- Aprofundir en el coneixement del sistema GPS i els tipus de receptors segons la precisió que ofereixen.
- Saber utilitzar les eines que proporcionen els SIG per tal de resoldre un problema concret.
- Conèixer i aprendre a utilitzar el programari SIG GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0, sobre el qual s'ha construït la solució al problema.
- Aprendre a programar aplicacions en llenguatges de programació estàndards per a crear noves opcions en GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0. En concret s'ha utilitzat Visual Basic per a assolir aquest objectiu.

1.3. Enfocament i mètode seguit

El treball s'ha dividit en dues parts:

- Una primera de teòrica en la qual s'han estudiat els conceptes necessaris per a treballar la segona part.

Ha consistit a resumir els principals conceptes que formen part d'un SIG a partir d'informació que es pot trobar en llibres, en pàgines d'Internet i en altres Projectes Finals de Carrera (PFC) o Treballs Finals de Carrera (TFC) de la biblioteca de la UOC.

L'enfocament ha estat generalista per tal de facilitar la seva comprensió. El fil conductor de les explicacions ha seguit els conceptes més importants per a la realització del treball pràctic.

- Una segona part pràctica en la que s'ha construït un SIG i s'han implementat funcions a través d'un llenguatge de programació estàndard.

Ha consistit a aplicar els conceptes apresos en la part teòrica a un SIG real. S'ha dissenyat i construït un SIG de Catalunya que incorpora les funcionalitats necessàries per resoldre el problema de l'empresa de sanitat animal.

L'enfocament seguit ha suposat un cert coneixement de la terminologia informàtica, tot i que a la descripció de les comandes implementades s'ha dedicat una secció descriptiva a mode de manual d'usuari.

1.4. Productes obtinguts

Com a resultat del treball s'han obtingut els següents productes:

- Memòria: el present document, on s'exposen els conceptes teòrics i es descriu el SIG construït i les funcionalitats programades.
- Presentació virtual: presentació que acompanya la memòria i que resumeix el treball realitzat.
- SIG: el projecte construït amb GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 per a resoldre la problemàtica de l'empresa de sanitat animal. Inclou el magatzem de dades geogràfiques.
- Llibreries i codi font: constitueixen les comandes del SIG resultants de programar en MICROSOFT VISUAL BASIC 6.0 les funcionalitats requerides.

1.5. Breu descripció dels altres capítols de la memòria

La resta de capítols que conformen la present memòria són els següents:

- Capítol 2: Sistemes d'Informació Geogràfica → es defineix el concepte de SIG, i descriu les seves funcionalitats, components i formes de representar i emmagatzemar les dades.
- Capítol 3: Cartografia i Geodèsia → s'exposa els conceptes de cartografia i geodèsia, així com les diferents possibilitats a l'hora de representar la forma de la Terra i de projectar-la en un mapa bidimensional. Finalment es tracten els sistemes de coordenades i els mètodes per a canviar entre els diferents sistemes.
- Capítol 4: Global Positioning System (GPS) → es tracten les funcions, components i funcionament del sistema GPS. S'explica el format de les trames GPS i s'estudien els diferents tipus de receptors GPS segons la seva precisió.
- Capítol 5: GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 → es descriu els SIG GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0, mostrant els elements que el conformen i les diferents possibilitats a l'hora de programar aplicacions.
- Capítol 6: Construcció del SIG → s'explica el procés de creació del SIG, l'obtenció i càrrega de dades i la configuració de la seva visualització.
- Capítol 7: Disseny de l'aplicació → es defineix el model de dades del SIG i les diferents comandes d'aplicació que s'han desenvolupat per tal de resoldre la problemàtica de treball.
- Capítol 8: Conclusions i treballs futurs → s'exposen les conclusions obtingudes en l'elaboració d'aquest TFC, així com els treballs futurs que es podrien realitzar.

CAPÍTOL 2: SISTEMES D'INFORMACIÓ GEOGRÀFICA

En aquest capítol es fa un breu estudi dels Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG), tractant els següents aspectes:

- **Funcionalitats d'un SIG:** es defineix un SIG i se'n descriuen les característiques principals, així com les seves aplicacions.
- **Components d'un SIG:** es repassen els principals elements que formen un SIG.
- **Emmagatzematge de les dades:** s'enumeren les diferents caracteritzacions de les dades que emmagatzema el SIG.
- **Models de dades:** es repassen els principals models de gestió de la informació dels SIG.
- **Representació de les dades:** s'expliquen alguns aspectes relatius a la representació final de la informació del SIG.
- **Comparació entre un SIG i un sistema CAD:** es realitza una avaluació de les diferències entre dos sistemes informàtics amb capacitats geogràfiques.

2.1. Funcionalitats d'un SIG

Un SIG és, en sentit ampli, qualsevol sistema d'informació amb una component geogràfica. Tant és així, que es considera que el primer SIG data de l'any 1854, quan el doctor John Snow va cartografiar la incidència de casos de còlera sobre un mapa del districte londinenc de Soho. La conjunció del sistema d'informació existent (els casos de malaltia) amb el posicionament geogràfic va permetre descobrir informació addicional no evident: es va detectar un pou contaminat que va ser el causant de l'epidèmia [20].

En sentit estricte es considera un SIG com a un sistema informàtic que facilita la recol·lecció, l'anàlisi, la gestió i la representació de dades georeferenciades (és a dir, referenciades geogràficament). Al llarg del present treball es prendrà aquesta darrera interpretació.

La potència dels SIG rau en el fet que permeten relacionar informació de diferents tipus i procedències. Això és possible gràcies a que cada objecte geogràfic porta associats els seus atributs i les seves dades. Els SIG disposen d'eines de captura, integració i conversió per a incorporar tota la informació al sistema, la qual es mostra en la forma de capes temàtiques relacionades segons la geografia.

Els SIG no només permeten representar la informació, sinó també efectuar-ne consultes interactives, analitzar-la i editar-la. A tall d'exemple, amb un SIG es pot fer, entre altres coses [21] [22]:

- Representar la localització d'objectes: es poden trobar objectes o distribucions d'objectes amb unes certes característiques.
- Representar quantitats o densitats: es pot visualitzar fàcilment informació quantitativa.
- Trobar què hi ha a prop: es poden trobar i visualitzar fàcilment altres elements que siguin propers triant localitzacions o característiques dels objectes.

- Representar els canvis: es pot analitzar l'evolució dels objectes introduint informació estimada per a un futur. També es pot estudiar l'evolució de canvis passats. En ambdós casos es poden proposar mesures anticipatives.
- Trobar rutes entre objectes: utilitzant informació pròpia del SIG, com podria ser la distància o l'estat dels camins, o bé amb certes condicions sobre la ruta.
- Exportar els resultats: o bé en forma de mapes o en algun format electrònic, incloent tant la informació geogràfica com les dades associades i calculades.

La tecnologia dels SIG es pot utilitzar en molts camps del coneixement: investigació científica, planificació i gestió de recursos, avaluació de riscos i impactes ambientals, planificació del desenvolupament, cartografia general i planificació de rutes i trajectes, entre altres.

La cartografia i categorització del sòl rural d'un territori per a avaluar la viabilitat de certs conreus, la detecció de punts inundables per a la creació de plans d'emergència o el seguiment d'una xarxa de sanejament per a trobar les indústries que poden haver provocat un vessament de productes químics són exemples d'utilització pràctica dels SIG.

2.2. Components d'un SIG

Un SIG proporciona les funcions i les eines per a emmagatzemar, analitzar i mostrar informació geogràfica. Els seus components clau són [3] [6] [27]:

- Informació espacial i geogràfica: és el veritable nucli del SIG. Inclou dades estrictament geogràfiques (és a dir, de posicionament dins un mapa) i també les dades dels atributs associats als objectes anteriors.
- Maquinari: inclou els següents elements:
 - Els servidors on s'emmagatzemen les dades i s'executen els processos de gestió i manteniment.
 - Les estacions de treball amb les que s'accedeix a les dades i s'hi realitzen consultes.
 - Els dispositius d'adquisició i entrada de dades, com poden ser scanners, taules digitalitzadores, receptors GPS integrats en PDA, etc.
 - Els dispositius de sortida de dades, com per exemple impressores o plotters.
- Programari de gestió de la informació: inclou aspectes molt diversos del SIG:
 - El propi programari SIG, que comunica tota la resta d'elements del sistema.
 - Un sistema de gestió de bases de dades que s'ocupa de l'emmagatzematge i gestió de les dades. Com que el volum d'informació pot ser important, aquest component ha de ser robust, fiable i ràpid.
 - La interfície gràfica, que mostra als usuaris la informació de la base de dades d'una forma fàcil i entenedora.
 - El programari de captura, gestió i anàlisi d'informació.
 - Si existeix, el programari addicional usualment fet a mida que complementa la resta de components.
- Procediments i mètodes: Aquest component recull la metodologia del sistema: els diferents procediments que permeten l'entrada, gestió, manteniment i anàlisi de les dades; així com els mètodes que responen a la necessitat de poder assegurar, en tot moment, en quin estat es troben les dades a la base de dades geogràfica.

- Usuaris: El personal usuari del SIG i que sol ser també l'encarregat del manteniment de les dades ha de disposar dels coneixements necessaris per a crear, introduir, mantenir, corregir i sintetitzar informació dins el sistema. Una bona eina sense ningú que la pugui utilitzar convenientment no és productiva, i per tant, en un SIG, és molt important el factor humà.

2.3. Emmagatzematge de les dades

Ja s'ha vist que les dades que tracta un SIG i que emmagatzema a la seva base de dades són de tipologia i origen molt divers. La seva classificació es pot fer de la següent forma [12]:

- Dades geogràfiques: S'utilitzen per a descriure la forma i la posició dels objectes emmagatzemats a la base de dades.
- Dades alfanumèriques: Són totes les dades no geogràfiques associades a cada objecte, que complementen el seu posicionament i que ajuden a modelar la realitat.
- Metadades: Serveixen per a vertebrar i entendre tota la resta d'informació emmagatzemada a la base de dades. Són les dades que descriuen la informació geogràfica, facilitant informació com ara: qui és el propietari, quin és el format, quin és el sistema de coordenades o quina és l'extensió de la informació geogràfica.

2.4. Models de dades

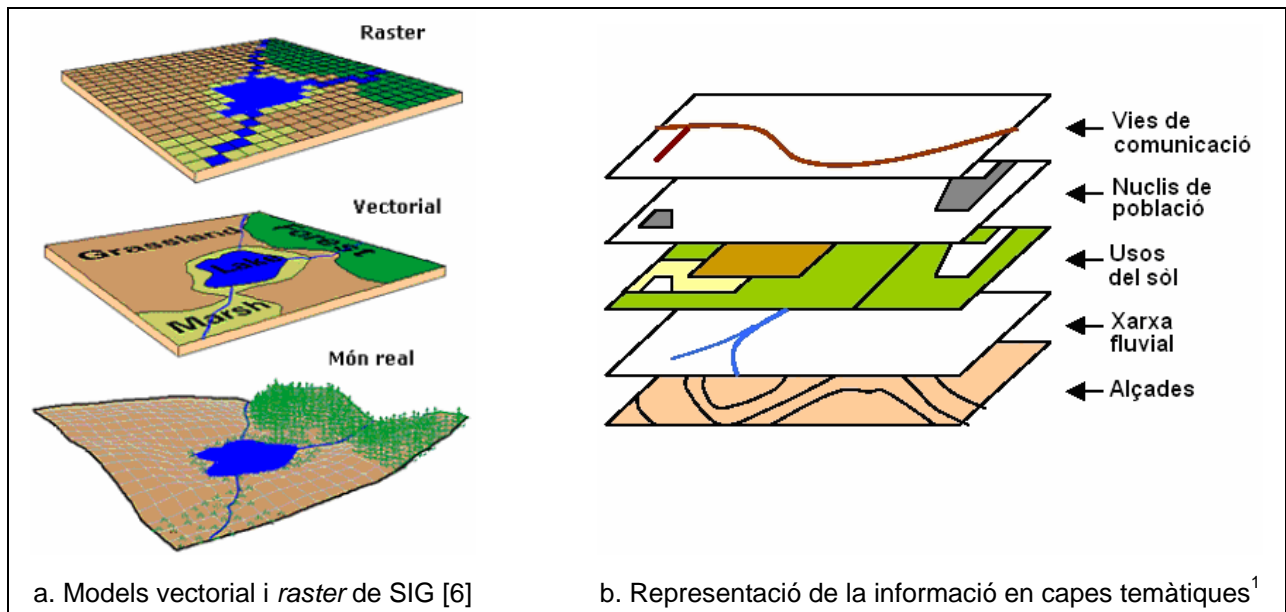
Els SIG modelitzen la realitat abstraient-la a objectes universals de diverses formes, essent les més comuns el model vectorial i el model *raster* [6] [7], els quals s'expliquen a continuació i es mostren a la Figura 1a:

- Model vectorial: En aquest model, les entitats de la realitat s'abstruen a punts, línies, polígons i volums, que estan codificats amb coordenades geogràfiques. D'aquesta forma es poden establir relacions topològiques entre entitats. Associats als objectes es poden trobar atributs temàtics. Aquest model pot donar molta precisió en les representacions i facilita l'anàlisi de relacions entre entitats.
- Model *raster*: El model *raster* està constituït per un conjunt de capes d'informació referides a una mateixa àrea, cadascuna dedicada a un únic tema. Cada capa d'informació està dividida en elements d'una certa resolució, anomenats *pixels*, que tenen un determinat valor. La distinció entre les entitats i les relacions entre elles venen determinades pels valors dels *pixels*. Les coordenades geogràfiques de les entitats són implícites a la posició de cada *pixel*. Aquest model facilita la superposició de capes i la representació de superfícies.

2.5. Representació de les dades

La representació o sortida de les dades es pot realitzar, entre altres formes, a través de gràfics en la pantalla d'un ordinador, mapes impresos i taules de dades.

És característic dels SIG representar les diferents categories d'informació en capes temàtiques, tal com es mostra a la Figura 1b. Cadascuna de les capes es pot mostrar o ocultar a voluntat de l'usuari del sistema, o dependent de l'escala de representació activa. D'aquesta forma es pot determinar quina informació es mostrarà, per tal de disposar d'una representació clara de les dades.



a. Models vectorial i raster de SIG [6]

b. Representació de la informació en capes temàtiques¹

Figura 1 – Models vectorial i raster de SIG (a) i representació de la informació en capes temàtiques (b)

2.6. Comparació entre un SIG i un sistema CAD

Algunes aplicacions CAD (*Computer Aided Design*, o Disseny Assistit per Ordinador) disposen de capacitats geogràfiques limitades, la qual cosa pot fer-los comparables als SIG.

Els sistemes CAD estan més orientats a projectar un model estàtic que encara no existeix mitjançant un sistema de coordenades local. Els SIG, en canvi, representen una realitat existent de forma dinàmica, que es pot consultar, i que disposa d'un sistema de referència global.

Es pot concloure per tant que l'orientació dels dos sistemes és diferent, i és rellevant la superioritat dels SIG pel que es refereix a tractament i gestió de la informació geogràfica. Es poden trobar comparacions més extenses en [6], [12] o [14].

¹ Adaptada de [21]

CAPÍTOL 3: CARTOGRAFIA I GEODÈSIA

En aquest capítol es tractaran els conceptes necessaris per a representar un punt de la Terra en una superfície plana, amb especial atenció als sistemes de representació utilitzats per l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) i pel sistema GPS², així com en la conversió entre ambdós sistemes. Es tractaran els següents apartats:

- **Representació de la Terra:** es descriuen els diferents models de descripció de la superfície terrestre.
- **Projeccions cartogràfiques:** s'explica el mecanisme de transformació de les representacions tridimensionals al pla.
- **Sistemes de coordenades:** es descriuen alguns sistemes de coordenades d'interès per al present treball.
- **Canvis de coordenades:** s'exposa el mètode de canvi entre diferents sistemes de coordenades.

3.1. Representació de la Terra

La Terra no és totalment esfèrica: no només està lleugerament aixafada pels pols, sinó que es manifesten irregularitats a l'escorça terrestre.

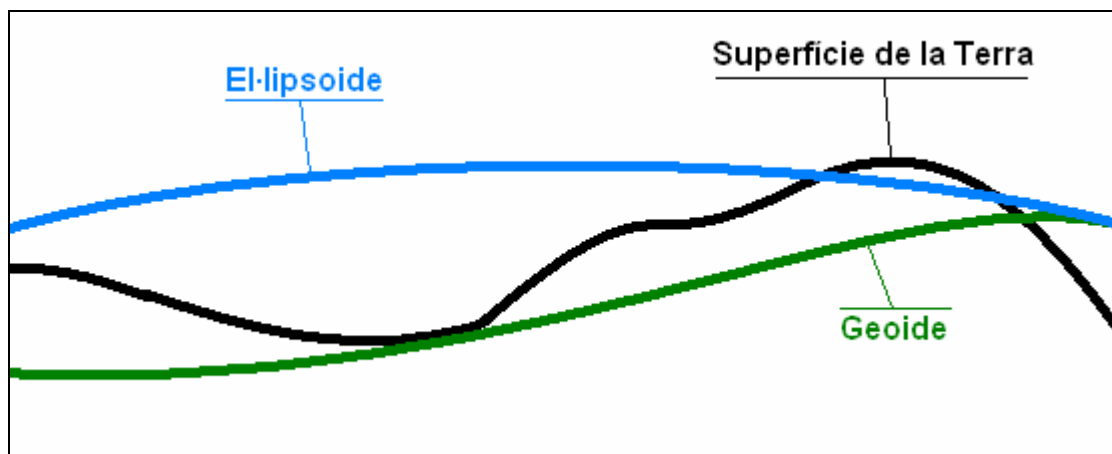


Figura 2 – Comparació de la superfície de la Terra, el geoide i un el·lipsoide

3.1.1. Geoide

Degut a les irregularitats de la Terra s'introdueix una superfície teòrica anomenada geoide [3] [6] [20]. Els punts d'aquesta superfície són equipotencials respecte la gravetat terrestre (és a dir, que en tots ells la

² *Global Positioning System*. Es definirà i tractarà al Capítol 4: *Global Positioning System (GPS)* d'aquest document.

força de la gravetat és vertical respecte el centre de la Terra i té el mateix valor). També es pot definir [36] com la superfície equipotencial del camp gravitatori terrestre que millor ajusta per mínims quadrats el nivell promig global del mar. Com que la força de la gravetat depèn de la distribució de masses de l'interior de la Terra, i aquesta no és uniforme, l'expressió matemàtica del geoide és extremadament complexa.

És per tant una superfície irregular que s'utilitza per a representar i modelitzar la superfície terrestre.

3.1.2. El·lipsoide de referència

Degut a la complexitat del geoide s'utilitza una altra superfície, anomenada el·lipsoide³ o esferoide [21] [39], que és la superfície de revolució d'una el·lipse amb semieix major aproximadament igual al radi equatorial de la Terra i semieix menor aproximadament igual al radi polar de la Terra.

S'intenta que la diferència amb el geoide sigui mínima utilitzant l'el·lipsoide més adequat (anomenat de referència), però també depèn de l'àrea a estudiar. Per a Europa es pot fer servir un el·lipsoide diferent que per a Amèrica, i per a tota la Terra un altre.

La Figura 2 compara la superfície de la Terra, el geoide i un el·lipsoide.

3.1.3. Datum

Un *datum* és un punt de tangència entre el geoide i un el·lipsoide de referència, compost pels següents elements [3] [6]

- L'el·lipsoide de referència, definit pels valors dels eixos major i menor.
- El punt fonamental de tangència entre el geoide i l'el·lipsoide, definit en coordenades geogràfiques de longitud i latitud, i amb una direcció de referència.

A cada regió del món s'utilitza el *datum* que ajusti millor a geografia real, escollint un el·lipsoide de referència que en faci una bona aproximació, tal com s'ha explicat al punt 3.1.2.

3.1.3.1. European Datum 1950

A Europa s'utilitza l'anomenat *European Datum* de 1950 (ED50) [20] [38], amb l'el·lipsoide de referència de Hayford i amb el punt fonamental determinat per la Torre de Helmert, a Potsdam, Alemanya. De vegades s'utilitzen també els ED79 i el ED87, definits l'any 1979 i 1987, respectivament (tot i que a Espanya no s'utilitzen a la pràctica [30]).

3.1.3.2. WGS84

El sistema GPS va adoptar el *datum* WGS84 (*World Geodetic System* de 1984) [20]. El seu centre correspon al centre de massa de la Terra (o sigui, que no està basat en un únic punt fonamental), i la major exactitud correspon als EUA. Està considerat el millor model matemàtic en ús de la Terra, encara que s'està millorant en l'anomenat EGM06.

3.1.3.3. ETRS89

Un altre *datum* d'utilitat és el ETRS89 (*European Terrestrial Reference System* de 1989) [20]. El *datum* ETRS89 està centrat en Europa en lloc dels E.E.U.U. Es considera que a efectes de navegació GPS tots

³ De fet l'el·lipsoide és la superfície que té els tres semieixos diferents. Si dos d'ells són iguals s'anomena esferoide, i si els tres són iguals, esfera [20]. Per coherència amb la literatura existent es mantindrà el terme el·lipsoide, encara que sigui matemàticament incorrecte i s'hagués d'utilitzar el mot esferoide.

dos *datum* són equivalents, ja que l'error entre tots dos és petit (de l'ordre d'un metre). L'el·lipsoide de referència del *datum* ETRS89 està basat en l'el·lipsoide original del WGS84, el GRS80.

3.2. Projeccions cartogràfiques

Els sistemes de projecció cartogràfica resolen el problema de representar una superfície corba (com un el·lipsoide que representi la Terra) a un sistema pla (per exemple, un mapa).

3.2.1. Distorsions en les projeccions

És impossible la projecció d'un el·lipsoide en un pla sense que es produeixin distorsions i deformacions. Aquestes són anomenades anamorfosis i es poden classificar en els següents tipus [3]:

- Anamorfosi lineal: es produeix quan les distàncies mesurades en l'el·lipsoide i en el pla són diferents.
- Anamorfosi superficial: es dona si les superfícies mesurades en l'el·lipsoide i en el pla són diferents.
- Anamorfosi angular: es produeix quan els angles mesurats en l'el·lipsoide i en el pla són diferents.

3.2.2. Tipus de projeccions

3.2.2.1. Segons la conservació de paràmetres

És possible classificar les projeccions segons els paràmetres que conservin [3]:

- Projeccions equidistants: conserven les distàncies originals en el pla.
- Projeccions d'igual àrea: són les que conserven l'àrea en fer la projecció al pla.
- Projeccions conformes: conserven els angles originals en fer la projecció al pla. Aquest tipus de projeccions són les més utilitzades en cartografia.

3.2.2.2. Segons la figura de projecció

També és possible classificar les projeccions segons la figura geomètrica sobre la que es projecta [3]. S'anomenen cilíndriques, còniques o planars quan es projecta sobre un cilindre, un con o un únic pla, respectivament.

3.2.3. La projecció UTM

El sistema global (és a dir, vàlid per a tota la superfície terrestre) més utilitzat pels organismes cartogràfics nacionals i internacionals és la projecció UTM (*Universal Transversal Mercator*) [6] [20] [21]. És de tipus cilíndrica i conforme. S'obté projectant sobre un cilindre, l'eix del qual és perpendicular a l'eix de rotació, i per tant paral·lel a l'equador. El cilindre és tangent a l'el·lipsoide al llarg d'un meridià central, al qual l'anamorfosi és nul·la.

Com que la distorsió augmenta segons la separació en longitud del meridià central, per tal de mantenir-la en un límit acceptable es divideix la superfície terrestre en 60 fusos de 6° de longitud cadascun. A cada fus es projecta sobre un cilindre tangent a un meridià central diferent. On el cilindre és tangent a la Terra la distorsió és nul·la, però va augmentant segons el punt projectat s'hi allunya. La Figura 3 mostra els fusos de la projecció UTM.

Cada fus es subdivideix en 20 zones de latitud (veure punt 3.3.1 per a la definició del concepte) de 8° cadascuna. Com que l'anamorfosi a latituds superiors a 80° és molt elevada, les zones comencen als 80° Sud, anomenades amb lletres des de la C fins a la X (excepte la I i la O, degut a la seva semblança amb els nombres 1 i 0). La zona X s'estén 4° més (en total fa 12°) per tal de cobrir la major part de terra

possible. Per a latituds superiors (és a dir, les zones A, B, Y i Z) s'utilitza la projecció UPS (*Universal Polar Stereographic*), que es centra en els pols i, per tant, té un grau menor d'anamorfoosi.

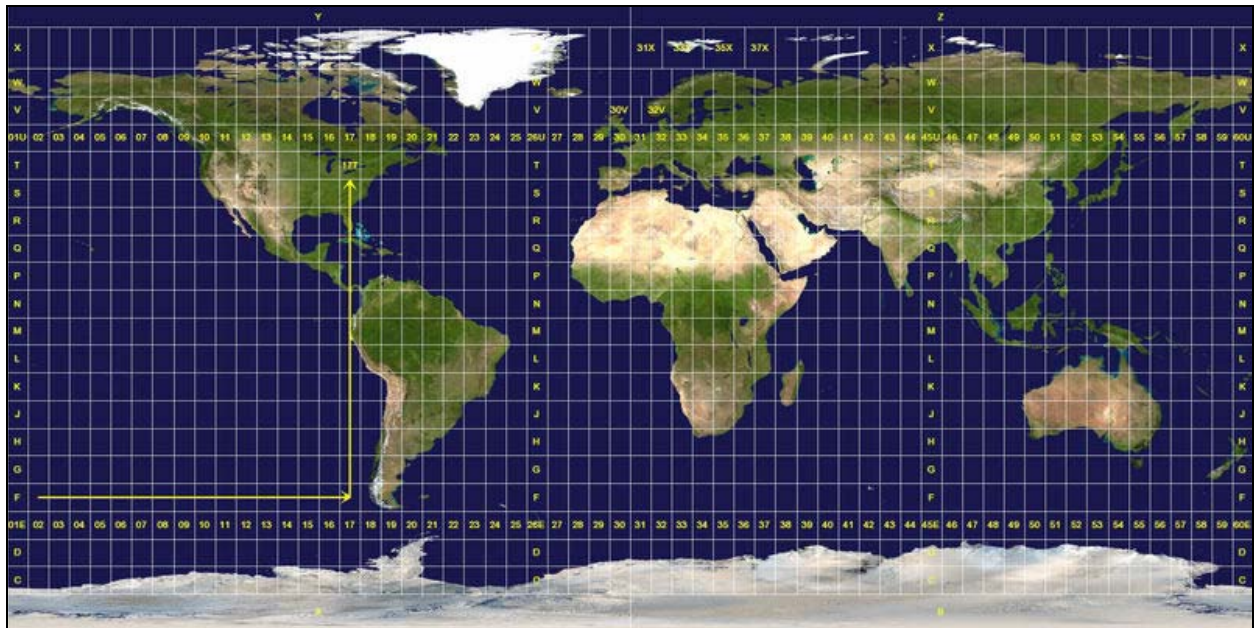


Figura 3 – Fusos i zones a la projecció UTM [20]

3.3. Sistemes de coordenades

A continuació es descriuran alguns dels sistemes de coordenades més habituals.

3.3.1. Coordenades geogràfiques

Les coordenades geogràfiques permeten representar i localitzar qualsevol punt sobre la superfície de l'el·lipsoide de referència [35]. La Figura 4a mostra aquest sistema de coordenades.

La longitud d'un punt és l'angle que forma el meridià que hi passa amb el meridià de Greenwich. Els meridians geogràfics es corresponen amb els punts de la Terra amb la mateixa longitud. Es mesura en graus, minuts i segons sexagesimals cap a l'Oest (sentit positiu) o cap a l'Est (sentit negatiu). Per tant, la seva amplitud és de -180° (o 180° Est) a $+180^{\circ}$ (o 180° Oest). Els punts sobre el meridià de Greenwich tenen longitud 0° .

La latitud d'un punt és l'angle que forma amb l'Equador la recta entre el punt i el centre de la Terra (és a dir, la vertical del punt). Els paral·lels geogràfics es corresponen amb els punts de la Terra amb la mateixa latitud. Es mesura en graus, minuts i segons sexagesimals cap al Nord (sentit positiu) o cap al Sud (sentit negatiu). La seva amplitud és des de -90° (o 90° Sud) fins a $+90^{\circ}$ (o 90° Nord). Els punts sobre l'Equador tenen latitud 0° , el pol Nord té latitud $+90^{\circ}$ i el pol Sud té latitud -90° .

3.3.2. Coordenades geocèntriques

Les coordenades geocèntriques tenen el seu origen al centre de l'el·lipsoide, i poden ser de diversos tipus [35]. Es consideraran les coordenades geocèntriques cartesianes (basades en dibuixar tres eixos cartesianes des del centre de l'el·lipsoide), que permeten representar i localitzar qualsevol punt, ja sigui sobre la superfície de l'el·lipsoide de referència o a una certa alçada per sobre d'ella. La Figura 4b mostra el sistema de coordenades geocèntriques.

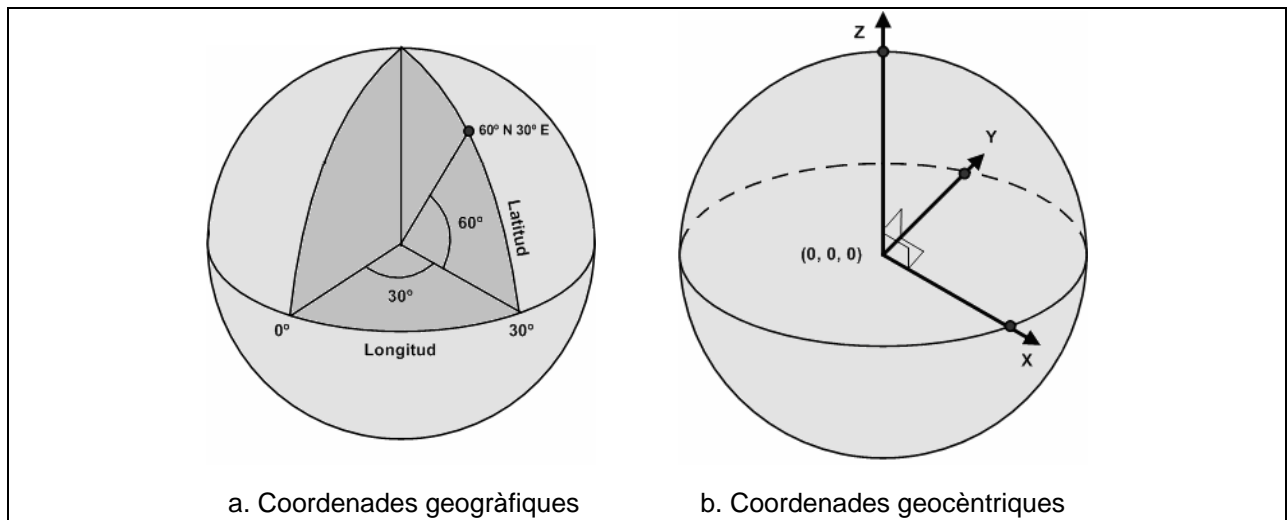


Figura 4 – Coordenades geogràfiques (esquerra) y geocèntriques (dreta)

3.3.3. Coordenades UTM

Les coordenades UTM permeten localitzar un punt en una projecció UTM. Cal conèixer el *datum*, el fus, el desplaçament horitzontal respecte el meridià central (*easting*) i el desplaçament vertical respecte l'equador (*northing*). Ambdós desplaçaments utilitzen com a unitat de referència el metre [6] [20].

Per tal d'evitar treballar amb nombres negatius es dona un desplaçament artificial cap a l'oest de 500.000 m al meridià central de cada fus, i un altre cap al nord de 10.000.000 m a l'equador en cas de tractar un punt a l'hemisferi Sud. La zona de latitud no és necessària si es dona la distància des de l'Equador i es coneix l'hemisferi, però existeixen subdivisions de la graella UTM que la fan necessària.

L'ICC ha adoptat per a la seva cartografia el sistema de coordenades UTM amb *datum* ED50 i fus 31 [32].

3.4. Canvis de coordenades

Per a realitzar un canvi de coordenades és necessari seguir una sèrie de passos [23] [29] [30] [33] [40] [41] [42], que es mostren a la Figura 5:

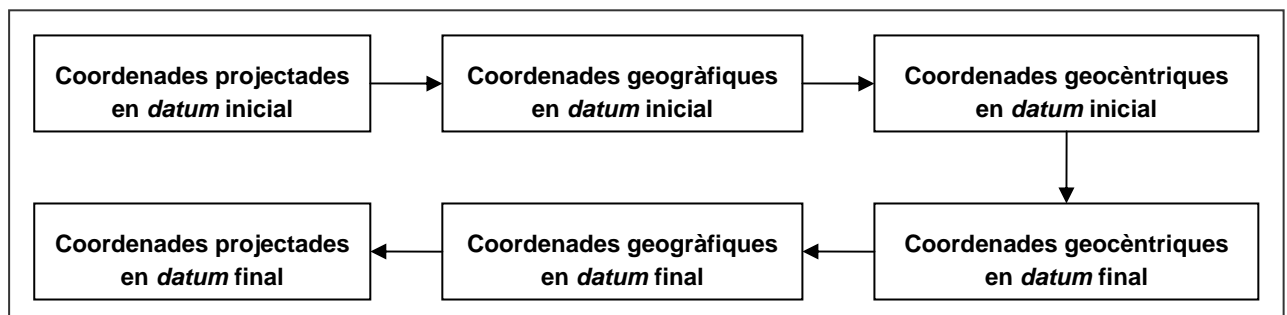


Figura 5 – Transformació entre sistemes de coordenades

El canvi mostrat és el més general possible, en el que a partir d'unes coordenades planes en un cert *datum* es volen obtenir unes altres coordenades planes en un altre *datum*.

En aquest treball interessarà el canvi de coordenades entre el format GPS (coordenades geogràfiques en el *datum* ETRS89 o WGS84) i l'utilitzat per l'ICC (coordenades planes UTM al fus 31 sobre el *datum* ED50), i viceversa. El SIG GEOMEDIA PROFESSIONAL ja incorpora mètodes de canvi de coordenades que faciliten la conversió i integració de dades.

CAPÍTOL 4: GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)

En aquest capítol es fa un estudi del sistema GPS, tractant els següents aspectes:

- **Funcions del sistema GPS:** s'introdueix el sistema GPS i es descriuen algunes de les seves aplicacions.
- **Components del sistema GPS:** s'indiquen els elements que componen el sistema, així com les seves interaccions
- **Funcionament del sistema GPS:** s'explica en detall l'operació del sistema, i s'indiquen les fonts d'errors i algunes formes de corregir-los.
- **Trames GPS:** es descriu la composició i el format dels missatges entre els diferents components del sistema, i entre els receptors GPS i altres aparells electrònics.
- **Receptors GPS:** s'estudien els diferents tipus de receptors GPS segons la seva precisió.

4.1. Funcions del sistema GPS

El NAVSTAR GPS (*Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System*), conegut simplement com a GPS (*Global Positioning System*) [43] és un sistema que permet calcular, mitjançant un receptor adequat, les coordenades (longitud i latitud) de qualsevol punt de la superfície terrestre a partir de la recepció de senyals emesos per una constel·lació de satèl·lits en òrbita. La precisió habitual és de fins a uns pocs metres, encara que amb tècniques com el GPS diferencial pot arribar fins al centímetre [20].

El sistema va ser desenvolupat i encara és mantingut pel Departament de Defensa dels EUA, però es permet la seva lliure utilització a la resta de la societat civil del món. És l'únic sistema de posicionament global totalment operatiu i funcional a dia d'avui [23].

4.2. Components del sistema GPS

El sistema GPS està format per tres conjunts de components, anomenats segments⁴:

4.2.1. Segment espacial

Està constituït d'una banda pels satèl·lits que suporten el sistema i d'altra pels senyals de comunicació que aquests emeten.

Els primers conformen la constel·lació NAVSTAR: 21 satèl·lits operatius més 3 de reserva. La seva distribució és tal que en qualsevol moment es pot llegir el senyal d'almenys quatre satèl·lits amb una

⁴ El contingut d'aquesta secció s'ha obtingut principalment a partir de les referències [20], [21], [44], [48], [49], [50] i [54].

elevació major de 15° sobre l'horitzó. Aquest número de satèl·lits és el mínim necessari per a determinar la posició de l'observador, però la major part del temps n'hi ha un número major de disponibles.

Els senyals de comunicació s'envien en la regió de ràdio de l'espectre electromagnètic. A la secció 0 (

Font d'error	Efecte
Efectes de la ionosfera (endarreriment del senyal)	± 5 m
Efectes de la troposfera (endarreriment del senyal)	± 0,5 m
Efemèrides no totalment precises	± 2,5 m
Relotge satel·lital o del receptor incorrectament sincronitzat	± 2 m
Distorsió multiruta (ecos en muntanyes o edificis propers)	± 1 m
Error numèric de càlcul	± 1 m o menys

Taula 1 – Fonts d'error al sistema GPS

Trames GPS) es descriuran amb més detall.

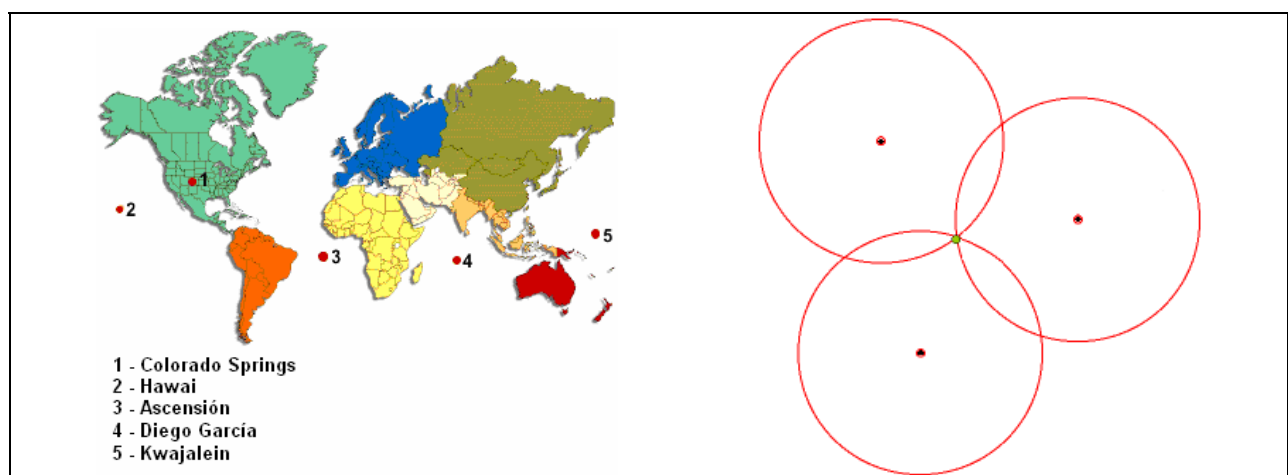
4.2.2. Segment de control

Està format per totes les infraestructures situades a la Terra (mostrades a la Figura 6a) necessàries per a mantenir un control homogeni de la constel·lació de satèl·lits. Es distingeixen tres tipus:

- Estació Principal de Control: ubicada a la base aèria Schriever, a Colorado Springs (EUA), és la instal·lació de processament central.
- Estacions de control: són cinc, ubicades a Colorado Springs (EUA), Ascensió (Atlàntic Sud), Hawaii (Pacífic Oriental), Kwajalein (Pacífic Occidental) i Diego García (Índic). Només realitzen captació de dades, que envien a l'Estació Principal de Control per al seu processament en temps real.
- Antenes de terra: N'hi ha tres, a Ascensió, Diego García i Kwajalein, ubicades a les estacions de control. Són totalment automàtiques i estan sota el control directe de l'estació principal de control. La seva funció és permetre el control i l'enviament de correccions als satèl·lits de la xarxa NAVSTAR.

L'estació principal de control efectua una predicció precisa de les òrbites dels satèl·lits, conegudes com a almanacs. No obstant, les alteracions en la força de la gravetat provoquen certes degradacions en les òrbites que podrien reduir la precisió del sistema GPS. Les estacions de control realitzen un seguiment continuat dels satèl·lits per tal de detectar desviaments de les seves òrbites.

Les dades són transmises a l'estació principal de control, que calcula les correccions necessàries als almanacs. Les òrbites corregides i amb informació temporal són anomenades efemèrides, que són enviades a les antenes de terra per a la seva retransmissió als satèl·lits, per tal que les puguin incorporar als missatges de navegació que reben els usuaris del sistema.



a. Localització de les estacions de control

b. Determinació d'una posició amb trilateració

Figura 6 – Estacions de control⁵ (esquerra) i determinació d'una posició amb trilateració⁶

4.2.3. Segment d'usuari

Està constituït pel maquinari (els equips de recepció, coneguts com a unitats GPS) i pel seu programari, utilitzats per a captar i processar els senyals dels satèl·lits, mostrar la localització, indicar els punts de destinació i determinar les rutes. El tipus de receptor va lligat al mètode de medició i als requeriments de precisió. A la secció 4.5 (Receptors GPS) s'aprofundeix sobre els diferents tipus de receptors.

4.3. Funcionament del sistema GPS

A grans trets, el sistema GPS funciona mitjançant una xarxa de satèl·lits amb trajectòries sincronitzades que cobreixen tota la superfície de la Terra, els quals comuniquen la seva posició exacta a un receptor GPS que calcula la seva ubicació.

4.3.1. Descripció del funcionament

Inicialment un receptor recull els almanacs i les efemèrides de tots els satèl·lits (és a dir, les posicions corregides dins la seva òrbita), de forma que quan es desitja determinar una ubicació, l'aparell ja coneix la posició exacta dels satèl·lits als quals pregunta.

El receptor GPS localitza com a mínim quatre satèl·lits de la xarxa, i per trilateració el receptor trobarà la seva posició exacta. A partir del temps de viatge del senyal entre el satèl·lit i el receptor (obtinguda a partir de l'hora de satèl·lit), i considerant que aquell es mou a la velocitat de la llum es calcula la distància respecte el satèl·lit.

Amb cada satèl·lit enquestat s'obté que el receptor es troba sobre una esfera amb centre el propi satèl·lit i radi la distància calculada. Amb la informació de dos satèl·lits només es pot determinar que el receptor es troba a la circumferència que resulta de la intersecció de les dues esferes. Amb tres satèl·lits s'assegura que el receptor només pot ser a dos punts possibles, un dels quals és incorrecte. La Figura 6b mostra el procés de trilateració suposant bidimensionalitat.

En teoria ja es disposaria de la posició exacta del receptor, però a la pràctica l'hora dels satèl·lits i del receptor no estan sincronitzades, de forma que en lloc d'obtenir un sol punt es disposaria d'un petit volum. Per aquesta raó s'utilitza la mesura del quart satèl·lit, que reduiria el volum a un sol punt.

Com que l'aparell coneix les òrbites teòriques dels satèl·lits i les correccions pot calcular les seves efemèrides. Gràcies a elles i les distàncies s'obté la posició tridimensional exacta (és a dir, longitud, latitud i alçada) del receptor. Les coordenades retornades estan referenciades respecte el *datum* WGS84, la qual cosa pot provocar incoherències si s'utilitzen amb una cartografia referenciada respecte un altre *datum*.

Com a efecte col·lateral de posicionament GPS, s'obté una mesura del temps molt precisa, propera a la dels rellotges atòmics que incorporen els satèl·lits i als que els sincronitzen des de terra.

⁵ Adaptació de [23]

⁶ Adaptació de [51]

4.3.2. Fonts d'error

La precisió intrínseca del GPS depèn del nombre de satèl·lits visibles en un moment i posició determinats. Sense cap correcció i amb vuit satèl·lits la precisió és de 6 a 15 metres [20]. Les fonts d'error, així com els efectes que introdueixen, es veuen reflectits a la Taula 1 [20].

4.3.3. Mètodes de correcció

Alguns errors de posicionament es poden corregir amb nous mètodes, alguns dels quals s'enumeren a continuació. Es pot trobar informació ampliada sobre ells a [43], [48] o [23]:

- *Differential GPS* (DGPS).
- *Wide Area Augmentation System* (WAAS).
- *Local Area Augmentation System* (LAAS).
- *Carrier-Phase Enhancement* (CPGPS).

Font d'error	Efecte
Efectes de la ionosfera (endarreriment del senyal)	± 5 m
Efectes de la troposfera (endarreriment del senyal)	± 0,5 m
Efemèrides no totalment precises	± 2,5 m
Relotge satel·lital o del receptor incorrectament sincronitzat	± 2 m
Distorsió multiruta (ecos en muntanyes o edificis propers)	± 1 m
Error numèric de càlcul	± 1 m o menys

Taula 1 – Fonts d'error al sistema GPS

4.4. Trames GPS

En aquesta secció es descriuen els senyals electromagnètics de transmissió de dades dels satèl·lits, així com els missatges que s'hi comuniquen [20] [23] [49]. A més es descriu el protocol de comunicació de dades entre receptors GPS i altres aparells electrònics.

4.4.1. Tipus de senyals dels satèl·lits

Els satèl·lits es comuniquen amb la superfície de la Terra mitjançant senyals de la regió de ràdio de l'espectre electromagnètic. Sobre un senyal principal s'emeten diversos senyals portadors (*carriers*) amb freqüències diferents dins l'anomenada banda L de l'espectre radioelèctric, que és la que presenta una major transparència atmosfèrica.

Els principals senyals portadors s'anomenen L1 i L2, amb freqüències diferents. Sobre ells es modula, codificada en binari, la informació necessària per al funcionament del sistema i per al càlcul de posicions.

4.4.2. Missatges enviats pels satèl·lits

- El codi NM (*Navigation Message*, que es podria traduir com Missatge de Navegació) viatja modulats al senyal L1 i és captat per tots els receptors. Conté l'almanac i l'efemèride.
- El codi C/A (*Coarse Acquisition*, que es podria traduir com Adquisició Imprecisa) viatja modulats al senyal L1 i és captat per tots els receptors. Conté informació temporal precisa.

- El codi P (*Precise*, traduït com a Precís) viatja modulat en el conjunt dels senyals L1 i L2. També conté informació temporal precisa, però permet un increment molt notable en la precisió del sistema i en la velocitat de medicció.

4.4.3. Protocol de comunicacions dels receptors GPS

Molts receptors GPS permeten l'intercanvi d'informació amb altres dispositius o fins i tot un PC mitjançant el protocol NMEA 0183 o el més modern (encara que menys utilitzat) NMEA 2000 [55].

4.4.3.1. El protocol NMEA

Aquest treball es centrarà en l'estàndard NMEA 0183 [56] [57] [58]. És un protocol de comunicacions sèrie amb format ASCII que defineix com es transmeten sentències de dades de fins a 80 caràcters des d'un emissor a un o varis receptors.

- Cada missatge comença amb un caràcter de dòlar.
- Els següents dos caràcters són el prefix d'identificació de l'emissor, que són GP per a aparells GPS (tot i que hi ha un gran número de prefixos).
- Els tres caràcters següents identifiquen el tipus de missatge.
- A continuació segueix una sèrie de camps que depenen del missatge, delimitats per comes.
- Per a tancar el missatge hi ha un caràcter asterisc i dos dígitos de suma de verificació, encara que en alguns tipus de missatges poden no aparèixer.
- El missatge acaba amb dos caràcters especials: retorn de carro i canvi de línia (<CR><LF>).

A la Taula 2 es resumeix el protocol NMEA, on els signes d'interrogació indiquen un caràcter alfanumèric:

Inici	ID	Tipus	Camps	Suma	Final
\$??	???	,?...?,	*??	<CR><LF>

Taula 2 – Protocol NMEA

4.4.3.2. El missatge GLL

D'entre els possibles missatges NMEA destaca el que comunica una posició en latitud i longitud i el tems de la mesura, identificat com GLL. Té el següent format:

```
$GPGLL,11111.11,a,yyyyy.yy,b,hmms.ss,c,d*zz<CR><LF>
```

11111.11 és la latitud, segons el format indicat més avall.

a pot valer N (Nord) o S (Sud).

yyyyy.yy és la longitud, segons el format indicat més avall.

b pot valer E (Est) o W (Oest).

hmms.ss és l'hora UTC de la mesura, segons el format indicat més avall.

c és el valor de l'indicador d'estat. Pot valer A (dades vàlides) o V (invàlides).

d és el valor de l'indicador de mode. Normalment serà A (dades automàtiques).

zz és el valor de la suma de control.

4.4.3.3. Format de la latitud i la longitud

La longitud i la latitud s'expressen com *zzzzz.zz*, on els dos dígits a l'esquerra del punt decimal són els minuts, la resta de dígits a l'esquerra són els graus de la mesura i els decimals a la dreta del punt decimal són les dècimes de minut.

En resum: *aaabb.bb*, on *aaa* són els graus de la mesura i *bb.bb* els minuts.

4.4.3.4. Format del temps

El temps s'expressa com *hhmmss.ss*, on *hh* són les hores, *mm* els minuts i *ss.ss* els segons (amb precisió de dos dígits) en temps UTC⁷.

4.4.3.5. Exemples de missatges GLL

Val a dir que la implementació pràctica pot diferir de l'estàndard, com es pot comprovar als següents exemples, presos de [57]:

```
$GPGLL,3751.65,S,14507.36,E*77
```

Latitud: 37° 51,65' Sud

Longitud: 145° 07,36' Est

```
$GPGLL,4916.45,N,12311.12,W,225444,A
```

Latitud: 49° 16,45' Nord

Longitud: 123° 11,12' Oest

Hora: 22:54:44 UTC

4.5. Receptors GPS

En funció de les dades que poden llegir els receptors GPS s'aconsegueixen diverses precisions. Així doncs els receptors es poden classificar de la següent forma [23]:

- **Navegadors convencionals:** són receptors que llegeixen el codi C/A (veure secció 4.4.2) de la portadora L1 (veure secció 4.4.1), i alguns fins i tot poden rebre senyals diferencials. S'aconsegueixen precisions d'entre 7 i 25 metres en localització plana, amb errors de fins a 16 metres en altimetria. Poden convertir les coordenades GPS (amb *datum* WGS84) a *datum* locals. Permeten representar cartografia senzilla en pantalla, establir rutes i trobar localitzacions amb programes de navegació assistida. Són els receptors més estesos.
- **Receptors de C/A avançats:** a més d'analitzar el codi C/A disposen de lectura limitada de la fase de la portadora L1, a més de permetre la utilització de metodologies diferencials amb subscripcions a serveis via satèl·lit. S'aconsegueixen precisions al voltant d'un metre en temps real.

Receptors geodèsics amb medicació de fase sobre L1: treballen amb l'ona portadora L1, acumulant informació per al seu posterior processament a oficina. Al postprocessament s'arriben a precisions centimètriques a curtes distàncies i mètriques a distàncies moderades. Si es volen utilitzar metodologies diferencials cal utilitzar targes d'expansió.

- **Receptors geodèsics de doble freqüència:** treballen combinant les dues portadores (L1 i L2), la qual cosa els permet reduir els errors de propagació a l'atmosfera, resoldre moltes ambigüitats i

⁷ El temps UTC (*Universal Time Coordinated*) és una mesura de temps universal basada en rellotges atòmics. A la Península Ibèrica el temps oficial s'obté sumant una o dues hores al temps UTC (en horari d'hivern o d'estiu, respectivament).

aconseguir un rendiment molt alt. Es poden aconseguir precisions per sota del centímetre per a distàncies curtes i per sota del metre a mitja distància. En combinació amb estacions de referència (i tècniques diferencials) es pot arribar a assolir precisions de l'ordre del centímetre en temps real.

CAPÍTOL 5: GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0

En aquest capítol es fa una descripció del producte GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0, el SIG que s'utilitzarà a la implementació del cas pràctic. Es tractaran els següents aspectes:

- **Descripció general:** s'introdueix GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 i es descriuen les seves principals característiques.
- **Elements del sistema:** s'expliquen els elements que componen GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0.
- **Programació d'aplicacions:** s'exposen les diferents possibilitats a l'hora de programar amb GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0.

5.1. Descripció general

GEOMEDIA és una gamma de SIG fabricats per la casa INTERGRAPH. La seva edició més completa és la PROFESSIONAL. Actualment es troba a la versió 6.0, que serà la que s'utilitzarà per a la implementació del cas pràctic. Aquest SIG funciona en entorns MICROSOFT WINDOWS.

GEOMEDIA PROFESSIONAL [59] es concentra en la captura, edició, anàlisi i generació d'informes de dades. Els seus àmbits d'aplicació són l'administració, la indústria i l'educació.

Les seves característiques principals són:

- Incorporació de dades de diverses fonts, en diferents formats i amb distintes cartografies.
- Suport per a fitxers CAD (AUTOCAD, MICROSTATION i altres).
- Visualització i anàlisi de dades en el seu format original (no és necessària la seva conversió).
- Emmagatzematge d'informació gràfica i alfanumèrica en bases de dades relacionals estàndard.
- Inclusió d'avançades eines d'anàlisi espacial.
- Eines i serveis per al treball cooperatiu.
- Funcions per al treball web.
- Integració amb aplicacions ofimàtiques, especialment amb MICROSOFT OFFICE. Generació d'informes i creació de presentacions.
- Possibilitat de personalitzar totalment l'entorn de treball.
- Incorporació de noves funcions mitjançant programació en llenguatges com VISUAL BASIC, VISUAL C++ o DELPHI, entre altres. Integració amb els entorns de desenvolupament integrats més utilitzats.

5.2. Elements del sistema

Els SIG construïts amb el sistema GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 estan formats per diversos elements, que es descriuen a continuació. Abans, però, cal definir el concepte d'entitat i de classe d'entitat.

Les entitats són els elements amb què es treballa en un SIG i que reflecteixen objectes del món real. Disposen de dades geomètriques (tals com la posició, la superfície, i altres) i atributs alfanumèrics.

Les classes d'entitat són les agrupacions de les entitats d'un mateix tipus. Cada entitat pertany a una classe d'entitat, i és una realització del concepte que aquesta representa.

Per exemple, una classe d'entitat pot anomenar-se "Ciutats", que està composta de les entitats "Barcelona", "Tarragona", "Girona", "Lleida"... De forma similar a la programació orientada a objectes, les classes d'entitat equivaldrien a les classes, i les entitats als objectes.

5.2.1. GeoWorkspace⁸

El *GeoWorkspace* constitueix la definició del SIG i de l'entorn on es realitza tot el treball d'importació, manipulació i visualització de dades. S'emmagatzema a un fitxer amb extensió ".gws" que es pot traspasar a altres ordinadors. Un *GeoWorkspace* té les següents característiques:

- Guarda la informació sobre les connexions als magatzems de dades (descrits a la següent secció) des dels que obté i als quals guarda les dades i la informació que alimenta el SIG.
- S'hi defineixen les entitats i les classes d'entitat del SIG, tot i que després es guardaran als magatzems de dades.
- Pot disposar de diverses finestres de mapa, que són les que mostren la representació geogràfica de les entitats.
- També pot disposar de diverses finestres de dades, que són les que mostren les dades alfanumèriques de les entitats o les que se'n deriven.
- Inclou informació sobre el sistema de coordenades que utilitza, l'escala i el tipus de visualització, així com de les unitats de mesura que fa servir a les diverses magnituds. En particular es poden importar sistemes de coordenades definits per l'usuari.
- S'hi poden emmagatzemar diverses llegendes que organitzen la distribució de les entitats geomètriques a una finestra de mapa (visualització, ordre de dibuix, color de la vora i del fons, entre altres).
- S'hi guarden les definicions de les consultes i operacions que es fan sobre les dades: zones d'influència, mapes temàtics, relacions i atributs funcionals, entre altres.

5.2.2. Magatzems de dades

Els magatzems de dades són fonts de dades, tant geogràfiques com descriptives, que són utilitzades per un *GeoWorkspace* per a emmagatzemar i accedir a informació tant geogràfica com alfanumèrica. Un *GeoWorkspace* pot treballar amb diversos magatzems simultàniament, cadascun d'ells en el seu propi format, i mostrar les dades en un sol mapa integrat. D'altra banda, un magatzem de dades té existència pròpia, i per tant pot ser utilitzat per diversos *GeoWorkspaces*.

Un tret característic de GEOMEDIA PROFESSIONAL és la seva capacitat per a treballar amb les bases de dades relacionals més habituals. En particular la seva base de dades de referència és MICROSOFT ACCESS.

A la Taula 3 es poden veure els diferents tipus de magatzems als que GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 és capaç d'accedir [62]. Val a dir que només MICROSOFT ACCESS, ORACLE i SQL permeten

⁸ Tot i ser ortogràficament incorrecta, s'ha preferit mantenir el format de majúscules i minúscules per coherència amb la documentació de GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0.

l'escriptura de dades. A la resta l'accés és de només lectura, la qual cosa fa impossible l'actualització de dades, tot i que es poden importar les dades de les entitats a GEOMEDIA i guardar-les en un altre magatzem. D'altra banda, la creació automàtica de nous magatzems només és possible amb MICROSOFT ACCESS.

Tipus de connexió
Access
Access només lectura
Fitxer de text
ArcInfo
ArcView
CAD
FRAMME
GeoMedia SmartStore
MapInfo
MGDM
MGE
MGSM
ODBC Tabular – Només lectura
Servidor SQL – Lectura i escriptura
Servidor SQL – Només lectura
Model d'objectes d'Oracle

Taula 3 – Tipus de connexions a GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0

Al llarg d'aquest treball s'utilitzaran connexions de lectura i escriptura a magatzems de tipus MICROSOFT ACCESS. A una base de dades d'aquest tipus GEOMEDIA crea un conjunt de taules que contenen metadades; és a dir, dades sobre les dades que s'emmagatzemaran, com ara propietats sobre els atributs, informació geogràfica, claus primàries de les taules i altres.

5.3. Programació d'aplicacions

Hi ha tres formes de programar aplicacions de GEOMEDIA PROFESSIONAL [6] [63], que es descriuen a continuació:

5.3.1. Aplicació personalitzada

Es pot crear una aplicació a mida utilitzant els objectes, controls i llibreries de GEOMEDIA PROFESSIONAL que es necessitin per a realitzar les funcions desitjades. Són programes independents que no es comuniquen amb l'aplicació GEOMEDIA instal·lada al sistema.

Aquest procediment és especialment indicat quan no es necessita tota la funcionalitat de GEOMEDIA PROFESSIONAL.

5.3.2. Aplicació client

Una alternativa és crear una aplicació client de GEOMEDIA PROFESSIONAL, ja que aquest és un servidor COM de MICROSOFT WINDOWS. Es pot accedir a GEOMEDIA mitjançant instàncies d'objectes importats de les llibreries del SIG.

Aquesta via és recomanada quan es vol treballar de forma externa amb GEOMEDIA PROFESSIONAL; és a dir, amb una aplicació separada.

5.3.3. Comandes personalitzades

La forma de programar amb GEOMEDIA PROFESSIONAL que s'utilitzarà al llarg d'aquest treball consisteix en crear comandes personalitzades mitjançant l'assistent de comandes de GEOMEDIA PROFESSIONAL, que quedaran totalment integrades dins el SIG.

Aquest assistent s'instal·la com un complement (*Add-in*) de MICROSOFT VISUAL STUDIO, i genera el codi necessari dins un projecte de programació, construeix una llibreria dinàmica (DLL) i registra la comanda per a la seva utilització a GEOMEDIA PROFESSIONAL.

L'entorn de desenvolupament que s'ha triat per a crear aplicacions de tipus comanda per a GEOMEDIA PROFESSIONAL ha estat MICROSOFT VISUAL STUDIO 6.0. Des d'aquest entorn cal primer activar l'assistent de comandes des del menú *Complementos* → *Administrador de complementos...* com es mostra a la Figura 7. Llavors serà accessible des del menú *Complementos* → *GeoMedia Command Wizard...*

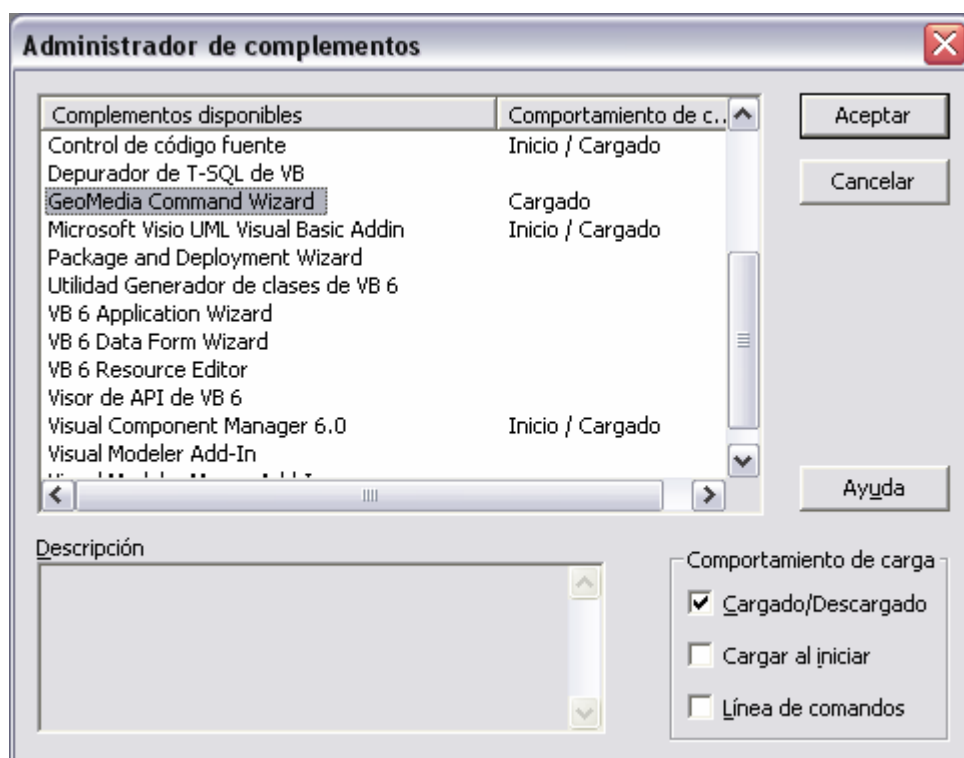


Figura 7 – L'administrador de complementos de VISUAL BASIC 6.0

La generació de la llibreria que conté la comanda i el registre a l'aplicació GEOMEDIA PROFESSIONAL tenen lloc en executar la comanda *Archivo* → *Generar Prova.dll* (suposant que la comanda s'anomena "Prova").

Per tal que la comanda es mostri a la interfície gràfica del SIG cal accedir al menú *Herramientas* → *Personalizar* de GEOMEDIA PROFESSIONAL per tal d'incloure-la a un menú o a una barra d'eines. Les comandes així creades es poden trobar a la categoria *Custom*. La Figura 8 mostra la inclusió d'una comanda personalitzada dins la interfície de GEOMEDIA.

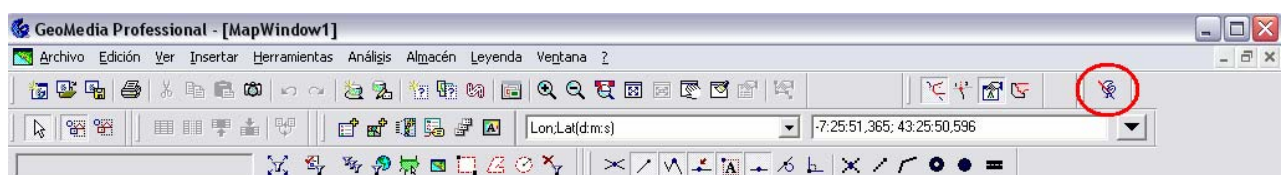


Figura 8 – Incorporació d'una comanda a mida dins la interfície de GEOMEDIA

CAPÍTOL 6: CONSTRUCCIÓ DEL SIG

L'objectiu d'aquest treball és dissenyar i construir un SIG de Catalunya i del programari necessari que permetin gestionar i emmagatzemar les rutes fetes per camins no cartografiats dins l'àmbit d'una empresa de sanitat animal, com s'ha explicat a la secció 1.1.

En aquest capítol es descriu el procés de construcció del SIG sobre el que s'implementarà la solució al problema de l'empresa de sanitat animal. Inclou l'obtenció de dades cartogràfiques, la creació del SIG, la càrrega de les dades obtingudes i la configuració de visualització de les dades, segons les seccions que es descriuen a continuació:

- **Cerca de dades cartogràfiques:** es descriu la cerca de dades cartogràfiques, i les que proporciona l'Institut Cartogràfic de Catalunya.
- **Creació del SIG:** s'exposa el procés de creació del SIG i de la seva parametrització en base a les dades obtingudes.
- **Base municipal de Catalunya:** s'explica la incorporació al SIG de les dades de la base municipal de Catalunya.
- **Imatge de fons:** es descriu la importació de la imatge de fons utilitzada al SIG.
- **Dades georeferenciades de granges:** s'explica el procés d'adquisició de dades georeferenciades de les granges de la província de Lleida.
- **Altres classes d'entitat:** s'exposen les classes d'entitat que s'han creat per a la resolució del problema.
- **Configuració de la visualització:** es descriu la configuració de la llegenda del SIG per a la visualització dels diferents objectes i entitats segons l'escala.

6.1. Cerca de dades cartogràfiques

El primer pas per a la construcció del SIG és l'obtenció de dades cartogràfiques de base en l'àmbit de Catalunya que en situïn els principals elements polítics (caps de municipi, termes municipals, comarques, etc...). Tot i que és possible obtenir-les a partir de diverses fonts, en l'àrea de Catalunya l'entitat que n'ofereix més i de millor qualitat és l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) [32].

L'ICC es va crear l'Octubre de 1982 com a organisme autònom comercial, industrial i financer de la Generalitat de Catalunya. L'any 1995 l'ICC va assumir la gestió del Servei Geològic de Catalunya, i des del Juny de 1997 és una entitat de dret públic de la Generalitat de Catalunya.

L'ICC té com a finalitat dur a terme les tasques tècniques de desenvolupament de la informació cartogràfica i geològica. Dins d'aquest context, l'ICC realitza serveis cartogràfics de caràcter oficial i d'interès general per a la Generalitat de Catalunya, a més d'assumir treballs sol·licitats per qualsevol entitat pública o particular. Des dels seus inicis es preocupa de disposar d'una cartografia de qualitat.

L'ICC proporciona diversos tipus de productes, que es poden classificar segons el format (paper o digital), el cost (de pagament o gratuïts) i l'accés (centres d'atenció al públic, servei *web* o lliure

descàrrega). La lliure descàrrega de productes es pot efectuar incloent tot el territori d'una sola vegada o bé full a full mitjançant una pàgina *web* (és a dir, porcions del territori).

6.2. Creació del SIG

Un cop obtingudes les dades cartogràfiques cal crear un SIG que s'adeqüi a elles i que respongui a les necessitats plantejades en aquest treball.

S'ha creat un *GeoWorkspace* de GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0, utilitzant la plantilla UTM 31, la qual estableix com a sistema de coordenades projectades l'UTM al fus 31, i com a *datum* de referència l'europeu de 1950 (l'ED50). Aquestes coordenades són les mateixes de utilitza l'ICC a les dades que proporciona [68].

S'ha creat un magatzem de dades per a guardar la informació de les entitats que conformaran el SIG. S'ha utilitzat MICROSOFT ACCESS com a base de dades i la plantilla normal (normal.mdt) per a configurar-la. La connexió a aquest magatzem s'ha anomenat "prodriguezmad".

S'ha creat una finestra de mapa, que s'ha anomenat "Catalunya", i una llegenda, amb el nom "Llegenda". També s'ha creat un menú i barres d'eines amb les comandes programades (l'apartat Capítol 7: Disseny de l'aplicació proporciona més detalls sobre elles).

Al diàleg *Ver* → *Sistema de coordenadas del GeoWorkspace...* s'han modificat les unitats per a les magnituds de longitud i de superfície, per tal d'utilitzar quilòmetres i quilòmetres quadrats, respectivament, per a coincidir amb la cartografia de l'ICC .

Finalment, al diàleg *Ver* → *Propiedades de visualización...* s'ha fixat l'escala nominal de la finestra de mapa a 1:1.000.000 (tal com recomana la documentació de la cartografia de l'ICC [68]). L'escalat dels estils s'ha fixat en "vista", ja que el SIG es visualitzarà a pantalla i no s'imprimirà (i per tant interessa mantenir les dimensions a qualsevol escala). La Figura 9 il·lustra la configuració realitzada.

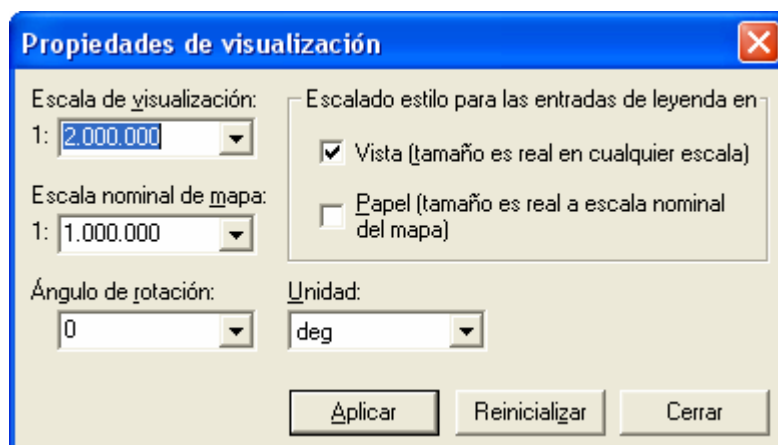


Figura 9 – Propietats de visualització del SIG

Després d'aquestes operacions es disposa d'un SIG amb una configuració adequada a les dades cartogràfiques de què es disposa, però que encara no les ha incorporat.

6.3. Base municipal de Catalunya

Un cop creat el SIG és necessari incorporar-li les dades geogràfiques obtingudes.

D'especial interès per a la realització d'aquest treball és la base municipal a escala 1:1.000.000 de l'ICC [32]. Inclou la representació gràfica de la divisió oficial administrativa de Catalunya, així com les modificacions de delimitació publicades al Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya (DOGC) fins a la

data d'actualització (2006). La base conté les línies divisòries de municipi i comarca, els noms oficials i els codis DOGC, i la localització i el nom oficial dels caps de municipi i de comarca. Catalunya és recoberta en un sol full i l'estructura de les dades és vectorial.

Dels tres formats disponibles (DXF d'AUTOCAD, DWG de MICROSTATION i SHP d'ESRI) s'ha triat aquest darrer degut a la facilitat d'importació de les dades des de GEOMEDIA.

Primer cal exportar el sistema de coordenades del *GeoWorkspace* seleccionant a GEOMEDIA l'opció de menú *Ver* → *Sistema de coordenadas del GeoWorkspace...* → *Guardar como*.

A continuació cal definir un arxiu de configuració de magatzem per a les dades que es volen importar. Per a fer-ho cal utilitzar l'eina *Definir archivo de configuración de almacén*, que es troba al menú *Inicio* → *Geomedia Professional* → *Utilidades*. Cal indicar la ubicació dels fitxers de dades cartogràfiques, el fitxer de sistema de coordenades generat al primer pas i el nom del fitxer de sortida.

Finalment cal crear un connexió a GEOMEDIA al menú *Almacén* → *Conexión nueva...* on s'ha d'indicar la carpeta d'ubicació de les dades cartogràfiques i l'arxiu de configuració de magatzem creat al segon pas.

Com a resultat d'aquestes operacions la base municipal ja és accessible des de GEOMEDIA. Disposa de les agrupacions de dades indicades a la Taula 4 (el contingut de les quals es detalla a la secció 7.1 – Definició del model de dades), que s'han convertit en classes d'entitat i desat al magatzem de dades principal del SIG.

Nom de les dades	Descripció	Entitat creada
bm1000mv33ppr09	Polígons de província	Província
bm1000mv33pcr09	Polígons de comarca	Comarca
bm1000mv33tcr09	Textos de comarca	Nom_comarca
bm1000mv33pnr09	Polígons de municipi	Terme_municipal
bm1000mv33lmr09	Límits municipals	Limit_municipi
bm1000mv33cmr0	Caps de municipi	Cap_municipi
bm1000mv33tmr09	Textos de municipi	Nom_cap_municipi

Taula 4 – Conversió de cartografia a classes d'entitat

6.4. Imatge de fons

S'ha inclòs una imatge de fons de Catalunya per a facilitar la localització i la cerca dels elements que componen el SIG, i que complementa la base municipal ja incorporada a aquest. La imatge és una fotografia en format JPEG dels satèl·lits *LandSat* i s'ha obtingut a partir dels serveis *web* de l'ICC.

La imatge s'ha introduït al SIG per mitjà de la comanda de menú *Insertar* → *Imagen interactiva...* S'ha creat una nova classe d'entitat ("Fons_Landsat") per a emmagatzemar-la. En acceptar el diàleg es pot indicar la ubicació de la imatge, així com les seves dimensions. En realitat no té importància la seva situació, ja que a continuació s'adaptarà a la cartografia ja importada.

Per a fer-ho cal indicar una sèrie de punts de control tant a la cartografia georeferenciada com a la imatge *raster* que no ho està. GEOMEDIA realitzarà llavors l'ajustament de la imatge al sistema de coordenades del SIG.

Com que la imatge de satèl·lit no disposa de límits polítics només hi ha la línia de la costa per a referenciar-la geogràficament. Per aquesta raó s'han escollit tres punts de control representatius de la costa catalana: el cap de Creus, el port de Barcelona i el delta de l'Ebre, tal com es mostra a la Figura 10.

El resultat és un acoblament molt ajustat de la imatge *raster* no referenciada geogràficament a la cartografia vectorial que sí ho està. Naturalment, l'ajustament no és perfecte, i no seria convenient utilitzar-lo per a tasques de precisió, però compleix amb la seva funció estètica i d'ajuda a la cerca.

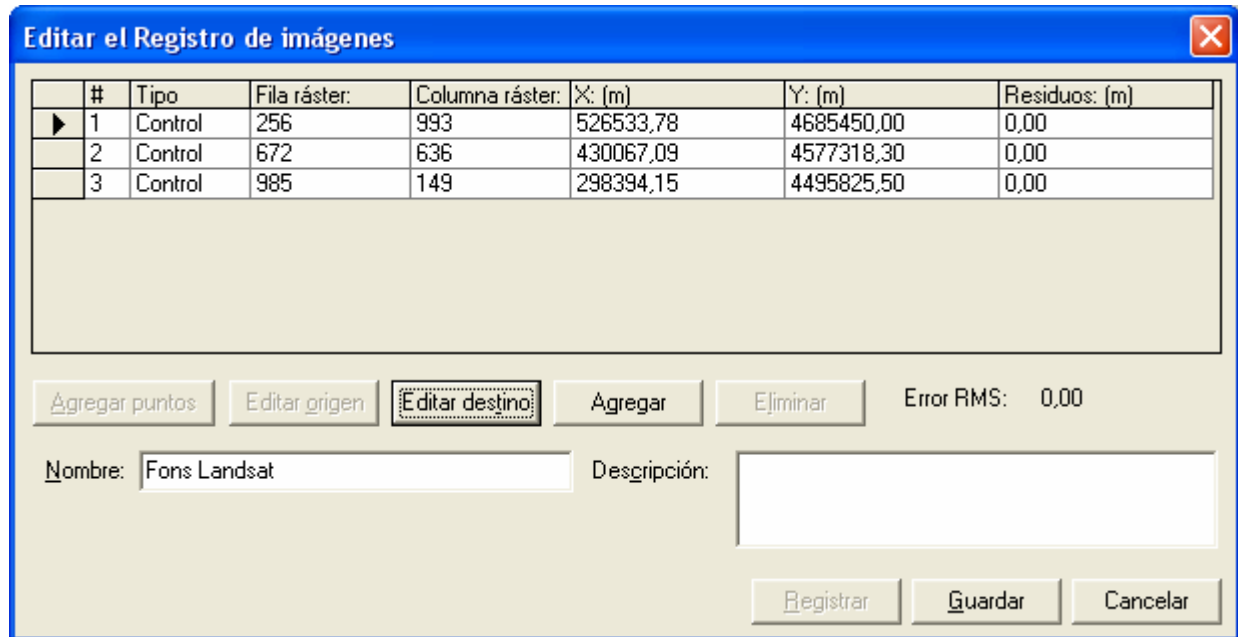


Figura 10 – Punts de control a la imatge per satèl·lit

Després de realitzar aquestes operacions es disposa d'un SIG carregat amb dades cartogràfiques dels municipis de Catalunya i amb una imatge de fons que en facilita la localització i cerca, tal com es mostra a la Figura 11.

6.5. Dades georeferenciades de granges

Per a la realització d'aquest treball s'ha proporcionat un conjunt de dades georeferenciades de granges com les que visita l'empresa veterinària dins la província de Lleida. Les rutes que ha de tractar el SIG van des de la central de l'empresa a una granja i també van d'una granja a una altra. És necessari, per tant, incorporar-les al SIG per tal de complementar la cartografia ja importada.

Per a fer-ho cal crear una nova connexió de tipus fitxer de text al menú *Almacén* → *Conexión nueva...* de GEOMEDIA. Al diàleg que apareix cal indicar el fitxer de text que conté les dades, un fitxer de definició de format de text i un fitxer de sistema de coordenades.

El fitxer de text s'ha convertit a format separat per comes (CSV) des de MICROSOFT EXCEL, i s'han incorporat els camps necessaris segons la definició de la classe d'entitat "Punt_terminal", que contindrà les dades de les granges: descripció i tipus de punt terminal (que serà 'G', de granja). La secció 7.1 (Definició del model de dades) descriu aquesta entitat amb més detall.

El fitxer de definició de format de text s'ha creat amb l'eina *Definir formato de servidor de archivos de texto*, que es troba al menú *Inicio* → *Geomedia Professional* → *Utilidades*. Ha estat necessari indicar les característiques del fitxer CSV generat abans amb MICROSOFT EXCEL.

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica
 Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

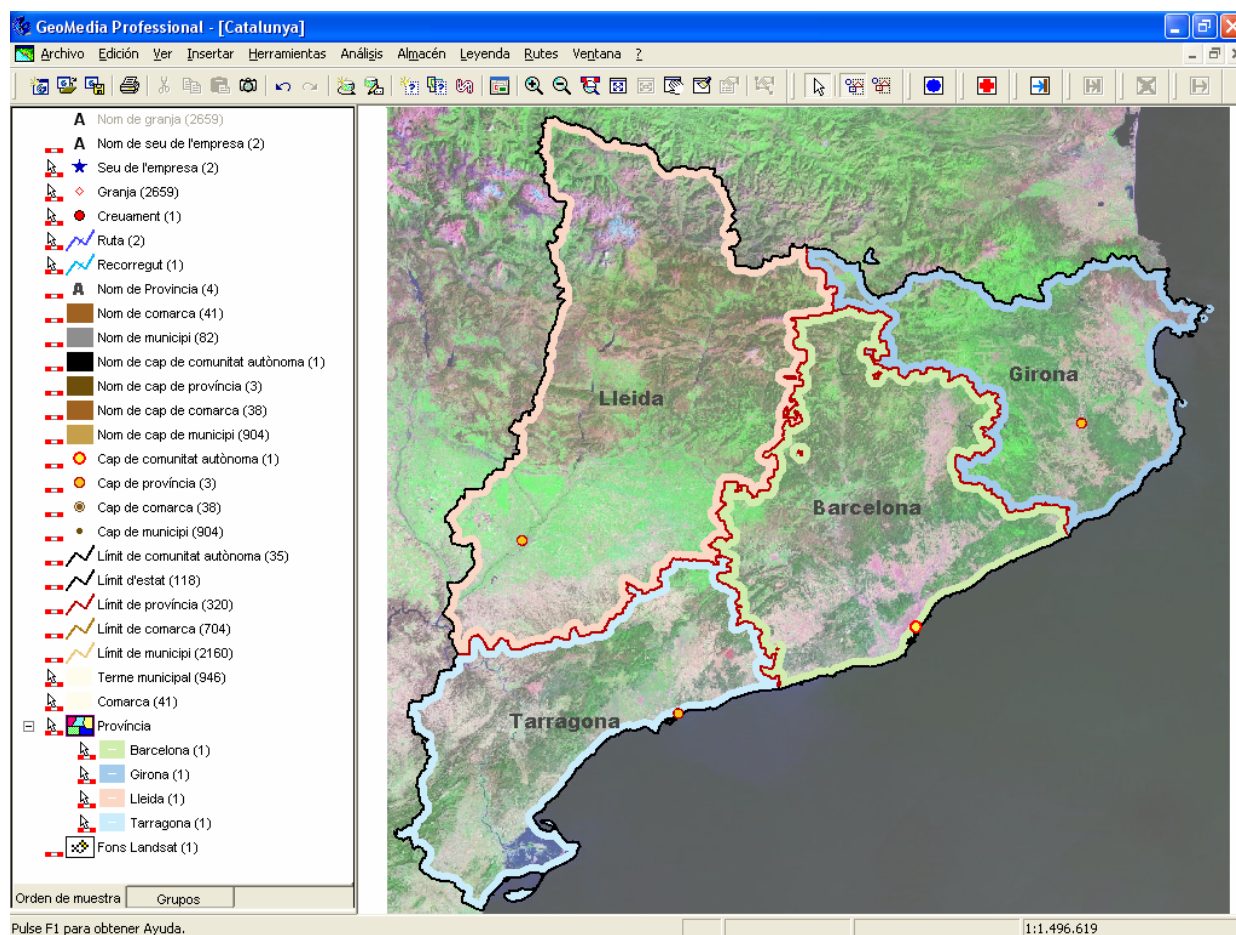


Figura 11 – El SIG vist a una escala alta

A l'hora de fer la importació de dades s'han detectat algunes granges amb coordenades verticals errònies. Els pocs casos on això s'ha produït s'han corregit eliminant el guió i afegint un zero a la posició de més a la dreta de la coordenada vertical. La Taula 5 mostra un exemple on la coordenada ha passat de 4-63306 a 4633060.

MARCA_OFI	CODI_POSTA	DESCRIPCIO	TIPUS	UTM_X	UTM_Y	Y corregida
0340BA	25125	0340BA	G	304174	4-63306	4633060

Taula 5 – Coordenades errònies de granges

6.6. Creació d'altres classes d'entitat

Després d'importar al SIG totes les dades disponibles cal crear la resta de classes d'entitat, que contindran la informació necessària per a l'empresa de sanitat animal. La secció 7.1 (Definició del model de dades) les descriu amb més detall.

Com ja s'ha exposat a la secció 0 les granges s'han inclòs a l'entitat "Punt_terminal". Aquesta entitat inclou també les seus de l'empresa veterinària.

Altres entitats que tenen representació al SIG són les següents:

- "Recorregut": representa el recorregut realitzat per un veterinari durant un dia, i que s'incorpora al SIG mitjançant fitxers de text.
- "Ruta": representa el camí entre dos punts terminals (entre dues granges o entre una seu de l'empresa i una granja).

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica

Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

- “Creuament”: representa un punt on dues rutes es creuen, i es pot passar d'una a l'altra.
- “Creuament_no_confirmat”: representa un creuament entre dues rutes que encara ha de ser confirmat per l'usuari del SIG.

Amb aquestes operacions queda completada la importació de dades al SIG i la creació de classes d'entitat.

6.7. Configuració de la visualització

Un cop finalitzada la importació de dades i la creació de classes d'entitats, i donada l'elevada densitat d'alguns dels elements que componen el SIG, s'ha hagut de configurar la llegenda per tal de mostrar només alguns d'ells en cada escala per a una millor visualització.

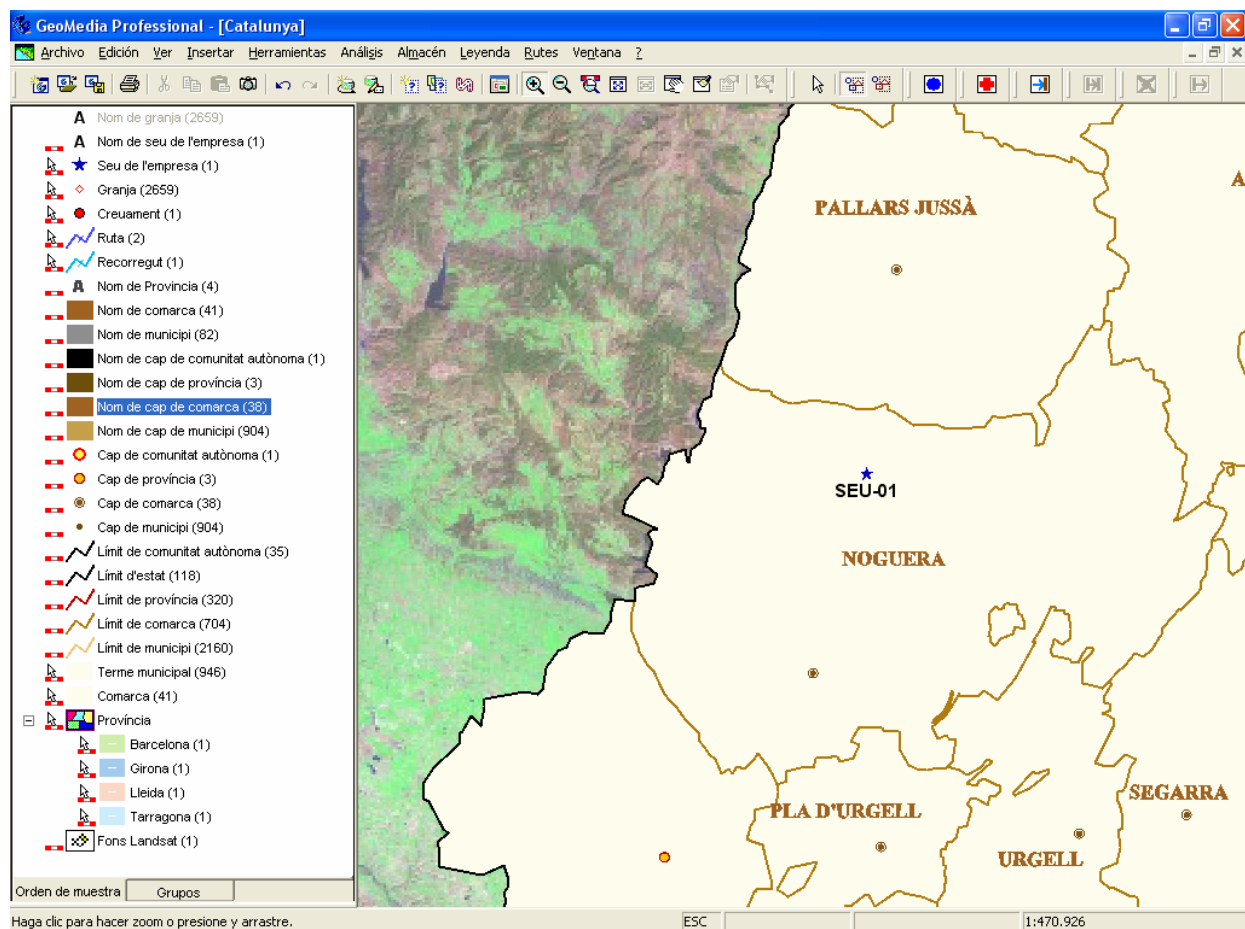

































Figura 12 – El SIG vist a una escala mitjana

A la Taula 6 es mostra cadascuna de les entrades de llegenda, la seva simbologia, els rangs mínim i màxim de visualització, si es poden seleccionar i el seu origen (consulta o entitat). L'ordre de mostra a pantalla és l'indicat a la taula.

Moltes de les entrades de la llegenda s'han obtingut a partir de consultes sobre les entitats bàsiques. D'aquesta forma el SIG mostrat a la finestra de mapa disposa d'una major riquesa representativa.

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica
 Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

Entrada	Símbol	Rang mín.	Rang màx.	Selecció	Origen
Creuament no confirmat		1:1	1:1000.000.000	No	Entitat
Nom de granja		1:1	1:100.000	No	Consulta
Nom de seu de l'empresa		1:1	1:600.000	No	Consulta
Seu de l'empresa		1:1	1:600.000	Sí	Consulta
Granja		1:1	1:300.000	Sí	Consulta
Creuament		1:1	1:300.000	Sí	Entitat
Ruta		1:1	1:300.000	Sí	Entitat
Recorregut		1:1	1:300.000	Sí	Entitat
Nom de província		1:600.000	1:1000.000.000	No	Consulta
Nom de comarca		1:1	1:600.000	No	Consulta
Nom de municipi		1:1	1:300.000	No	Consulta
Nom de cap de comunitat autònoma		1:1	1:300.000	No	Consulta
Nom de cap de província		1:1	1:300.000	No	Consulta
Nom de cap de comarca		1:1	1:300.000	No	Consulta
Nom de cap de municipi		1:1	1:300.000	No	Consulta
Cap de comunitat autònoma		1:1	1:1000.000.000	No	Consulta
Cap de província		1:1	1:1000.000.000	No	Consulta
Cap de comarca		1:1	1:600.000	No	Consulta
Cap de municipi		1:1	1:300.000	No	Consulta
Límit d'estat		1:1	1:1000.000.000	No	Consulta
Límit de comunitat autònoma		1:1	1:1000.000.000	No	Consulta
Límit de província		1:1	1:1000.000.000	No	Consulta
Límit de comarca		1:1	1:600.000	No	Consulta
Límit de municipi		1:1	1:300.000	No	Consulta
Terme municipal		1:1	1:300.000	Sí	Entitat
Comarca		1:1	1:600.000	Sí	Entitat
Província de Barcelona		1:1	1:1000.000.000	Sí	Consulta
Província de Girona		1:1	1:1000.000.000	Sí	Consulta
Província de Lleida		1:1	1:1000.000.000	Sí	Consulta
Província de Tarragona		1:1	1:1000.000.000	Sí	Consulta
Fons LandSat		1:300.000	1:1000.000.000	No	Entitat

Taula 6 – Configuració de la llegenda

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica

Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

Per a representar els textos del SIG s'han triat les entitats poligonals contingudes a la base municipal, ja que així es recomana a la documentació de la cartografia de l'ICC [68]. Les excepcions a això són "Nom de província" (que no és a la base), "Nom de granja" i "Nom de seu de l'empresa". Totes tres entrades s'han extret per mitjà d'etiquetes i consultes. La configuració és tal que es poden mostrar els indicadors de posició d'un cap municipi, comarca, província o comunitat i no visualitzar el text associat per ser massa petit. S'ha preferit això per a facilitar la cerca de localitats en base a les capitals i ciutats més grans.

Totes les entrades de llegenda es representen segons l'escala del mapa, amb l'excepció de "Creuament no confirmat" i de "Nom de granja". La primera es representa sempre, però no apareix a la llegenda perquè es una entitat temporal per (veure la secció 7.2.5 – Creuaments de rutes). La segona no es representa perquè la densitat existent de granges fa impossible la seva correcta visualització.

Cal fer una menció especial a l'entitat "Punt_terminal", la qual es representa sempre, ja que és necessària per al bon funcionament de les comandes que s'han programat, però no és visible a la llegenda ni a la finestra de mapa.

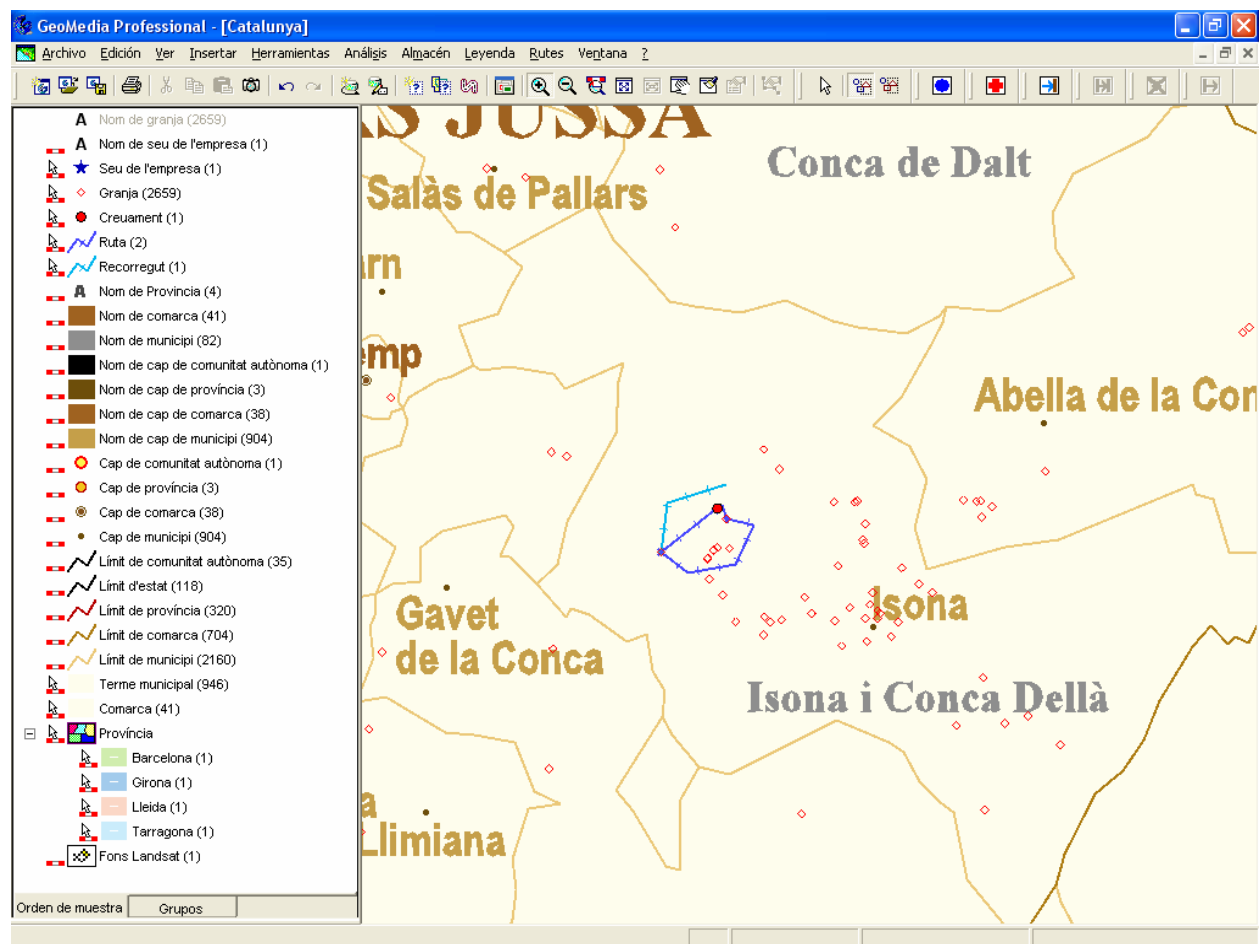


Figura 13 – El SIG vist a una escala baixa

Es mostra la visualització del SIG a una escala alta, a una de mitjana i una de baixa a la Figura 11, a la Figura 12 i a la Figura 13, respectivament.

CAPÍTOL 7: DISSENY DE L'APLICACIÓ

En aquest capítol s'exposa el disseny de l'aplicació, considerant aquesta com el conjunt format pel magatzem de dades, les classes d'entitat i les diverses comandes programades amb MICROSOFT VISUAL BASIC 6.0 sobre GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0, i que satisfà els requeriments de l'empresa de sanitat animal.

En particular es tracten els següents aspectes:

- **Definició del model de dades:** s'exposa el contingut de les taules que conformen el magatzem de dades. Per tant, també queden definits els atributs de les classes d'entitat que componen el SIG.
- **Definició de les comandes d'aplicació:** s'expliquen les comandes programades per a estendre les funcionalitats de GEOMEDIA i satisfer els requeriments de l'aplicació.

7.1. Definició del model de dades

El model de dades utilitzat per a la gestió de rutes no cartografiades és el que es mostra a la Figura 14, on totes les taules mostrades corresponen a classes d'entitat amb excepció de "Veterinari". En aquestes taules (que s'anomenaran taules de l'aplicació) les relacions han estat introduïdes a MICROSOFT ACCESS, incloent integritat referencial, i actualització i esborrat en cascada. Això és necessari per a evitar inconsistències en les dades en cas de canvis en les entitats base.

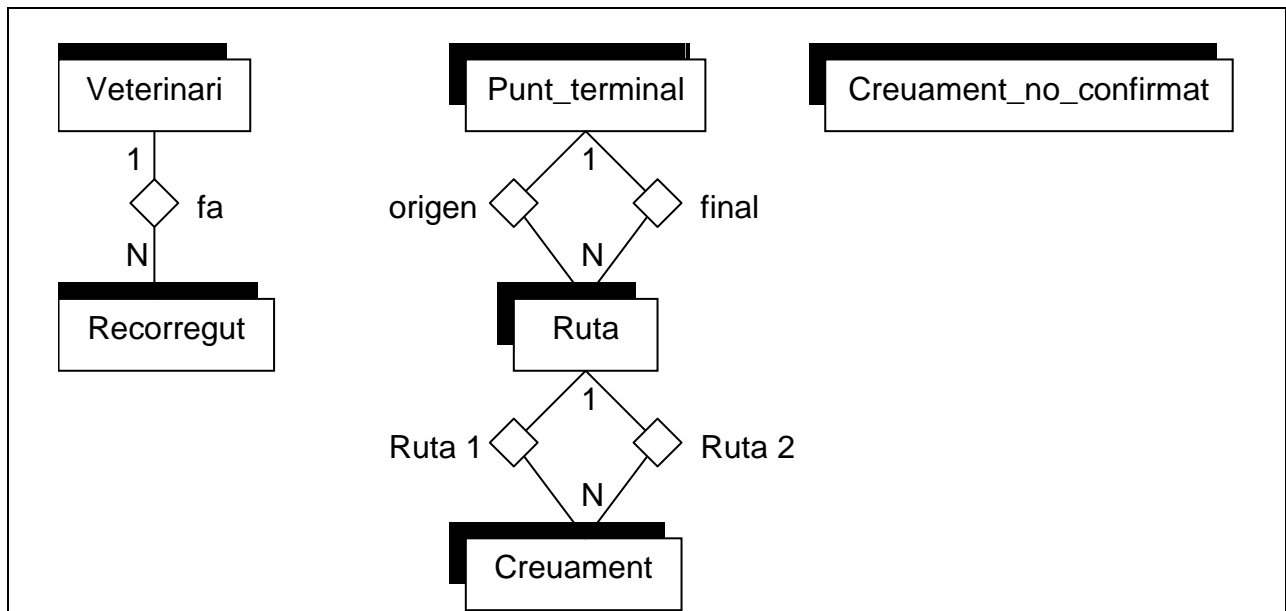


Figura 14 – Model entitat-relació de les taules de l'aplicació

Per exemple, esborrar un punt terminal com una granja provoca l'eliminació de les rutes que hi comencen o acaben. Si no fos així quedarien rutes sense origen o final, provocant inconsistències al sistema. Malgrat tot, el sistema no garanteix que es mantingui la connectivitat a nivell gràfic en cas de canvi de posició de qualsevol de les entitats (és a dir, que s'ha de fer de forma manual).

És més interessant el cas del canvi de nom d'un veterinari, que es veu automàticament reflectit als recorreguts que ha efectuat.

A les taules de dades cartogràfiques ("Província", "Comarca", "Nom_comarca", "Terme_municipal", "Nom_cap_municipi", "Limit_municipi", "Cap_municipi" i "Fons_Landsat"), no incloses a la figura anterior, no s'han establert relacions entre elles, respectant així el format original d'importació.

7.1.1. Taules de l'aplicació

A continuació es detallen els camps de les taules de l'aplicació. En els camps de geometria s'indica el tipus (puntual, lineal...) i els camps clau s'indiquen subratllant-los.

- **Veterinari:** taula auxiliar amb els noms dels veterinaris. Tot i que seria més convenient des del punt de vista del rendiment i de l'economia d'espai que hi hagués una clau numèrica, d'aquesta forma es pot visualitzar el nom del veterinari directament a GEOMEDIA, en veure les propietats de l'entitat "Recorregut". La taula té un únic camp:

- Nom: text de 100 caràcters.

- **Recorregut:** taula d'entitat que emmagatzema el seguit de mesures GPS puntuals durant un dia de treball d'un veterinari. Cada cotxe de l'empresa de sanitat animal incorpora un receptor de trames GPS i una PDA (*Personal Data Assistant*) equipada amb un programari que captura les trames GPS rebudes, en períodes de 10 segons. La PDA exporta aquestes trames GPS en un fitxer pla cap a l'ordinador de sobretaula, que constitueixen els recorreguts.

S'ha preferit una clau autonumèrica a una clau composta per Dia i Veterinari, perquè d'aquesta forma el sistema és robust a circumstàncies com l'existència de múltiples recorreguts en un sol dia per part d'un veterinari. Els camps que formen la taula són:

- ID1: enter llarg autonumèric.

- Dia: data. És el dia en què es va efectuar el recorregut.

- Veterinari: text de 100 caràcters. Clau externa cap a Veterinari. És la persona que va efectuar el recorregut.

- Geometry: polilínia (de tipus lineal).

- **Punt terminal:** taula d'entitat que representa els punts terminals d'un recorregut o una ruta. Poden ser de dos tipus: seus de l'empresa de sanitat animal o granges. S'ha preferit una clau textual a una de numèrica per a facilitar la visualització de l'origen i el final de les rutes a GEOMEDIA en veure les propietats d'aquestes entitats. La taula està formada pels camps:

- Marca: text de 6 caràcters. Marca oficial de la granja. En cas de ser una seu de l'empresa serà un identificador intern.

- Codi_postal: text de 5 caràcters.

- Descripció: text de 250 caràcters.

- Tipus: text de 1 caràcter. Pot ser 'S' per a una seu de l'empresa o 'G' per a una granja.

- Geometry: de tipus puntual.

- **Ruta:** taula d'entitat que guarda una ruta entre dos punts terminals (és a dir, entre una seu de l'empresa i una granja, o bé entre dues granges). Les rutes provenen dels recorreguts s'identifiquen pel seu origen i pel seu destí i poden ser exportades a navegadors GPS per a indicar un camí. S'ha preferit una clau autonumèrica a una de composta per l'origen i el final, ja que així es poden mantenir més d'una ruta entre dos punts (per exemple, una ruta podria ser millor que una altra a l'hivern, degut a gelades). La taula està formada pels camps:

- ID1: enter llarg autonumèric.
- Origen: text de 6 caràcters. Clau externa cap a Punt_terminal. Marca oficial de l'origen de la ruta.
- Final: text de 6 caràcters. Clau externa cap a Punt_terminal. Marca oficial del final de la ruta.
- Geometry: polilínia (de tipus lineal).
- **Creuament**: taula d'entitat per a emmagatzemar nodes de creuament entre rutes. Encara que es tallin en el mapa, dues rutes no tenen perquè encreuar-se físicament (degut a l'existència de ponts, túnels, etc.). Aquesta entitat identifica els punts on es pot passar d'una ruta a una altra, i d'un camí a un altre. No es comprova l'existència de punts de creuament previs (és a dir, que podrien duplicar-se). Té els següents camps:
 - ID1: enter llarg autonumèric.
 - Ruta1: enter llarg. Clau externa cap a Ruta. És la primera de les dues rutes que es creuen.
 - Ruta2: enter llarg. Clau externa cap a Ruta. És la segona de les dues rutes que es creuen.
 - Geometry: de tipus puntual.
- **Creuament_no_confirmat**: taula d'entitat per a emmagatzemar els punts on dues rutes es creuen i es pot passar efectivament de l'una cap a l'altra. És de caràcter temporal, ja que les entitats s'hi insereixen automàticament quan l'usuari ho demani, per tal de mostrar-les-hi i esborrar-les posteriorment. Està formada pels camps:
 - ID1: enter llarg autonumèric.
 - Geometry: de tipus puntual.

7.2. Definició de les comandes d'aplicació

A continuació s'expliquen les comandes programades per a estendre les funcionalitats de GEOMEDIA i satisfer els requeriments de l'aplicació:

- Creació de punts terminals.
- Gestió de dades de veterinaris.
- Importació de recorreguts als SIG.
- Transformació de recorreguts a rutes.
- Creuaments de rutes.
- Exportació de rutes.

En general s'ha implementat una comanda d'aplicació per a atendre la creació d'una nova entitat. Per a la seva edició o eliminació s'ha confiat en les eines pròpies del SIG, tal com es descriu en cada cas.

Per a facilitar l'activació de les comandes des de GEOMEDIA s'ha creat un seguit de barres d'eines (Figura 15a) i un nou menú, anomenat Rutes (Figura 15b).

La Figura 16 mostra un esquema conceptual de les comandes de l'aplicació, que descriu el cicle de vida de les dades del sistema. Tant els recorreguts com les rutes són direccionals: tenen un origen i un final que en marquen el sentit. Malgrat això, aquest es pot revertir en dues ocasions: quan es converteix part d'un recorregut en ruta i quan s'exporta una ruta.

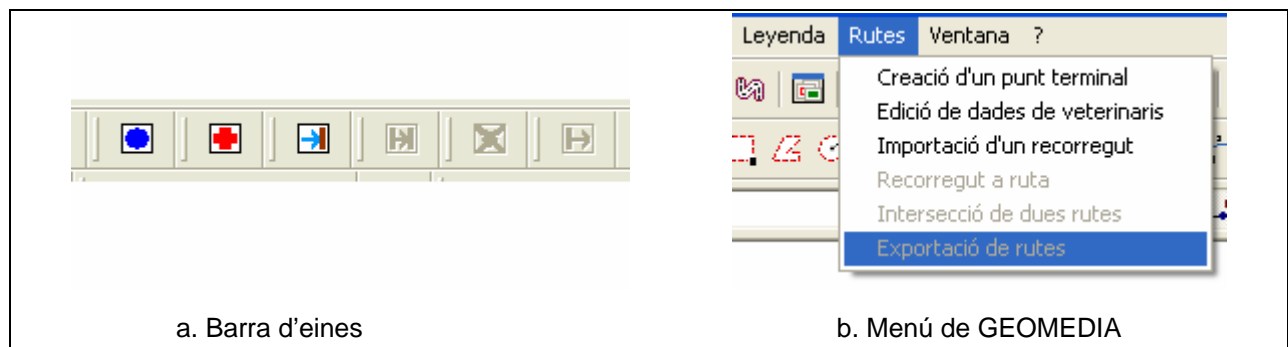


Figura 15 – Barres d'eines (a) i menú de GEOMEDIA (b) amb les comandes programades

Per a la creació de les comandes s'ha utilitzat l'assistent de comandes de GEOMEDIA PROFESSIONAL. En tots els casos s'han creat icones personalitzades per a distingir millor les comandes, i s'han triat condicions personalitzades d'habilitació.

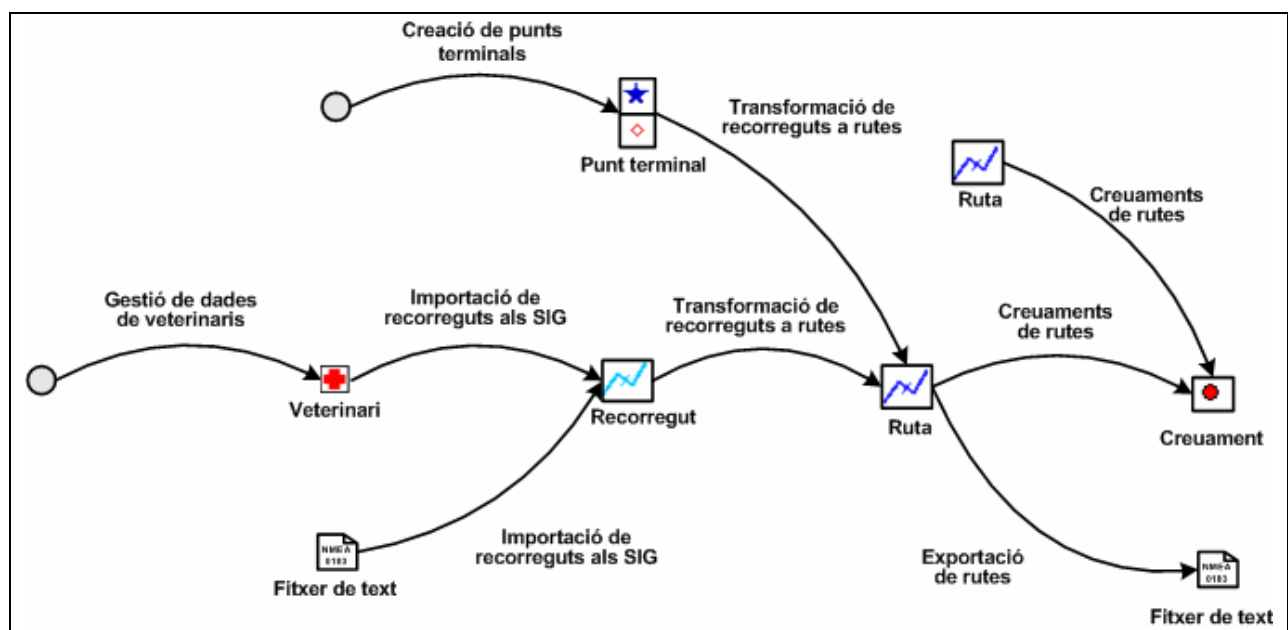


Figura 16 – Esquema conceptual de les comandes de l'aplicació

Per a la implementació de les comandes s'han realitzat les següents assumpcions generals:

- El nom del camp d'emmagatzematge binari de la geometria dins totes les taules del magatzem de dades conserva el seu nom original: *Geometry*.
- Els temps són UTC⁹ a tot arreu. És a dir, no cal realitzar conversions degudes a canvis de l'hora oficial.
- Hi ha un únic usuari utilitzant de forma simultània el SIG i el magatzem de dades. Les comandes no s'han programat tenint en compte la concurrència de diversos usuaris. Per exemple, es fa una càrrega de dades procedents de la base de dades a un diàleg i no es comprova si hi ha hagut canvis quan es confirma la realització d'accions sobre aquestes dades.

Per tal que les comandes apareguin habilitades i es puguin activar cal que es compleixin les següents condicions:

⁹ *Universal Time Coordinated*, temps universal coordinat. És la zona horària que es pren com a referència temporal mundial [21]

- Existeix una connexió anomenada "prodriguezmad".
- La connexió està oberta en mode de lectura i escriptura.
- La finestra activa és una finestra de mapa.


A més, les següents comandes tenen requeriments d'habilitació addicionals:

- Transformació de recorreguts a rutes → només hi ha un objecte seleccionat a la finestra de mapa, i és de tipus recorregut.
- Creuaments de rutes → només hi ha dos objectes seleccionats a la finestra de mapa, i ambdós són de tipus ruta.
- Exportació de rutes → hi ha algun objecte seleccionat a la finestra de mapa, i tots els objectes seleccionats són de tipus ruta.

Amb aquestes condicions es garanteix que l'execució de les comandes és segura i es pot evitar fer comprovacions addicionals quan es produeix la seva activació.

7.2.1. Creació de punts terminals

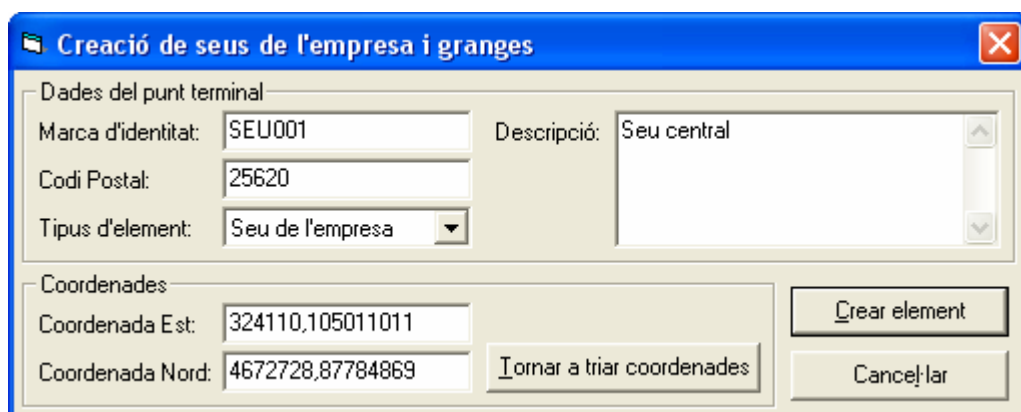
7.2.1.1. Descripció de la comanda

A través de la icona  o del menú *Rutes* → *Creació d'un punt terminal* de GeoMedia es pot accedir a la comanda que permet la introducció d'una seu de l'empresa de sanitat animal o d'una granja visitada pels seus veterinaris. Aquests elements constitueixen l'origen o el final de recorreguts i rutes, i per tant és important gestionar correctament la seva posició.

El primer pas consisteix a triar un punt dins la finestra de mapa, geoposicionant el punt terminal que es crearà. Les coordenades apareixen a una finestra de diàleg (que es mostra a la Figura 17) que permet:

- Indicar la marca d'identificació del punt terminal (la oficial segons el DOGC si és una granja, o un identificador intern en cas de ser una seu de l'empresa).
- Introduir el codi postal del punt terminal.
- Indicar-ne el tipus: seu de l'empresa o granja.
- Escriure una descripció del punt terminal.

Les coordenades UTM de desplaçament horitzontal i vertical apareixen en sengles quadres de text, que permeten la seva edició per a afinar la posició del punt terminal. Addicionalment es pot tornar a triar la posició del punt terminal a la finestra de mapa, que es veu reflectida en els quadres de text de les coordenades.



El diàleg "Creació de seus de l'empresa i granges" presenta els següents camps i botons:

- Dades del punt terminal:**
 - Marca d'identitat:
 - Codi Postal:
 - Tipus d'element:
 - Descripció:
- Coordenades:**
 - Coordenada Est:
 - Coordenada Nord:
- Botons: i
- Botó:

Figura 17 – Diàleg de creació de punt terminal

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica

Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

A l'hora de crear el punt terminal es realitza una verificació de les dades del diàleg. Si el procés de creació ha tingut èxit es mostra un missatge de finalització correcta, i, si no ha estat així, una notificació d'error. Després de crear-lo, el punt terminal apareix en pantalla, ja sigui com a seu de l'empresa o com a granja. La Figura 18 mostra la creació d'una seu de l'empresa.

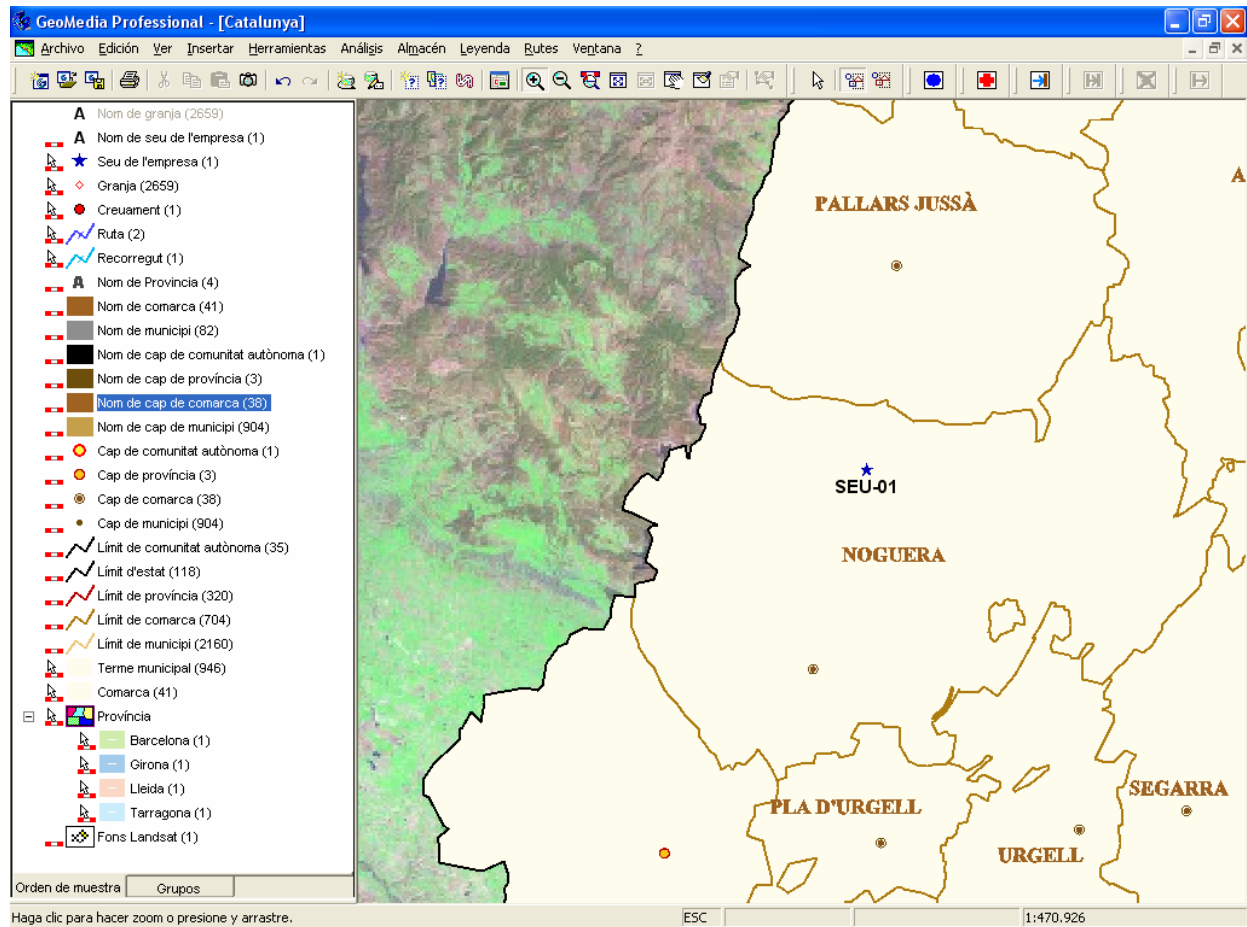


Figura 18 – Nou punt terminal a la pantalla de mapa

7.2.1.2. Detalls de la comanda

Aquesta comanda, anomenada `CrPuntTerminal`, disposa d'un formulari no modal que no es mostra (`frmCrPuntTerminal`), però que sempre està actiu i que realitza l'escolta d'events sobre la finestra de mapa de l'aplicació mentre s'executa la comanda.

Quan es produeix un esdeveniment de localització (fent clic amb el ratolí) a la finestra de mapa, el formulari `frmCrPuntTerminal` mostra a l'usuari un altre de modal, anomenat `frmDiallegCreacio`, que conté tots els camps que s'han d'omplir per a crear un punt terminal, mostrat a la Figura 17.

```
Finalitzacio = False
frmDiallegCreacio.tbX.Text = worldX
frmDiallegCreacio.tbY.Text = worldY
frmDiallegCreacio.tbMarca.Text = Marca
frmDiallegCreacio.tbCodiPostal.Text = CodiPostal
frmDiallegCreacio.tbDescripcio.Text = Descripcio
frmDiallegCreacio.cbTipus.ListIndex = Tipus
frmDiallegCreacio.Show 1
```

Des d'aquest formulari es pot tornar a seleccionar una localització per al punt terminal. Per a fer-ho es descarrega el formulari i es permet que l'usuari marqui una ubicació a la finestra de mapa, moment en

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica

Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

què es torna a mostrar el formulari frmDiallegCreacio amb els valors que emmagatzemava abans d'amagar-se. Això és possible mitjançant variables públiques al formulari frmCrPuntTerminal:

```
frmCrPuntTerminal.Finalitzacio = False
frmCrPuntTerminal.Marca = Me.tbMarca.Text
frmCrPuntTerminal.CodiPostal = Me.tbCodiPostal.Text
frmCrPuntTerminal.Descripcio = Me.tbDescripcio.Text
frmCrPuntTerminal.Tipus = Me.cbTipus.ListIndex
Unload Me
```

Quan es vulgui crear el punt terminal es realitza una comprovació sobre els valors dels camps del formulari frmDiallegCreacio (per tal que no provoquin errors) i es crea un objecte de tipus PointGeometry (és a dir, un objecte amb geometria de tipus puntual). Aquest és emmagatzemat a la taula Punt_terminal de la base de dades per mitjà d'un objecte de tipus OriginatingPipe, amb l'ajut d'un objecte GeometryStorageService per a la geometria:

```
Set punt = modCrPuntTerminal.gobjGeoApp.CreateService("GeoMedia.PointGeometry")
punt.Origin.X = CDb1(Me.tbX.Text)
punt.Origin.Y = CDb1(Me.tbY.Text)
punt.Origin.Z = 0
Set objGeometryStorageService = modCrPuntTerminal.gobjGeoApp.CreateService
("GeoMedia.GeometryStorageService")
Set objConnection = modCrPuntTerminal.gobjGeoApp.Document.Connections("prodriguezmad")
objConnection.CreateOriginatingPipe objOriginatingPipe
objOriginatingPipe.Table = "Punt_terminal"
Set objGRecordset = objOriginatingPipe.OutputRecordset
objGRecordset.AddNew
objGeometryStorageService.SetGeometry objGRecordset.GFields("Geometry"), punt
objGRecordset.GFields("Marca").Value = Me.tbMarca.Text
objGRecordset.GFields("Codi_postal").Value = Me.tbCodiPostal.Text
objGRecordset.GFields("Descripcio").Value = Me.tbDescripcio.Text
objGRecordset.GFields("Tipus").Value = IIf(Me.cbTipus.ListIndex = 1, "G", "S")
objGRecordset.Update
```

Per a mostrar el nou punt terminal cal recarregar la base de dades del SIG, cosa que fa perdre la connexió a totes les entrades de la llegenda, les quals s'han de recarregar. S'utilitza una funció recursiva que permet la càrrega de grups i subgrups a la llegenda:

```
objconn.ReloadDatabase
RecarregarLlegenda
```

Un cop fet això la variable pública del formulari frmCrPuntTerminal anomenada Finalitzacio pren el valor cert i es descarrega el formulari frmDiallegCreacio. El formulari frmCrPuntTerminal, al seu torn, indica a la classe de la comanda (anomenada CrPuntTerminal) que ha finalitzat cridant al mètode Deactivate. Això es fa per mitjà d'una variable de tipus CrPuntTerminal el valor de la qual es fixa a l'hora d'activar la comanda. El codi de desactivació és el següent:

```
If Me.Finalitzacio Then
    Me.Controlador.Deactivate
End If
```


Per a modificar els atributs del punt terminal es poden utilitzar les eines pròpies del SIG: fent doble clic a la seva representació a la finestra de mapa, o triant l'opció *Propiedades del conjunto de selección* del seu menú contextual s'accedeix a un diàleg que ho permet.

Les entitats creades es poden moure i eliminar també amb les eines pròpies del SIG, triant les icones adequades de la barra d'eines *Colocación y edición*, o bé seleccionant l'opció de menú *Edición* → *Geometría* → *Mover* per a la primera operació i *Edición* → *Entidad* → *Eliminar* per a la segona.

Cal tenir en compte, però, que el moviment d'un punt terminal no comporta en cap cas el moviment de les rutes o recorreguts que hi passen (s'ha de fer de forma manual). També cal considerar que l'esborrat d'un punt terminal comporta l'eliminació de les rutes que hi facin referència, degut al comportament de les relacions a la base de dades.

7.2.2. Gestió de dades de veterinaris

7.2.2.1. Descripció de la comanda

Amb la icona  o amb el menú *Rutes* → *Edició de dades de veterinaris* de GeoMedia s'activa la comanda de gestió de dades dels veterinaris de l'empresa de sanitat animal, que després són els que efectuen els recorreguts importats als SIG. Un quadre de diàleg (Figura 19) mostra una llista dels veterinaris i permet realitzar les següents accions sobre ells:

- Crear un nou veterinari.
- Editar el nom dels veterinaris seleccionats a la llista del diàleg inicial.
- Esborrar els veterinaris seleccionats a la llista del diàleg inicial.

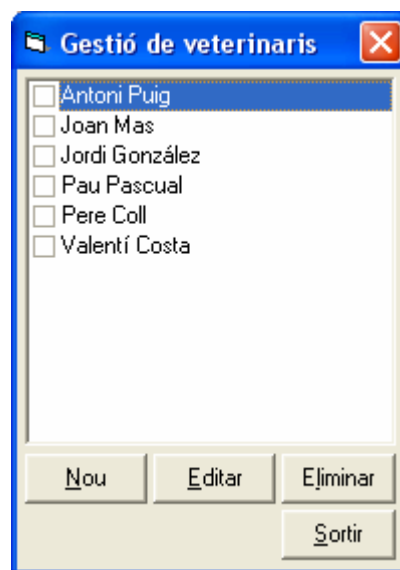


Figura 19 – Formulari de gestió de veterinaris

Cal tenir en compte, però, que l'edició o esborrat d'un veterinari comporta la modificació o esborrat, respectivament, dels recorreguts associats a ell.

7.2.2.2. Detalls de la comanda

Aquesta comanda, anomenada *EdicioVeterinaris*, mostra un formulari modal (*frmEdicioVeterinaris*) quan s'activa.

Sempre que el formulari es visualitzi es manté una variable de tipus *GRecordset* amb connexió a la taula *Veterinari*, per tal de poder crear, editar o esborrar fàcilment dades de veterinaris sense haver-la d'obrir i tancar en cada operació.

Durant la càrrega del formulari *frmEdicioVeterinaris* s'utilitza un objecte *OriginatingPipe* per a accedir a les dades emmagatzemades a la taula *Veterinari*:


```
objConnection.CreateOriginatingPipe objOP
objOriginatingPipe.Table = "Veterinari"
Set objGRecordset = objOriginatingPipe.OutputRecordset
Me.lstVeterinaris.Clear
objGRecordset.MoveFirst
Do While Not objOriginatingPipe.OutputRecordset.EOF
    Me.lstVeterinaris.AddItem objGRecordset ("Nom").Value
    objGRecordset.MoveNext
Loop
```

Tant en la creació com en l'edició de veterinaris es verifica que el nou nom no existeixi per tal de no provocar errors en la base de dades.

L'edició i l'eliminació es poden efectuar sobre una selecció de múltiples veterinaris i requereix confirmació de l'usuari per a cadascun d'ells. Com que pot afectar a altres elements visibles del SIG (recorreguts), la realització d'aquestes operacions provoca una recàrrega de la llegenda de la finestra de mapa quan es descarrega el formulari (tal com es descriu al punt 7.2.1.2).

7.2.3. Importació de recorreguts al SIG

7.2.3.1. Descripció de la comanda

A través de la icona  o del menú *Rutes* → *Importació d'un recorregut* de GeoMedia s'invoca la comanda que permet la importació i emmagatzematge dels recorreguts efectuats pels veterinaris durant cada dia, de forma que un supervisor el pugui revisar.

El formulari que apareix en activar la comanda (Figura 20) necessita la introducció de la ruta on es troba el fitxer a importar. Aquest és el fitxer de text amb format NMEA 0183 que conté les lectures GPS realitzades per la PDA del veterinari al llarg d'un dia de feina.

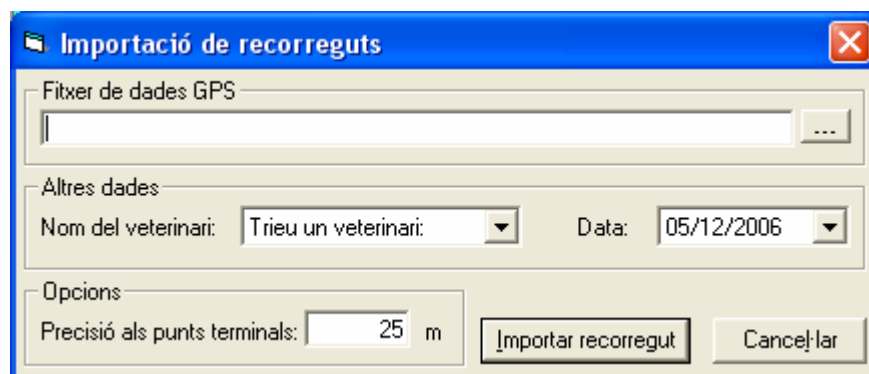


Figura 20 – Diàleg d'importació de recorreguts

També cal indicar el veterinari que ha realitzat el recorregut, així com la data en què s'ha fet (tot i que el protocol NMEA, explicat a la part teòrica, permet indicar l'hora de les lectures GPS no s'hi inclou la data).

Un recorregut comença i acaba a un punt terminal (generalment una seu de l'empresa), i pot passar per diversos punts terminals (granges i possiblement alguna seu de l'empresa). Com que les lectures GPS de localització poden no coincidir exactament amb les posicions dels punts terminals s'ha d'indicar també quina és la precisió amb què aquestes es consideraran. Qualsevol lectura GPS que indica una distància a un punt terminal menor que la indicada per la precisió és considerada igual a la posició d'aquest.

A l'hora d'importar un recorregut es realitza una verificació de les dades del diàleg. Si el procés ha tingut èxit es mostra un missatge de finalització correcta, i, si no ha estat així, una notificació d'error. Després d'importar-lo el recorregut apareix en pantalla, tal com es mostra a la Figura 21.

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica

Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

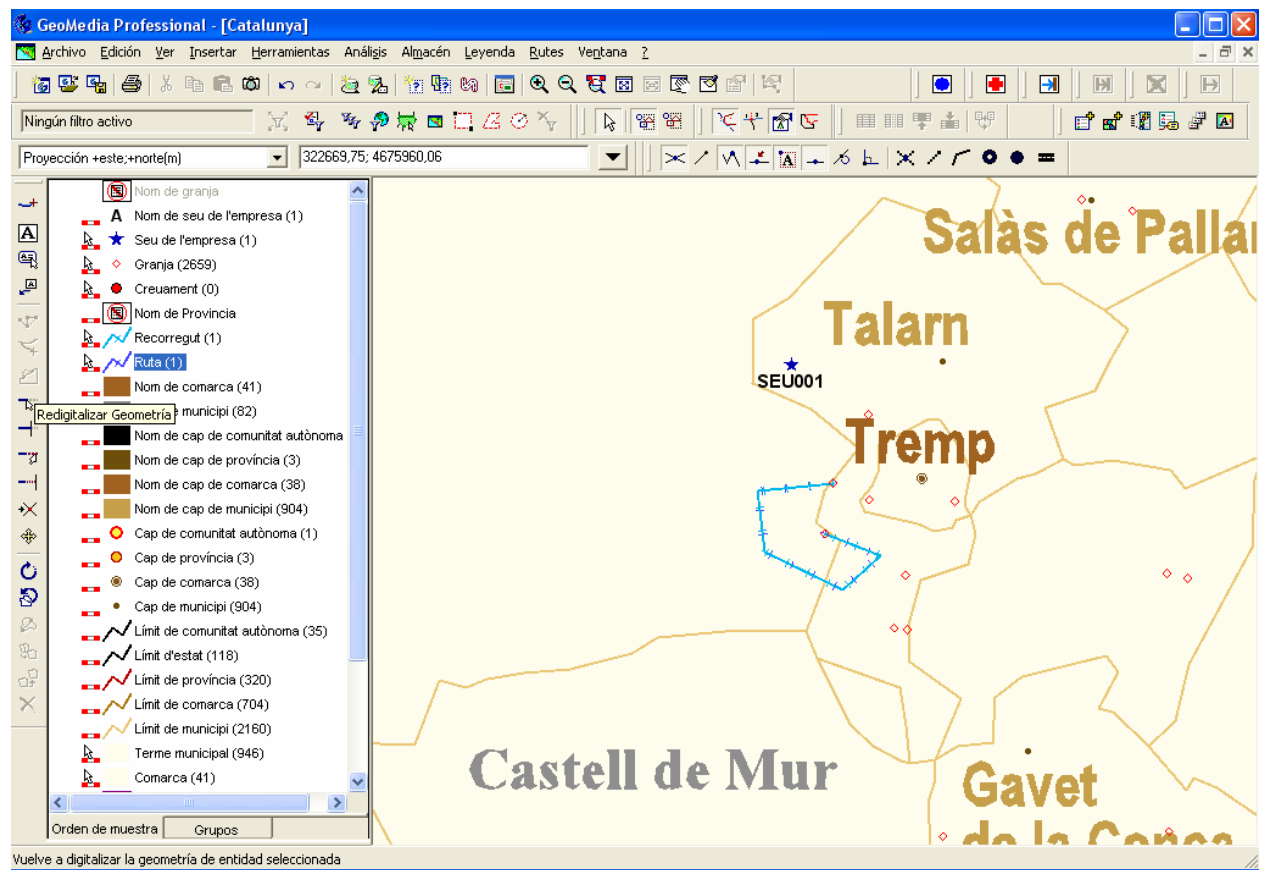


Figura 21 – Recorregut importat a la pantalla de mapa

7.2.3.2. Detalls de la comanda

Aquesta comanda, anomenada `ImpRecorregut`, mostra un formulari modal (`frmImpRecorregut`) quan s'activa. Durant la càrrega es carreguen les dades emmagatzemades a la taula `Veterinari` s'introdueixen a la caixa de selecció del formulari. Com a data per defecte s'utilitza l'actual (dia, mes i any), sense considerar el temps (hora, minut i segon), ja que la precisió requerida és de dies. Per a la gestió de rutes al formulari s'utilitza el quadre de diàleg comú d'obrir fitxer per mitjà d'un objecte `CommonDialog`:

```
Me.cmdlgoBrirFitxer.ShowOpen  
Me.tbFitxer.Text = Me.cmdlgoBrirFitxer.FileName
```

Quan es vulgui realitzar la importació del recorregut al SIG es realitza una comprovació sobre els valors dels camps del formulari (per tal que no provoquin errors).

Per al tractament del fitxer de text en format NMEA 0183 s'utilitza un objecte `TextStream`, obtingut amb un objecte `FileSystemObject` de la llibreria `Microsoft Scripting Runtime`:

```
Dim fso As New Scripting.FileSystemObject  
Dim ts As Scripting.TextStream  
Set ts = fso.OpenTextFile(Me.tbFitxer.Text)
```

Cada línia del fitxer és un punt, les coordenades del qual s'han obtingut per mitjà d'una lectura GPS, i que és transformat de la següent forma:

- Lectura des del fitxer de text de les coordenades del punt. Són les que proporciona l'aparell GPS, és a dir, que són coordenades geogràfiques referides al *datum* WGS84.

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica

Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

- Conversió a coordenades UTM referides al *datum* ED50 per mitjà d'una transformació estàndard de Molodensky, ja que només cal conèixer els *datum* d'entrada i de sortida. Tot i que la transformació demana el *datum* vertical, la tria d'aquest no sembla tenir influència sobre el canvi de coordenades. Malgrat tot s'ha triat l'anomenat UELN9598, d'àmbit europeu. També cal fer conversions entre coordenades projectades i UTM segons sigui necessari. S'utilitzen els objectes `CoordSystem` i `DatumTransformation`, i el codi és el següent:

```
Set objCoordSystem = modImpRecorregut.gobjGeoApp.Document.CoordSystemsMgr.CoordSystem
With objDatumTransformation
    .ModelTypeVal = csdtStandardMolodensky
    .Name = "WGS84 to ED50"
    .ForwardInputSpaceGeodeticDatumVal = csgdWGS84
    .ForwardInputSpaceVerticalDatumVal = csvdUELN9598
    .ForwardOutputSpaceGeodeticDatumVal = csgdEuropean1950
    .ForwardOutputSpaceVerticalDatumVal = csvdUELN9598
    .Direction = csdtdDatum1toDatum2
End With
objDatumTransformation.TransformPoint cspLLO, 1, cspLLO, 2, x, y, z
objCoordSystem.TransformPoint cspLLO, 2, cspENO, 2, x, y, z
```

- Adaptació de les coordenades dels punts importats a seus d'empresa o granges suficientment properes, ja que podria ser que les lectures GPS de localització no coincideixin exactament amb la posició dels punts terminals pels quals passa el recorregut. S'utilitzen objectes `SmartLocateService` i `AdvancedSnapService` per a aconseguir-ho.

El primer objecte localitza tots els objectes a una distància de 15 *pixels* del punt importat. Per tant, cal considerar l'escala de la pantalla de mapa qual es realitza la importació del recorregut (si és massa alta es podrien detectar punts erronis, i si és massa baixa es podrien no detectar punts correctes). Per a que això funcioni és necessari que l'entitat "Punt_terminal" es representi a pantalla, encara que no sigui visible.

```
Set objSmartLocateService = modImpRecorregut.gobjGeoApp.CreateService
    ("GeoMedia.SmartLocateService")
objSmartLocateService.PixelTolerance = 15
Set objPointGeometry = modImpRecorregut.gobjGeoApp.CreateService
    ("GeoMedia.PointGeometry")
Set objLocatedObjectsCollection = modImpRecorregut.gobjGeoApp.CreateService
    ("GeoMedia.LocatedObjectsCollection")
objPointGeometry.Origin.x = x
objPointGeometry.Origin.y = y
objPointGeometry.Origin.z = z
objSmartLocateService.Locate objPointGeometry,
    modImpRecorregut.gobjGeoApp.ActiveWindow.MapView, objLocatedObjectsCollection
```

D'entre els punts trobats es considera el primer que sigui un punt terminal (si n'hi ha) i amb l'objecte `AdvancedSnapService` es calculen les coordenades que hauria de tenir el punt importat considerant la precisió proporcionada per l'usuari. Intuïtivament, si el punt importat està a una distància menor que la precisió indicada al formulari es prenen les coordenades del punt terminal.

```
Set objAdvancedSnapService = modImpRecorregut.gobjGeoApp.CreateService
    ("Geomedia.AdvancedSnapService")
objAdvancedSnapService.SnapTolerance = Precisio
objAdvancedSnapService.SnapTypes = gmssAllSnaps
For i = 1 To LocObjs.Count
    Set objGeometryObject = LocObjs.Item(i)
    If InStr(1, objGeometryObject.Recordset.Name, "Punt_terminal") Then
        Set objPoint = modImpRecorregut.gobjGeoApp.CreateService("Geomedia.Point")
```



```
objPoint.x = x
objPoint.y = y
objPoint.z = z
If objAdvancedSnapService.SnapToLocatedObject (objGeometryObject,
objPoint,PGeom,SGeom, objPoint,sType,SDist,KPidx,kpTolidx) Then
    x = objPoint.x
    y = objPoint.y
    z = objPoint.z
End If
Exit For
End If
Next
```

Amb cada punt així importat es crea un objecte de tipus `Point` (és a dir, un punt), que és afegit a un objecte de tipus `PolylineGeometry` (és a dir, un objecte amb geometria lineal formada per segments concatenats), que conforma el recorregut. Aquest darrer objecte és emmagatzemat a la taula `Recorregut` de la base de dades.

```
TPoint.x = x
TPoint.y = y
TPoint.z = z
PLine.Points.Add TPoint
```

Per tal de mostrar el nou recorregut a pantalla cal recarregar la base de dades del SIG i totes les entrades de la llegenda (tal com es descriu al punt 7.2.1.2).


Per a modificar els atributs del recorregut es poden utilitzar les eines pròpies del SIG: fent doble clic a la seva representació a la finestra de mapa, o triant l'opció *Propiedades del conjunto de selección* del seu menú contextual s'accedeix a un diàleg que ho permet.

Les entitats creades es poden moure i eliminar també amb les eines pròpies del SIG, triant les icones adequades de la barra d'eines *Colocación y edición*, o bé seleccionant l'opció de menú *Edición* → *Geometría* → *Mover* per a la primera operació i *Edición* → *Entidad* → *Eliminar* per a la segona.

Cal tenir en compte, però, que el moviment d'un recorregut no comporta en cap cas el moviment dels punts terminals pels quals hi passa. També cal considerar que l'esborrat d'un veterinari comporta l'eliminació dels recorreguts que ha efectuat, degut al comportament de les relacions a la base de dades.

7.2.4. Transformació de recorreguts a rutes

7.2.4.1. Descripció de la comanda

Amb la icona  o amb el menú *Rutes* → *Recorregut a ruta* de GeoMedia s'activa la comanda que permet transformar els recorreguts en rutes, incorporant-les així al sistema i permetent la seva gestió. Cal haver seleccionat prèviament un recorregut per a poder activar la comanda.

El diàleg que es mostra (Figura 22) inclou dues llistes dels punts terminals per on passa el recorregut. Una d'elles serveix per a indicar el punt inicial de la ruta, i l'altra per a senyalar-ne el punt final.



Figura 22 – Diàleg de transformació de recorreguts a rutes

No es pot triar el mateix punt inicial i final, però sí que és possible revertir part d'un recorregut escollint un punt final ubicat abans del punt final. A l'hora de transformar un recorregut es verifica que s'han triat els punts inicial final. Si el procés ha tingut èxit es mostra un missatge de finalització correcta, i, si no ha estat així, una notificació d'error.

Un cop es transforma el recorregut en ruta, aquesta es mostra en pantalla.

7.2.4.2. Detalls de la comanda

Aquesta comanda, anomenada `RecorregutARuta`, mostra un formulari modal (`frmRecorregutARuta`) quan s'activa. El recorregut seleccionat es carrega en una geometria lineal (polilínia).

Per a cada punt de la polilínia es fa servir un objecte `SmartLocateService` per a localitzar els objectes a mínima distància (1 *pixel*), dels quals es seleccionen els punts terminals. Per a que això funcioni és necessari que l'entitat "Punt_terminal" es representi a pantalla, encara que no sigui visible.

De cada punt terminal així trobat s'afegeix el valor de l'atribut "Marca" a les dues llistes de selecció del diàleg (punts inicial i final). Les diverses entrades de les marques a les llistes poden estar repetides, però no de forma consecutiva (per tal d'evitar la repetició de valors que no aporten informació addicional). Al vector `ItemData` de les llistes s'emmagatzema el darrer índex dins de la polilínia de cada bloc de repeticions:

Quan es vulgui realitzar la transformació del recorregut a ruta es realitza una comprovació dels punts triats com a inicial i final. No es pot triar el mateix punt a ambdues llistes, però es pot seleccionar una porció de recorregut inversa. Mitjançant els índexs seleccionats a les llistes es pot esbrinar si es convertirà el recorregut en sentit directe o invers (si l'índex del punt origen és menor al del punt final o a la inversa, respectivament):

```
If Me.cbPuntInicial.ListIndex < Me.cbPuntFinal.ListIndex Then
    pas = 1
Else
    pas = -1
End If
For i = Me.cbPuntInicial.ItemData(Me.cbPuntInicial.ListIndex) To
    Me.cbPuntFinal.ItemData(Me.cbPuntFinal.ListIndex) Step pas
    ...
Next
```

Es copia la polilínia del recorregut a una de nova que conforma la ruta, i que és emmagatzemada a la taula `Ruta` de la base de dades.

Per tal de mostrar la nova ruta a pantalla cal recarregar la base de dades del SIG i totes les entrades de la llegenda (ja que en el primer pas han perdut la connexió). Per a realitzar aquest segon pas s'utilitza una funció recursiva que permet la creació de grups i subgrups a la llegenda.


Per a modificar els atributs de la ruta es poden utilitzar les eines pròpies del SIG: fent doble clic a la seva representació a la finestra de mapa, o triant l'opció *Propiedades del conjunto de selección* del seu menú contextual s'accedeix a un diàleg que ho permet.

Les entitats creades es poden moure i eliminar també amb les eines pròpies del SIG, triant les icones adequades de la barra d'eines *Colocación y edición*, o bé seleccionant l'opció de menú *Edición* → *Geometría* → *Mover* per a la primera operació i *Edición* → *Entidad* → *Eliminar* per a la segona.

Cal tenir en compte, però, que el moviment d'un recorregut no comporta en cap cas el moviment dels punts terminals o dels creuaments associats. També cal considerar que l'esborrat d'un punt terminal comporta l'eliminació de les rutes que el tenen com a origen o final, i que l'esborrat d'una ruta comporta l'eliminació dels creuaments associats.

7.2.5. Creuaments de rutes

7.2.5.1. Descripció de la comanda

Mitjançant la icona  o el menú *Rutes* → *Intersecció de dues rutes* de GeoMedia s'invoca la comanda que permet trobar els punts de creuament entre dues rutes. Cal haver seleccionat prèviament dues rutes per a poder activar la comanda (Figura 23).

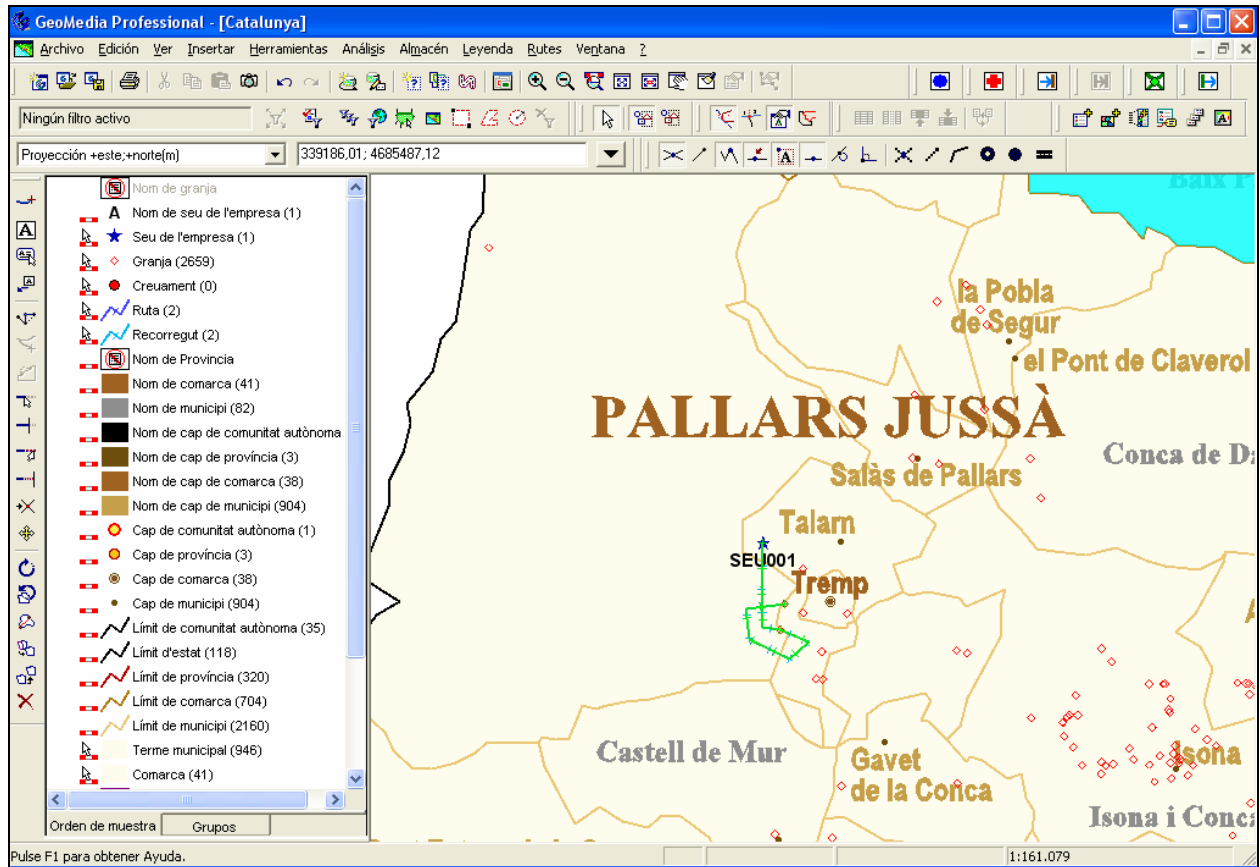


Figura 23 – Habilitació de la comanda de detecció de creuaments

Aquesta comanda no disposa de cap formulari per a introduir dades, sinó que cada punt d'intersecció és mostrat a la finestra del mapa, i es demana confirmació per a crear-lo, tal com es mostra a la Figura 24.

Si el procés té èxit es mostra un missatge de confirmació que indica el nombre de punts de creuament detectats i confirmats. Els nodes de creuament creats es mostren en pantalla, tal com es veu a la Figura 25.

Pot passar que no hi hagi cap intersecció entre dues rutes, fet que és notificat. També pot passar un cas menys probable: que la coincidència entre dues rutes sigui al llarg d'un segment o una polilínia. En aquest cas es demana confirmació per als punts no terminals del segment o la polilínia.

Es considera en tot moment que els punts terminals són nodes d'intersecció de les rutes que hi passen, i per tant no s'indiquen com a punts de creuament en aquesta comanda.

7.2.5.2. Detalls de la comanda

Aquesta comanda, anomenada *InterseccioRutes*, no disposa de cap formulari. Quan la comanda s'activa es centra la vista del mapa en les dues rutes seleccionades:

```
modInterseccioRutes.gobjGeoApp.ActiveWindow.MapView.FitSelectedObjects  
modInterseccioRutes.gobjGeoApp.ActiveWindow.MapView.Refresh
```

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica
Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

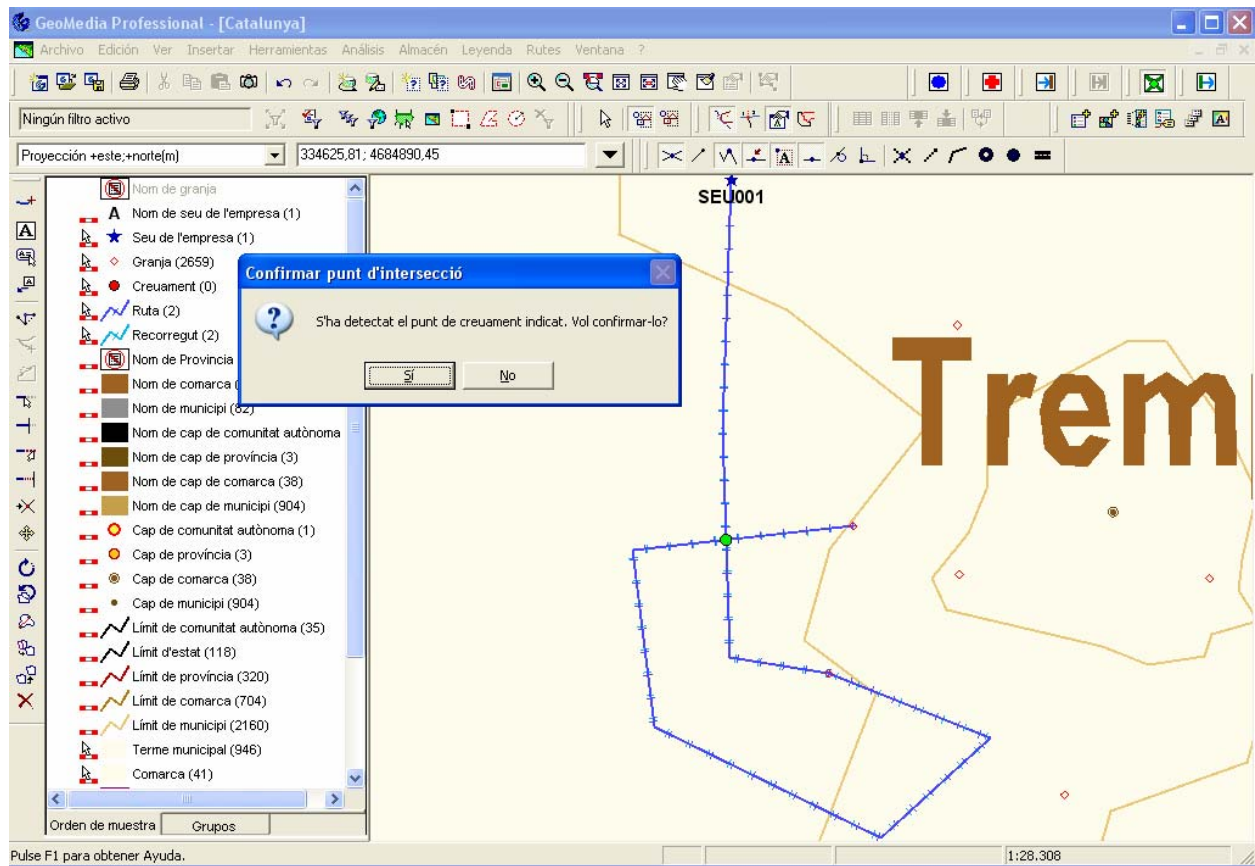


Figura 24 – Confirmació d'un punt de creuament

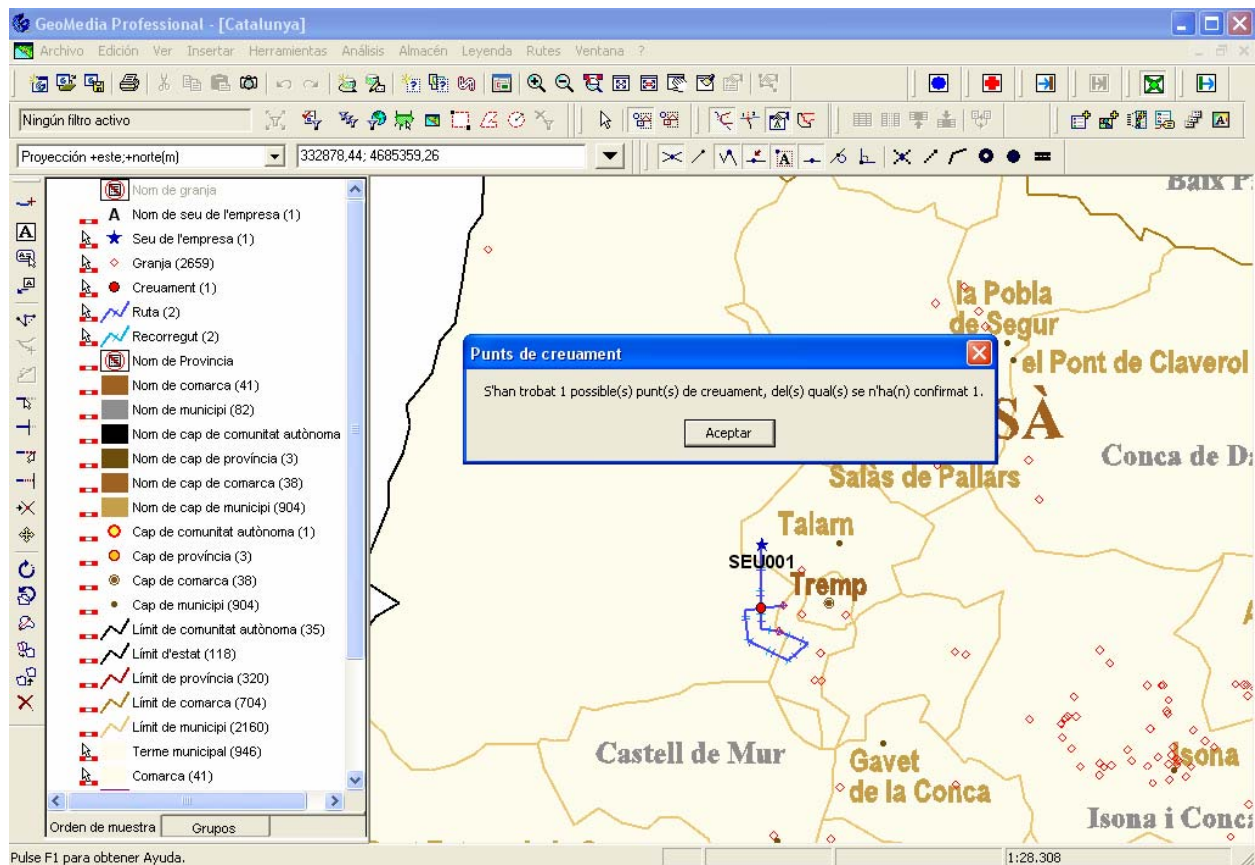


Figura 25 – Missatge de conversió correcta

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica

Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

A continuació es calculen els punts de creuament de les dues rutes seleccionades. L'objecte `SpatialIntersectionPipe` s'omple amb les dades de les rutes seleccionades, obtingudes amb sengles objectes `OriginatingPipe`. S'indica que es vol obtenir la geometria d'intersecció (constant `gmsqTouches`). A partir del `GRecordset` resultant de la intersecció espacial i amb l'ajuda d'un objecte `GeometryStorageService` s'obté de forma directa o indirecta un objecte `GeometryCollection`, que conté la col·lecció de geometries intersecades:

```
Set objGeometryStorageService = modInterseccioRutes.gobjGeoApp.CreateService
  ("GeoMedia.GeometryStorageService")
Set objSpatialIntersectionPipe = modInterseccioRutes.gobjGeoApp.CreateService
  ("GeoMedia.SpatialIntersectionPipe")
With objSpatialIntersectionPipe
  Set .LeftRecordset = objOriginatingPipe1.OutputRecordset
  .LeftGeometryFieldName = objOriginatingPipe1.GeometryFieldName
  Set .RightRecordset = objOriginatingPipe2.OutputRecordset
  .RightGeometryFieldName = objOriginatingPipe2.GeometryFieldName
  .OutputGeometryFieldName = "OutputGeometry"
  .SpatialOperator = gmsqTouches
  .OutputStatusFieldName = "status"
End With
If Not objSpatialIntersectionPipe.OutputRecordset.BOF And
  Not objSpatialIntersectionPipe.OutputRecordset.EOF Then
  objGeometryStorageService.GetGeometry
  objSpatialIntersectionPipe.OutputRecordset.GFields
  (objSpatialIntersectionPipe.OutputGeometryFieldName), obj
  Select Case TypeName(obj)
    Case "DGMGeometryCollection"
      Set objGeometryCollection = obj
    Case "DGMOrientedPointGeometry"
      Set objGeometryCollection =
        modInterseccioRutes.gobjGeoApp.CreateService
          ("GeoMedia.GeometryCollection")
      objGeometryCollection.Add obj
    Case "DGMPolylineGeometry"
      Set objGeometryCollection =
        modInterseccioRutes.gobjGeoApp.CreateService
          ("GeoMedia.GeometryCollection")
      objGeometryCollection.Add obj
    Case Else
      Err.Raise vbObjectError + 1050, "Intersectar_Rutes",
        "La intersecció es produeix amb un objecte no suportat."
  End Select
Else
  Set objGeometryCollection = modInterseccioRutes.gobjGeoApp.CreateService
    ("GeoMedia.GeometryCollection")
End If
```

Es poden produir els següents casos a l'hora d'intersecar dues polilínies:

- No hi ha cap punt en comú. No es retorna cap registre.
- Hi ha només un punt en comú. Es retorna un registre amb geometria puntual.
- Hi ha més d'un punt en comú. Es retorna un registre amb geometria composta només per punts.
- Hi ha un segment en comú. Es retorna un registre amb geometria lineal (polilínia).

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica

Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

- Hi ha més d'un segment en comú. Es retorna un registre amb geometria composta només per polilínies.
- Hi ha punts i segments en comú. Es retorna un registre amb geometria composta per punts i polilínies.

En qualsevol cas, per tal de reduir el nombre de casos es crea un objecte de geometria composta (*GeometryCollection*) amb els punts o les polilínies trobades (encara que sigui només un element). Per a cada element d'aquesta col·lecció es determina si és un punt o una polilínia. En el primer cas es demana confirmació per a incloure el punt com a node d'intersecció. En el segon cas es recorre la col·lecció de punts i per a cadascú es demana confirmar-lo com a node d'intersecció:

```
For i = 1 To ObjInterseccio.Count
  If TypeName(ObjInterseccio(i)) = "DGMPolylineGeometry" Then
    Set segment = ObjInterseccio(i)
    For Each punt In segment.Points
      Set puntGeom =
        modInterseccioRutes.gobjGeoApp.CreateService("GeoMedia.PointGeometry")
      puntGeom.Origin.X = punt.X
      puntGeom.Origin.Y = punt.Y
      puntGeom.Origin.Z = punt.Z
      Indicar_Punt puntGeom, Conn, num_interseccio, num_afegits, ID1, ID2
    Next
  Else
    Indicar_Punt ObjInterseccio(i), Conn, num_interseccio, num_afegits, ID1, ID2
  End If
Next
```

El procediment de confirmació realitza les següents accions per a cada punt que se'l proporciona:

- Amb l'ajut d'un objecte *SmartLocateService* es detecta si el punt es troba a la localització d'un punt terminal (amb una precisió d'un *pixel*), cas en que no es té en consideració (és a dir, es suposa que els punts terminals són, per si mateixos, nodes de creuament de rutes).
- Si el punt no correspon a una seu de l'empresa o a una granja es crea una entitat temporal de tipus "Creuament_no_confirmat" a la base de dades.
- Es recarrega la llegenda per tal de mostrar el creuament no confirmat que s'acaba de crear.
- Es demana confirmació a l'usuari per tal de crear definitivament el punt d'intersecció. És possible que el diàleg que apareix ocult el creuament no confirmat: només cal moure'l per tal de visualitzar-lo.
- Si l'usuari confirma el punt d'intersecció es crea una entitat de tipus "Creuament" a la base de dades.
- En qualsevol cas s'esborra el creuament no confirmat que es va introduir abans.
- Es recarrega la llegenda per tal de mostrar el creuament que s'acaba de crear.

Finalment la vista del mapa es restaura a la posició original:

```
modInterseccioRutes.gobjGeoApp.ActiveWindow.MapView.PreviousView
modInterseccioRutes.gobjGeoApp.ActiveWindow.MapView.Refresh
```


Per a modificar els atributs del creuament es poden utilitzar les eines pròpies del SIG: fent doble clic a la seva representació a la finestra de mapa, o triant l'opció *Propiedades del conjunto de selección* del seu menú contextual s'accedeix a un diàleg que ho permet.

Les entitats creades es poden moure i eliminar també amb les eines pròpies del SIG, triant les icones adequades de la barra d'eines *Colocación y edición*, o bé seleccionant l'opció de menú *Edición* → *Geometría* → *Mover* per a la primera operació i *Edición* → *Entidad* → *Eliminar* per a la segona.

Cal tenir en compte, però, que el moviment d'un creuament no comporta en cap cas el moviment de les rutes associades. També cal considerar que l'esborrat d'una ruta comporta l'eliminació dels creuaments associats, degut al comportament de les relacions a la base de dades.

7.2.6. Exportació de rutes

7.2.6.1. Descripció de la comanda

Amb la icona  o amb el menú *Rutes* → *Exportació de rutes* de GeoMedia s'activa la comanda que permet exportar rutes a fitxers de text. Cal haver seleccionat prèviament almenys una ruta per a poder activar la comanda.

Al diàleg que es mostra (Figura 26) cal indicar el directori de sortida on es crearà el fitxer de text en format NMEA 0183 amb les coordenades dels punts de la ruta emmagatzemada al SIG. Aquest directori es pot triar amb l'ajuda d'un diàleg de selecció com el de la Figura 27.

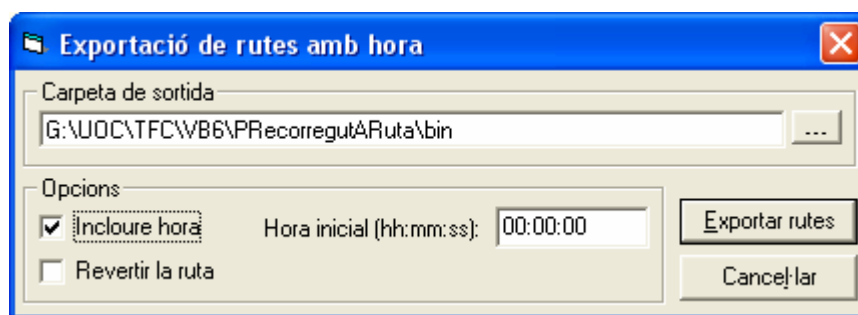


Figura 26 – Diàleg d'exportació de rutes



Figura 27 – Diàleg de selecció de carpeta

Es pot indicar de forma opcional la inclusió d'una hora en les trames generades. Igualment es pot indicar de forma opcional que s'inverteixi l'ordre de la ruta (és a dir, que el començament en pantalla sigui el final al fitxer i a la inversa).

A l'hora d'exportar una ruta es verifica que s'han omplert adequadament els camps del formulari. Es verifica també per a cada ruta a exportar que no existeixi prèviament el fitxer, cas en què es demana confirmació i es dóna l'oportunitat de canviar-li el nom. Si el procés ha tingut èxit es mostra un missatge de finalització correcta, i, si no ha estat així, una notificació d'error.

El nom del fitxer per a cada ruta s'obté de forma automàtica com s'indica a continuació:

Ruta_MarcaOrigen_MarcaFinal.txt

On `MarcaOrigen` i `MarcaFinal` són el valor dels atributs "Origen" i "Final" de la ruta.

Els fitxers així generats es poden importar des dels navegadors GPS dels veterinaris per tal de marcar els camins que han de seguir per a arribar a les diferents granges.

7.2.6.2. Detalls de la comanda

Aquesta comanda, anomenada `ExpRutesHora`, mostra un formulari modal (`frmExpRutesHora`) quan s'activa.

Cada ruta seleccionada genera un fitxer de sortida en format NMEA 0183, el nom del qual depèn de les marques d'origen i de final de cada ruta. Es comprova que no existeixi prèviament al directori de sortida. Si és així es demana confirmació fins que el nom de fitxer respost no existeixi, o bé que els noms demanat i respost siguin iguals. Per a cada ruta es fa un recorregut dels punts que componen la seva geometria (una polilínia), bé en sentit directe de l'origen cap al final o a la inversa (si així s'indica al formulari de la comanda).

S'utilitza un objecte `GeometryStorageService` per a accedir a la geometria de les rutes seleccionades, i un objecte `TextStream`, obtingut amb un objecte `FileSystemObject` de la llibreria `Microsoft Scripting Runtime`, per al tractament del fitxer de text en format NMEA 0183.

Les coordenades de cada punt són convertides a UTM referides al *datum* WGS84. amb els objectes `CoordSystem` i `DatumTransformation` per mitjà d'una transformació estàndard de Molodensky. Tot i que la transformació demana el *datum* vertical, la tria d'aquest no sembla tenir influència sobre el canvi de coordenades. Malgrat tot s'ha triat l'anomenat UELN9598, d'àmbit europeu. També cal fer conversions entre coordenades projectades i UTM segons convingui.

A continuació s'escriuen al fitxer les coordenades del punt seguint el protocol NMEA 0183. Opcionalment (si així s'indica al diàleg inicial) s'hi inclou una hora fictícia a partir d'una hora inicial (també especificada al diàleg inicial).

Val a dir que no es segueix per complet l'estàndard, ja que aquest indica que les coordenades han de tenir dos decimals. Es demostra que l'error introduït amb aquesta poca precisió és de l'ordre de la desena de metres. Per tal d'evitar-ho s'han enregistrat les coordenades amb cinc decimals, que eliminen per complet aquesta font d'errors.

Els fitxers generats són aptes per a importar-los una altra vegada al sistema, i així comprovar que tot funciona correctament.

CAPÍTOL 8: CONCLUSIONS I TREBALLS FUTURS

S'exposen a continuació les conclusions obtingudes en l'elaboració d'aquest TFC, així com els treballs futurs que es podrien realitzar.

8.1. Conclusions

S'han assolit els objectius plantejats al començament del present TFC: l'elaboració d'un estudi teòric i la resolució d'un cas pràctic en l'àmbit dels SIG.

L'estudi teòric ha comprès una descripció dels SIG, una explicació dels conceptes de la cartografia i la geodèsia, un resum del funcionament del sistema GPS (amb especial consideració als tipus de receptors segons la precisió que ofereixen) i una exposició de les funcionalitats del programari comercial GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0.

Aquest estudi s'ha centrat en els conceptes més importants per a l'elaboració de la part pràctica. Durant la seva elaboració s'ha constatat que Internet ha constituït una veritable revolució del coneixement. En cap moment ha faltat material per a la redacció, sinó més aviat al contrari: s'ha hagut de realitzar una tasca important de selecció i contrast d'informació. És essencial reforçar les habilitats de cerca, discriminació i assimilació d'informació, ja que en un futur molt pròxim seran molt necessàries.

El treball pràctic ha consistit en la construcció d'un SIG amb GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 i en la programació de les funcions necessàries amb VISUAL BASIC 6.0 per tal de satisfer les necessitats plantejades per una empresa de sanitat animal. Ha estat necessari buscar i importar cartografia existent, i configurar adequadament el SIG per tal de mostrar en tot moment la informació justa: ni massa, ni massa poca.

GEOMEDIA ha resultat ser una eina adient per a resoldre el problema plantejat, i la seva facilitat d'ús ha estat un factor important en la rapidesa amb què s'ha desenvolupat el projecte. Els cursets inclosos en la documentació del SIG han ajudat molt a reduir la corba d'aprenentatge del programari.

En total s'han programat sis comandes personalitzades per a ampliar les funcionalitats de GEOMEDIA a les necessitats del projecte. La automatització de GEOMEDIA és total, i qualsevol acció que es pugui realitzar amb la interfície d'usuari pot ser incorporada a un programa, tot i que s'ha confiat molt en les seves característiques pròpies (per exemple a l'hora d'editar o eliminar entitats).

La utilització de llenguatges de desenvolupament ràpid (com VISUAL BASIC 6.0) ha accelerat la implementació de les funcions, però la integració amb els entorns de desenvolupament i el programari SIG no ha estat gaire fàcil, i de vegades ha demanat un coneixement profund dels sistemes MICROSOFT WINDOWS. La interfície de programació de GEOMEDIA no s'ha trobat homogènia, la qual cosa, afegida a que la seva documentació de vegades no ha estat exhaustiva, ha dificultat l'elaboració del programari addicional.

Tot plegat, GEOMEDIA ha estat una eina molt adequada per al desenvolupament de la resolució del projecte, però ha presentat certes dificultats a l'hora de desenvolupar programes complementaris que han suposat més feina de la prevista, encara que el resultat final ha estat completament satisfactori.

Finalment s'ha prestat especial atenció a l'aspecte formal de la documentació generada en el projecte: la memòria i la presentació virtual. Els requeriments d'espai han catalitzat una síntesi important de l'extensa informació recopilada, la qual ha abastat conceptes molt amplis i diversos.

8.2. Treballs futurs

Tot i haver satisfet les necessitats plantejades al cas pràctic, s'han detectat alguns punts d'ampliació que podrien constituir propostes de treballs futurs:

- Manteniment de la connectivitat: El flux normal de treball consisteix a crear punts terminals (rutes i recorreguts) i posteriorment a incorporar els recorreguts i les rutes que s'hi originen, hi passen o hi finalitzen. Com que els punts terminals, els recorreguts i les rutes són entitats diferents, en el moment en què la posició d'un punt terminal és modificada resulta una desconexió a nivell gràfic i de coordenades entre ell i els recorreguts i les rutes associats. Fins i tot es pot donar una inconsistència en les dades, ja que les rutes inclouen dades sobre els seu punt terminal d'origen i de final.

El sistema hauria de detectar aquest esdeveniment i mantenir de forma automàtica la connectivitat entre els diversos elements. D'aquesta forma, per a petits desplaçaments dels punts terminals seria possible mantenir els recorreguts i les rutes dins el sistema. És probable, però, que per a desplaçaments d'una certa importància es perdi precisió en els camins emmagatzemats al SIG i calgui introduir-los de nou.

- Cerca de camins mínims entre dues ubicacions: És previsible que al cap d'un cert temps d'utilitzar el SIG per a emmagatzemar rutes sigui possible utilitzar més d'un camí per a arribar des d'una localització a una altra. En aquesta circumstància és interessant que el propi sistema sigui capaç de, donades les dues localitzacions, trobar el camí mínim d'entre tots els possibles.

Caldria llegir tots els punts terminals i les rutes del SIG, incorporar-los a una estructura de graf pròpia i aplicar un algoritme adient de cerca de camins mínims (per exemple el de Dijkstra). A més, seria interessant donar la possibilitat d'utilitzar diferents criteris de minimització: distància, temps...

- Cerca de camins mínims que passin per les ubicacions marcades: Com a complement de la funció anterior seria molt útil indicar una sèrie de punts terminals i generar el mínim conjunt de camins que els uneixen (atenent a diversos criteris: trigar el menor temps possible, recórrer la menor distància...).

En aquest cas caldria implementar una aproximació a la resolució del problema del viatjant de comerç (ja que pot ser computacionalment molt costós donar una solució exacta).

- Generació de trajectes amb més d'una ruta: L'exportació de rutes que s'ha implementat genera un fitxer amb trames GPS per cada ruta seleccionada. Seria interessant que hi hagués la possibilitat de poder exportar totes les rutes seleccionades a un sol fitxer en un ordre lògic, per tal de poder-lo incorporar als navegadors GPS de què disposen els veterinaris.

La utilitat d'aquesta funció seria combinar-la amb les dues anteriors per tal de generar fàcilment els itineraris a seguir pels veterinaris.

GLOSSARI

Almanac: Predicció teòrica de les òrbites dels satèl·lits GPS.

Anamorfosi: Distorsió en una projecció cartogràfica. Pot ser lineal, superficial o angular.

Cartografia: Camp del coneixement que estudia la representació de la superfície terrestre sobre un pla.

Classe d'entitat: Agrupació de les entitats d'un mateix tipus.

Coordenades geocèntriques: Permeten localitzar qualsevol punt sobre la superfície de l'el·lipsoide de referència o a una certa alçada per sobre, mitjançant tres eixos cartesianes amb origen el centre de l'el·lipsoide.

Coordenades geogràfiques: Permeten localitzar qualsevol punt sobre la superfície de l'el·lipsoide de referència mitjançant la latitud i la longitud.

Coordenades UTM: Permeten localitzar un punt a una projecció UTM, coneixent el *datum*, el fus, l'*easting* i el *northing*.

Creuament: Anomenat node o punt de creuament o intersecció, constitueix una ubicació en la qual dues rutes es creuen i es pot passar efectivament de l'una cap a l'altra. Es considera que els punts terminals són implícitament nodes de creuament.

Datum: Punt de tangència entre el geoide i un el·lipsoide de referència, utilitzat com a sinònim de model de la superfície terrestre.

Easting: Desplaçament horitzontal en metres respecte el meridià central d'un fus a una projecció UTM.

ED50: Sigles de "European Datum 1950". *Datum* utilitzat majoritàriament a Europa.

Efemèrides: Òrbites corregides i amb informació temporal dels satèl·lits GPS.

Eix de rotació: Recta ideal de gir sobre si mateixa (moviment de rotació) de la Terra, i que uneix els dos pols.

El·lipsoide: Superfície resultant de revolucionar una el·lipse sobre l'eix menor. És la figura que més aproxima el geoide, amb una expressió matemàtica molt senzilla.

El·lipsoide de referència: És l'el·lipsoide que minimitza la distància amb el geoide en una certa regió terrestre.

Entitat: Element amb què es treballa a un SIG i que reflecteix un objecte del món real.

Equador: Intersecció de la superfície de la Terra amb el pla perpendicular a l'eix de rotació i que passa pel centre de la Terra. Divideix la Terra en dos hemisferis (Nord i Sud).

Escala: Relació matemàtica entre les dimensions reals i les seves representacions a un mapa.

Fus: Cadascuna de les 60 zones de 6° de longitud en què es divideix la superfície terrestre per tal de reduir les distorsions a la projecció UTM.

Geodèsia: Ciència que estudia la forma i dimensions de la superfície de la Terra, així com el seu camp gravitatori.

Geoide: Superfície teòrica de difícil expressió matemàtica, equipotencial respecte la gravetat terrestre.

GeoWorkspace: Definició del SIG i de l'entorn on es realitza tot el treball d'importació, manipulació i visualització de dades a GEOMEDIA PROFESSIONAL.

Global Positioning System: Sistema que permet calcular, mitjançant un receptor adequat, les coordenades de qualsevol punt de la superfície terrestre a partir de la recepció de senyals emesos per la constel·lació de satèl·lits NAVSTAR. També permet determinar el temps amb una precisió molt alta.

GPS: Veure *Global Positioning System*.

GPS Diferencial: Tècnica que permet augmentar la precisió del GPS incloent les diferències amb punts de localització coneguda.

Granja: Cadascuna de les ubicacions que els veterinaris de l'empresa de salut animal visiten per a comprovar-ne l'estat.

Intersecció: Veure "Creuament".

Latitud: Angle vertical amb l'Equador.

Longitud: Angle horitzontal amb el meridià que passa per la localitat anglesa de Greenwich.

Magatzem de dades: Cadascuna de les fonts de dades que utilitza un *GeoWorkspace* per a emmagatzemar i accedir a informació tant geogràfica com alfanumèrica a GEOMEDIA PROFESSIONAL.

Meridià: Cadascuna de les interseccions dels infinits plans que contenen l'eix de l'Equador amb la superfície terrestre.

Model raster: Tipus de representació de les dades a un SIG, constituït per un conjunt de capes d'informació referides a una mateixa àrea geogràfica, cadascuna dedicada a un únic tema. Cada capa d'informació està dividida en *pixels*.

Model vectorial: Tipus de representació de les dades a un SIG on la realitat s'abstrau a punts, línies, polígons i volums, que estan codificats amb coordenades geogràfiques.

NAVSTAR: Constel·lació dels satèl·lits que donen servei al sistema GPS. La seva distribució és tal que garanteix en qualsevol moment que es pugui fer servir el sistema.

NMEA 0183: Protocol propietari d'intercanvi d'informació entre receptors GPS i altres dispositius.

Nothing: Desplaçament vertical en metres respecte l'Equador a una projecció UTM.

Paral·lel: Cadascuna de les interseccions dels plans paral·lels a l'Equador amb la superfície terrestre. L'Equador també és un paral·lel.

Pixel: Cadascun dels elements que contenen un valor d'informació a un capa del model *raster*.

Projecció UTM (Universal Transversal Mercator): Projecció global, cilíndrica i conforme (és a dir, que manté els angles), molt utilitzada en cartografia.

Punt terminal: Ja sigui una seu de l'empresa o una granja, constitueix l'origen o el final de les rutes i recorreguts.

Metadades: Dades per a vertebrar i entendre tota la resta d'informació emmagatzemada a una base de dades. Són dades sobre les dades.

Recorregut: Trajecte realitzat per un veterinari al llarg d'un dia de treball.

Ruta: Porció d'un recorregut que queda emmagatzemat al SIG com a trajecte de referència entre dos punts terminals.

Seu de l'empresa: Cadascuna de les ubicacions des de les quals els veterinaris visiten les granges.

SIG: Veure Sistema d'Informació Geogràfica.

Sistema d'Informació Geogràfica: En general, qualsevol sistema d'informació amb una component geogràfica. En sentit estricte, sistema informàtic que facilita la recol·lecció, l'anàlisi, la gestió i la representació de dades referenciades geogràficament.

Trilateració: Mètode de determinació de la posició al sistema GPS, consistent en determinar la distància a tres satèl·lits. L'addició d'un quart satèl·lit n'augmenta la precisió.

Veterinari: Empleat de l'empresa de salut animal, que s'ocupa de visitar periòdicament totes les granges dels seus clients.

WGS84: Sigles de "World Geodetic System 1984". Datum utilitzat pel sistema GPS i d'àmbit global.

BIBLIOGRAFIA

A continuació es recull la bibliografia utilitzada en la redacció d'aquest document. A les referències d'Internet utilitzades més d'una vegada s'ha indicat la pàgina principal, i en les utilitzades un únic cop l'adreça exacta:

- [1] *Universitat Oberta de Catalunya. Planificació de projectes.* Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2006.
- [2] *Universitat Oberta de Catalunya. Indicacions per a la redacció de la memòria.* Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2006.
- [3] *Allué, E. Resum de la trobada d'inici curs 2006.* Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2006.
- [4] *Institut d'Estudis Catalans. Portal de Dades Lingüístiques* [<http://pdl.iec.es>, Octubre de 2006].
- [5] *Cambridge University Press. Cambridge Dictionaries Online* [<http://dictionary.cambridge.org>, Octubre de 2006].
- [6] *Tohà, P. Construcció d'un SIG municipal adaptat a les necessitats d'una població qualsevol.* Treball Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2006.
- [7] *Catalan, P. Punt d'informació turística de Pineda de Mar.* Treball Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2005.
- [8] *Pàmies, M. Implantació d'un SIG amb GeoMedia Professional 5.2 i l'enllaç amb Epanet.* Projecte Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2005.
- [9] *Novella, J. C. Aplicació dels Sistemes d'Informació Geogràfica per gestionar la informació cadastral.* Treball Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2005.
- [10] *Casals, J. Aplicació dels Sistemes d'Informació Geogràfica per a gestionar la informació cadastral.* Treball Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2005.
- [11] *Andolz, J. Aplicació dels Sistemes d'Informació Geogràfica per gestionar informació cadastral.* Treball Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2005.
- [12] *Allué, E. Creació d'un Sistema d'Informació Geogràfica de carreteres.* Projecte Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2004.
- [13] *Villa, C. Creació d'un Sistema d'Informació Geogràfica de carreteres amb GEOMEDIA PROFESSIONAL 5.2.* Projecte Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2004.
- [14] *Manjon, D. Creació d'un SIG de carreteres amb GEOMEDIA PROFESSIONAL.* Projecte Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2004.
- [15] *Payà, S. Anàlisi de requeriments per un model de xarxa de telecomunicacions amb aplicació des d'un Sistema d'Informació Geogràfica.* Treball Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2004.
- [16] *Sasplugas, L. Introducció als Sistemes de Informació Geogràfica.* Treball Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2004.
- [17] *González, J. M. Introducció als Sistemes de Informació Geogràfica.* Treball Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2004.
- [18] *Ferré, J. Introducció als Sistemes de Informació Geogràfica.* Treball Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2004.
- [19] *Rodríguez-Rey, C. Introducció als Sistemes de Informació Geogràfica i creació d'una base de dades dels elements d'una xarxa de distribució d'aigua potable.* Treball Final de Carrera. Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2004.

Treball Final de Carrera – Àrea de Sistemes d'Informació Geogràfica
Construcció d'un SIG per a la gestió de rutes en camins no cartografiats

- [20] *Varis autors. Wikipedia, the free encyclopedia* [<http://en.wikipedia.org/>, Octubre de 2006].
- [21] *Varis autors. Wikipedia, la enciclopedia libre* [<http://es.wikipedia.org/>, Octubre de 2006].
- [22] *ESRI. The guide to Geographic Information Systems* [<http://www.gis.com/>, Octubre de 2006].
- [23] *Ortiz, G. Sistemas de Información Geográfica: recursos y la mejor comunidad de usuarios* [<http://recursos.gabrielortiz.com/>, Octubre de 2006]
- [24] *U.S. Geological Survey, Geographic Information Systems (GIS) Poster* [http://erg.usgs.gov/isb/pubs/gis_poster/, Octubre de 2006]
- [25] *GIS Lounge. Basics of GIS* [<http://gislounge.com/ll/basics.shtml>, Octubre de 2006]
- [26] *Briggs, D. Geographical Information System (GIS)* [http://weather.nmsu.edu/Teaching_Material/SOIL698/Dinus/gis/, Octubre de 2006]
- [27] *Smithsonian National Zoological Park. What is GIS? Amazon GIS Project* [<http://nationalzoo.si.edu/ConservationAndScience/ConservationGIS/AmazonGIS/WhatIs/>, Octubre 2006]
- [28] *Geodata. Sistemes d'Informació Geogràfica* [<http://geodata.es/web/popups/sig.ca.htm>, Octubre de 2006]
- [29] *Ministerio de Fomento. Centro Nacional de Información Geográfica* [<http://www.cnig.es/>, Octubre de 2006]
- [30] *Ministerio de Fomento. Instituto Geográfico Nacional* [<http://www.ign.es/>, Octubre de 2006]
- [31] *Instituto Cartográfico Valenciano. Glosario de términos cartográficos* [<http://www.gva.es/icv/glosario.htm>, Octubre de 2006].
- [32] **Institut Cartogràfic de Catalunya** [<http://www.icc.cat/>, Octubre de 2006].
- [33] *Cartesia.org. Artículos sobre Geomàtica y Cartografía* [<http://www.cartesia.org/>, Octubre 2006]
- [34] *Universidad Alfonso X El Sabio. Geodesia y cartografía* [<http://html.rincondelvago.com/geodesia-y-cartografia.html>, Octubre de 2006]
- [35] *Guillamon, A. Masdemont, A. Apunts de trigonometria esfèrica i mètodes de càlcul en astronomia.* Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, 1999.
- [36] *National Geodetic Survey. What is the geoid?* [http://www.ngs.noaa.gov/GEOID/geoid_def.html, Octubre de 2006]
- [37] *Answers.com. Geodesy* [<http://www.answers.com/topic/geodesy/>, Octubre de 2006]
- [38] *Answers.com. ED50* [<http://www.answers.com/topic/ed50/>, Octubre de 2006]
- [39] *Xambó, S. Geometria.* Barcelona, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 1997.
- [40] *University of Western Ontario. Conversion of latitude-longitude to UTM* [<http://instruct.uwo.ca/earth-sci/505/utms.htm>, Octubre de 2006]
- [41] *Dutch, S. Converting UTM to Latitude and Longitude (Or Vice Versa)* [<http://www.uwgb.edu/dutchs/UsefulData/UTMFormulas.HTM>, Octubre de 2006]
- [42] *Masó J. Pons X. Pesquer Ll. Criteris geodèsics en els canvis de sistema de referència en un entorn SIG* [<http://www.crea.uab.es/MiraMon/publicat/papers/sitges00/calcgeo.htm>, Octubre de 2006]
- [43] *U.S. Government. Global Positioning System* [<http://www.gps.gov/>, Octubre de 2006]
- [44] *Department of Defense. NAVSTAR Global Positioning System Joint Program Office* [<http://gps.losangeles.af.mil/>, Octubre de 2006]
- [45] *U.S. Coast Guard. Navigation Center* [<http://www.navcen.uscg.gov/>, Octubre de 2006]
- [46] *Federal Aviation Administration. Satellite Navigation Product Teams* [<http://gps.faa.gov/>, Octubre de 2006]
- [47] *U.S. Naval Observatory. GPS Operations* [<http://tycho.usno.navy.mil/gps.html>, Octubre de 2006]
- [48] *Trimble. GPS Tutorial* [<http://www.trimble.com/gps/index.shtml>, Octubre de 2006]
- [49] *Universidad de Jaén. Sistema GPS (Global Position System)* [<http://html.rincondelvago.com/sistema-gps.html>, Octubre de 2006]
- [50] *Dana, P. Global Positioning System Overview* [http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html, Octubre de 2006]

- [51] *Brain, M. Harris, T. How GPS receivers work* [<http://www.howstuffworks.com/gps.htm>], Octubre de 2006]
- [52] *Rodríguez, A. Página GPS Española* [<http://www.elgps.com/>], Octubre de 2006]
- [53] *Encyclopedia Astronautica. Navstar* [<http://www.astronautix.com/project/navstar.htm>], Octubre de 2006]
- [54] *ICI. GPS. Global Positioning System* [<http://www.geocities.com/puertoweb1/gps.html>], Octubre de 2006]
- [55] *NMEA. NMEA 0183 Standard* [<http://www.nmea.org/pub/0183/>], Octubre de 2006]
- [56] *Varis autors. List of NMEA 0183 sentences* [<http://gpsd.berlios.de/NMEA.txt>], Octubre de 2006]
- [57] *Baddeley, G. GPS - NMEA sentence information* [<http://www.werple.net.au/~gnb/gps/nmea.html>], Octubre de 2006]
- [58] *DePriest, D. NMEA Data* [<http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>], Octubre de 2006]
- [59] **Intergraph** [<http://www.intergraph.com/>], Octubre de 2006]
- [60] *Intergraph. Instalación de GeoMedia Professional*. Versió 06.00.34.20, 1 de Novembre de 2005.
- [61] *Intergraph. Aprendizaje de GeoMedia Professional*. Versió 06.00.34.20, 1 de Novembre de 2005.
- [62] *Intergraph. Manual de usuario de GeoMedia Professional*. Versió 06.00.34.20, 1 de Novembre de 2005.
- [63] *Intergraph. Programación en GeoMedia Professional*. Versió 06.00.34.20, 1 de Novembre de 2005.
- [64] *Intergraph. Temas de ayuda para el asistente de comandos de GeoMedia Professional*. Versió 06.00.34.20, 1 de Novembre de 2005.
- [65] *Intergraph. Referencia de objetos GeoMedia Professional*. Versió 06.00.34.20, 1 de Novembre de 2005.
- [66] *Intergraph. Temas de ayuda de GeoMedia Professional*. Versió 06.00.34.20, 1 de Novembre de 2005.
- [67] **Open Geospatial Consortium** [<http://www.opengeospatial.org/>], Octubre de 2006]
- [68] *Institut Cartogràfic de Catalunya. Especificacions per al format "ESRI Shapefile" (SHP) de la Base municipal 1:1.000.000 (BM-1000M) v3.3*. Barcelona, Institut Cartogràfic de Catalunya, 2006.
- [69] *IDEC. Infraestructura de dades espacials de Catalunya* [<http://www.geoportal-idec.net/>], Novembre de 2006].
- [70] *Charte, F. Programación con Visual Basic 6*. Madrid, Ediciones Anaya Multimedia, 1998.