

(Creative Commons)

Aquest treball està subjecte - excepte que s'indiqui el contrari- en una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 2.5 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-lo, distribuir-los i transmetre'ls públicament sempre que citeu l'autor i l'obra, no es faci un ús comercial i no es faci còpia derivada. La llicència completa es pot consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/es/deed.es>.



**Universitat Oberta
de Catalunya**

Análisis ráster de rutas de mínimo coste con Geomedia[®] PRO

MEMORIA

Alumno: David Fernández Fernández de Mera
Dirigido por: Anna Muñoz Bolas

**Proyecto Final de Carrera
Ingeniería en Informática
Curso 2008-09 Primer Semestre**

Agradezco a toda la gente que me ha apoyado durante la realización de este proyecto especialmente a Pilar, la persona más importante de mi vida. Sin ellos no lo habría conseguido.

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto final de carrera es el de conocer en que consiste dicha tecnología y que tipo de información se maneja con ella. Como primera parte, una vez realizado los estudios previos, se ha realizado una tarea de búsqueda de información para montar el proyecto SIG que nos servirá de base para resolver el problema práctico planteado.

Este caso práctico consiste en la resolución de cálculo de caminos de coste mínimos entre dos puntos tanto con información en formato ráster como en formato vectorial.

Sumario

<i>Descripción del proyecto.</i>	<i>1</i>
1.1 Introducción.	2
1.2 Objetivo del proyecto	2
1.3 Alcance del proyecto.	3
1.4 Organización del proyecto.	4
1.4.1 Tareas.	4
1.4.2 Calendario.	9
1.4.3 Hitos principales.	11
1.5 Evaluación del material	12
1.6 Análisis de riesgos.	13
<i>¿Qué es un Sistema de Información Geográfico?.</i>	<i>14</i>
2.1 Definición de SIG	15
2.2 Evolución histórica.	15
2.3 Comparativa de un SIG con otros sistemas	16
2.3.1 Diseño asistido por ordenador (CAD).	16
2.3.2 Cartografía de escritorio (DM)	17
2.4 Componentes de un SIG	18
2.5 Puntos de vista de un SIG.	19
2.6 Tareas a realizar con un SIG	20
<i>Introducción a la Cartografía.</i>	<i>21</i>
3.1 Definición de cartografía.	22
3.2 Espacio geográfico y los problemas de escala.	22
3.3 Introducción a la Geodesia.	24
3.4 Sistemas de proyección.	26
3.4.1 Sistema de proyección UTM (Universal Transversa Mercator)	28
3.5 Sistemas de referencia.	29
3.6 Sistemas de coordenadas.	29
3.6.1 Sistema de Coordenadas Geográficas.	30
3.6.2 Sistema de Coordenadas UTM.	31
<i>Los Datos.</i>	<i>33</i>
4.1 Metadatos	34
4.2 Atributos.	35
4.3 Modelos lógicos de datos espaciales	36
4.3.1 Modelo ráster	36
4.3.2 Modelo vectorial	37
4.3.3 Ventajas y desventajas de los modelos ráster y vectorial.	38
<i>Geomedia</i>	<i>39</i>
5.1 Conceptos básicos.	40
5.2 Importación de datos.	42
5.3 Consultas y Análisis de datos. Módulo GM GRID.	44
5.4 Programación y automatización de comandos.	45
<i>Caso práctico</i>	<i>47</i>

6.1	Descripción del caso práctico	48
6.1.1	Introducción	48
6.1.2	Objetivos	48
6.2	Características del caso práctico y Diseño.	49
6.2.1	Fuentes de información.	49
6.2.2	Modelo Conceptual de datos.	49
6.2.3	Diseño y estrategia.	50
6.3	Implementación y ejecución.	55
6.3.1	Primera parte. Análisis ráster de caminos mínimos.	56
6.3.2	Segunda parte. Análisis vectorial de caminos mínimos.	61
6.4	Resultados obtenidos	63
6.4.1	Primera parte. Resultados sobre análisis ráster.	63
6.4.2	Segunda parte. Resultados sobre análisis vectorial.	64
Conclusiones		65
7.1	Dificultades encontradas.	66
7.2	Mejoras.	66
7.3	Valoración final.	67
7.4	Referencias	68
Referencias Bibliográficas		68
Referencias Digitales		68

Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i>	<i>Diagrama de Gantt del proyecto.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2.</i>	<i>Resumen de la planificación del proyecto.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3.</i>	<i>Diagrama de componentes de un SIG.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4.</i>	<i>Ejemplo de datos asociados a un callejero.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 5.</i>	<i>Ejemplo de análisis de datos sobre un mapa.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6.</i>	<i>Ejemplo de Geoprocesamiento [W6].....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7.</i>	<i>Cálculo de la escala de un mapa.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 8.</i>	<i>Ejemplos de representación numérica y gráfica de la escala.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9.</i>	<i>Mapa de la Red Geodésica Nacional. 1978.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 10.</i>	<i>Anomalías del campo gravitatorio terrestre, base de definición del Geoide.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 11.</i>	<i>Modelo matemático del Geoide basado en rotación de un elipsoide. [W8].....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 12.</i>	<i>Diferentes sistemas de proyección de la esfera terrestre.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 13.</i>	<i>Esquema de distintas proyecciones.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 14.</i>	<i>Esquema de creación de la proyección de un Huso.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 15.</i>	<i>Malla de Husos UTM.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 16.</i>	<i>Ángulos de representación de las coordenadas geográficas.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 17.</i>	<i>Descripción del valor de una coordenada UTM.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 18.</i>	<i>Relación de tamaño de cuadrícula dependiendo de la resolución.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 19.</i>	<i>Ejemplo de distribución espacial de especies forestales.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 20.</i>	<i>Diferencias de representación de la realidad según el modelo usado.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 21.</i>	<i>Codificación de una variable cuantitativa en formato ráster.....</i>	<i>37</i>

<i>Figura 22.</i>	<i>Representación de la realidad mediante un modelo vectorial.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 23.</i>	<i>Vista general del entorno de un proyecto GeoMedia.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 24.</i>	<i>Creación y configuración de un fichero de sistema de coordenadas (.csf).</i>	<i>41</i>
<i>Figura 25.</i>	<i>Entorno de gestión de conexiones.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 26.</i>	<i>Creación y configuración de un fichero de esquema de servidor CAD (.csd).</i>	<i>43</i>
<i>Figura 27.</i>	<i>Digitalización sobre ortofoto.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 28.</i>	<i>Asistente Geomedia Command Wizard.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 29.</i>	<i>Modelo conceptual definido con UML.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 30.</i>	<i>Ejecución del algoritmo de Dijkstra en un grafo de ejemplo.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 31.</i>	<i>Pantalla de ejecución del comando.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 32.</i>	<i>Ejemplo de capa de tipo puntos creada para la ciudad de Lleida.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 33.</i>	<i>Resultado tras insertar la entidad Lleida en la Vista de Mapa.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 34.</i>	<i>Pantalla de importación de ficheros al módulo GM Grid.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 35.</i>	<i>Seleccionamos como unidad de los datos la opción “Metros”.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 36.</i>	<i>Procedimiento de rastarización de capas de leyenda.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 37.</i>	<i>Configuración de la herramienta “Grade” para la obtención de pendientes.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 38.</i>	<i>Herramienta Recode. Tabla de rangos utilizados en la clasificación.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 39.</i>	<i>Parámetros de configuración de la herramienta Distance/Cost.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 40.</i>	<i>Parámetros de configuración para la obtención de la propuesta de camino mínimo.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 41.</i>	<i>Grafo de ejemplo utilizado de base.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 42.</i>	<i>Opción de menú y pantalla de selección de parámetros.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 43.</i>	<i>Configuración del camino a buscar.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 44.</i>	<i>Camino propuesto después del análisis de superficie.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 45.</i>	<i>Camino propuesto después de la ejecución del algoritmo.</i>	<i>64</i>

Índice de Tablas

<i>Tabla 1.</i>	<i>Hitos principales del proyecto.</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2.</i>	<i>Ejemplos de notación dependiendo de la resolución utilizada.</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3.</i>	<i>Cuadro comparativo entre formato ráster y vectorial.</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4.</i>	<i>Valores de configuración del archivo de sistemas de coordenadas utilizado.</i>	<i>41</i>

Capítulo 1.

Descripción del proyecto.

Todo proyecto necesita, antes de meterse en materia, comenzar realizando un estudio previo con el propósito de tener presente que objetivos buscamos con el desarrollo del proyecto, cual va a ser la planificación del mismo, que estrategias se van a llevar a cabo y que resultados esperamos encontrar. A lo largo de este capítulo se presenta el Plan de Trabajo que se ha llevado a cabo.

Los puntos a tratar son:

- Introducción y objetivos.
- Alcance del proyecto.
- Planificación del proyecto.
- Evaluación de los medios
- Análisis de riesgos

1.1 Introducción.

"Un Sistema de Información Geográfico (SIG o GIS en su acrónimo inglés) es un conjunto de dispositivos para el almacenamiento, análisis, y utilización de las numerosas informaciones del territorio disponibles en formato digital. Este sistema está constituido por un conjunto de componentes informáticos (físicos y lógicos), medios y procedimientos preparados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos sobre el territorio." (Joaquín Bosque Sendra, "Sistemas de Información Geográfica". Epílogo)

"Los Sistemas de Información Geográficos se emplean para preparar y elaborar tareas de planificación y ordenación del territorio y para la gestión de multitud de cuestiones con una referencia espacial: grandes infraestructuras, catastros, transporte de mercancías y pasajeros, zonas urbanas, etc. De hecho se han desarrollado rápidamente por su amplia utilización en gran número de tareas." (Joaquín Bosque Sendra, "Sistemas de Información Geográfica". Epílogo)

Es de entender que, gracias a su capacidad de cálculo y a las herramientas que ofrecen estas aplicaciones para mostrar información sobre un marco de referencia como es la cartografía, los Sistemas de Información Geográficos estén tomando tanta fuerza.

Este proyecto quiere ser una muestra de las posibilidades que ofrece esta herramienta. Durante su realización vamos a crear un proyecto cartográfico, recopilando cartografía base ofrecida por distintos organismos, buscando información alfanumérica a explotar, generando nuevas capas de información específicas y realizando análisis de capas para obtener nuevos resultados.

Concretamente, el objetivo principal de este proyecto es el de construir un Sistema de Información Geográfico que permita el análisis de las diferentes rutas o caminos existentes entre Tarraco (Tarragona) y St. Bertrand de Comminges (Francia) pasando por Ilerda (Lérida) con el objetivo de encontrar el camino de mínimo coste atravesando los Pirineos.

Finalizado el proyecto se expondrán los resultados obtenidos así como todas las conclusiones sacadas del análisis de dichos resultados.

1.2 Objetivo del proyecto

Una vez finalizado este proyecto final de carrera, se deben de haber asumido los siguientes objetivos:

- Comprender los conceptos de la tecnología SIG y su metodología.
- Conocer la estructura de los diferentes tipos de datos con los que trabaja un SIG y el concepto de topología.
- Encontrar, generar y manipular datos geográficos.
- Saber plantear un proyecto SIG
- Conocer las operaciones de análisis espacial y transformaciones en el SIG analizado.
- Conocer de manera práctica las operaciones de análisis ráster.
- Entender y saber usar las operaciones de visualización y análisis de MDT (Modelo Digital del Terreno).

A parte, como objetivos específicos tendremos:

- Saber analizar los diferentes factores asociados a los datos manejados y su influencia en el cálculo de la ruta de coste mínimo entre las poblaciones de Ilerda y St. Bertrand de Comminges.
- Ser capaz de mostrar los resultados de análisis obtenidos en 3D.

1.3 Alcance del proyecto.

Se considera dentro del alcance de este proyecto:

- Estudio de la tecnología SIG y de su metodología, así como los conceptos de topología, cartografía y las estructuras de los diferentes tipos de datos.
- Búsqueda, recopilación y tratamiento de los datos geográficos que se utilizarán de base de análisis en este proyecto.
- Creación de la base de datos que servirá de muestra para este estudio.
- Estudio y familiarización con el software Intergraph GeoMedia PRO y su módulo GM GRID.
- Implementación de las herramientas de consulta automatizadas y del algoritmo de Dijkstra.
- Redacción de la memoria del proyecto.
- Realización de una presentación virtual.

1.4 Organización del proyecto.

1.4.1 Tareas.

A continuación mostramos todas las tareas consideradas necesarias agrupadas según se han planificado las distintas entregas según el calendario propuesto:

1.4.1.1 PAC1.

El objetivo de esta PAC es realizar las tareas necesarias para la creación del Plan de Trabajo que servirá de guión para la realización del proyecto.

Planificación del proyecto		10 horas
Inicio: 22/Sept/2008	Fin: 22/Sept/2008	No genera documentación
Estudio del proyecto para la obtención de una distribución del trabajo en tareas y una distribución en el tiempo según disponibilidad.		

Redacción del plan de trabajo		17 horas
Inicio: 24/Sept/2008	Fin: 27/Sept/2008	Genera documentación (10 pags)
Redacción del documento de plan de trabajo a partir del estudio realizado en la tarea anterior en el que se describe el contenido del proyecto, las tareas a realizar, el calendario y el estudio de riesgos. Se entrega un borrador a la directora del proyecto una semana antes de la fecha final.		

Corrección de modificaciones propuestas		10 horas
Inicio: 29/Sept/2008	Fin: 30/Sept/2008	No genera documentación
Cierre del documento de Plan de Trabajo incluyendo las propuestas realizadas por la directora del proyecto.		

1.4.1.2 **PAC2**

El objetivo de esta PAC será el de conseguir preparar todo el entorno de trabajo (instalación y familiarización con las herramientas que vamos a utilizar), estudiar el funcionamiento de los SIG junto con las estructuras de datos que manejan, familiarizarnos con el análisis de datos espaciales y la búsqueda de fuentes de información cartográfica que sirvan de base para el estudio.

Estudio de fundamentos SIG y datos cartográficos		10 horas
Inicio: 01/Oct/2008	Fin: 02/Oct/2008	Genera documentación (10 pags)
Conocimiento de los fundamentos de las herramientas SIG y las estructuras de datos cartográficos. Obtención de los conocimientos de análisis cartográficos necesarios para la realización de cálculos en fases posteriores.		

Instalación y familiarización con el software GeoMedia PRO		20 horas
Inicio: 03/Oct/2008	Fin: 06/Oct/2008	Genera documentación (5 pags)
Instalación de la herramienta SIG GeoMedia PRO. Conocimiento del entorno de trabajo que presenta así como el funcionamiento de las funciones de análisis que ofrece.		

Instalación y familiarización con el módulo GM GRID		15 horas
Inicio: 06/Oct/2008	Fin: 09/Oct/2008	Genera documentación (5 pags)
Instalación de la módulo GM GRID. Conocimiento del entorno de trabajo que presenta así como el funcionamiento de las funciones de análisis que ofrece. Para conseguirlo nos basaremos, entre otras fuentes, en los mini-tutoriales que vienen con la instalación.		

Instalación y familiarización con el compilador de Visual Basic 6.		10 horas
Inicio: 09/Oct/2008	Fin: 11/Oct/2008	Genera documentación (5 pags)
Instalación del compilador y familiarización con el entorno de trabajo.		

Análisis de datos cartográficos proporcionados		5 horas
Inicio: 11/Oct/2008	Fin: 11/Oct/2008	Genera documentación (4 pags)
Estudio de los datos que nos aporten para la obtención de una topología de datos correcta. En el caso de que los datos se incluyan en una base de datos serán evaluados en tareas posteriores.		

Ampliación del archivo de toponimia antigua		4 horas
Inicio: 11/Oct/2008	Fin: 12/Oct/2008	Genera documentación (5 pags)
Búsqueda de información necesaria para completar la información de toponimia relativa a la zona de estudio que se nos proporcione.		

Incorporación de datos aportados		5 horas
Inicio: 12/Oct/2008	Fin: 13/Oct/2008	No Genera documentación
Se incluirán en el repositorio de cartografía toda capa de información que se nos aporte. Toda aquella información que se deba almacenar en una base de datos se tratará en fases posteriores.		

Digitalización de fuentes de información cartográficas		12 horas
Inicio: 13/Oct/2008	Fin: 14/Oct/2008	Genera documentación (2 pags)
Creación de nuevas capas de información cartográfica a partir de nuevos datos aportados.		

Análisis de requerimientos y Diseño de la solución		28 horas
Inicio: 15/Oct/2008	Fin: 20/Oct/2008	Genera documentación (10 pags)
Conocidos los objetivos del proyecto y recopiladas aquellas fuentes de información que nos servirán de base pasamos a estudiar cual es la estrategia a seguir para encontrar la solución deseada.		

Diseño del modelo y estructura de datos a manejar		23 horas
Inicio: 20/Oct/2008	Fin: 24/Oct/2008	Genera documentación (5 pags)
Análisis de las fuentes de datos que van a estar almacenadas en la base de datos a crear. Diseño conceptual y lógico del modelo de datos basándonos en la utilización del lenguaje de modelado UML.		

Redacción de documentación PAC2		16 horas
Inicio: 26/Oct/2008	Fin: 28/Oct/2008	Genera documentación (10 pags)
Redacción y maquetación de toda la documentación generada en las tareas realizadas en esta fase. Preparándose un borrador que se entregará al director del proyecto una semana antes de la fecha final.		

Corrección de modificaciones propuestas		25 horas
Inicio: 30/Oct/2008	Fin: 3/Nov/2008	No genera documentación
Cierre del documento de PAC2 incluyendo las propuestas realizadas por la directora del proyecto.		

1.4.1.3 PAC3

El objetivo de esta PAC será el de realizar las tareas propias del proyecto, es decir, implementación de la base de datos de información, creación del proyecto cartográfico y ejecución del análisis cartográfico necesario para llegar a las soluciones deseadas.

Diseño físico de la base de datos		5 horas
Inicio: 4/Nov/2008	Fin: 4/Nov/2008	Genera documentación (3 pags)
Transformación del modelo lógico generado en la tarea anterior en la estructura física definitiva de nuestra base de datos siguiendo las herramientas y características del SGBD elegido (Microsoft Access o Oracle Database 10g).		

Incorporación de datos a la BBDD creada		5 horas
Inicio: 5/Nov/2008	Fin: 5/Nov/2008	Genera documentación (3 pags)
Introducción de todos los datos alfanuméricos aportados a las distintas tablas ya creadas.		

Cálculo de rutas óptimas sobre ráster		35 horas
Inicio: 06/Nov/2008	Fin: 12/Nov/2008	Genera documentación (20 pags)
Utilización de las herramientas de análisis ráster que nos aporta GeoMedia PRO para la búsqueda de los caminos de coste mínimo entre los puntos deseados según los distintos criterios de coste que vayamos utilizando.		

Análisis de resultados obtenidos y extracción de conclusiones		35 horas
Inicio: 12/Nov/2008	Fin: 19/Nov/2008	Genera documentación (20 pags)
Estudio de los resultados obtenidos en el análisis anterior para la obtención de las conclusiones consideradas.		

Visualización de resultados en 3D		25 horas
Inicio: 19/Nov/2008	Fin: 23/Nov/2008	Genera documentación (10 pags)
Utilización de la información aportada por el MDT para el muestreo de resultados en 3D de forma que sea mucho más visible y comprensible su interpretación.		

Implementación del algoritmo de Dijkstra		30 horas
Inicio: 23/Nov/2008	Fin: 29/Nov/2008	Genera documentación (10 pags)
Creación del mecanismo automatizado de cálculo de rutas mediante la programación en Visual Basic del algoritmo de Dijkstra. Comparación de los datos obtenidos con los resultados generados a partir del análisis ráste realizado en tareas anteriores.		

Redacción de documentación PAC3		12 horas
Inicio: 29/Nov/2008	Fin: 1/Dic/2008	Genera documentación (10 pags)
Redacción y maquetación de toda la documentación generada en las tareas realizadas en esta fase. Preparándose un borrador que se entregará al director del proyecto una semana antes de la fecha final.		

Corrección de modificaciones propuestas		22 horas
Inicio: 3/Nov/2008	Fin: 7/Nov/2008	No genera documentación
Cierre del documento de PAC3 incluyendo las propuestas realizadas por la directora del proyecto.		

1.4.1.4 Memoria y presentación

Redacción final de la Memoria del Proyecto		40 horas
Inicio: 9/Dic/2008	Fin: 16/Dic/2008	Genera documentación (20 pags)
Redacción de los aspectos finales del proyecto donde se sintetiza el trabajo realizado y las conclusiones obtenidas. En este documento se incluye toda la documentación entregada en la PAC2 y PAC3.		

Elaboración de la presentación del proyecto		60 horas
Inicio: 16/Dic/2008	Fin: 28/Dic/2008	Genera documentación (20 pags)
Preparación de una presentación creada con Microsoft PowerPoint donde se resumirá de manera gráfica todo lo realizado durante el proyecto final de carrera, los resultados obtenidos y las conclusiones extraídas mediante el análisis de dichos resultados.		

Corrección de modificaciones propuestas		22 horas
Inicio: 29/Dic/2008	Fin: 4/Dic/2008	No genera documentación
Cierre de la Memoria del Proyecto y de la presentación incluyendo las propuestas realizadas por la directora del proyecto.		

1.4.2 **Calendario.**

Para la realización de este proyecto se ha programado la realización aproximada de 41 horas semanales repartidas de la siguiente forma:

- De lunes a viernes: 5 horas diarias.
- Fines de semana: 8 horas diarias.

En el diagrama de Gantt de la figura 1 podemos observar como quedan repartidas las tareas expuestas anteriormente en el tiempo.

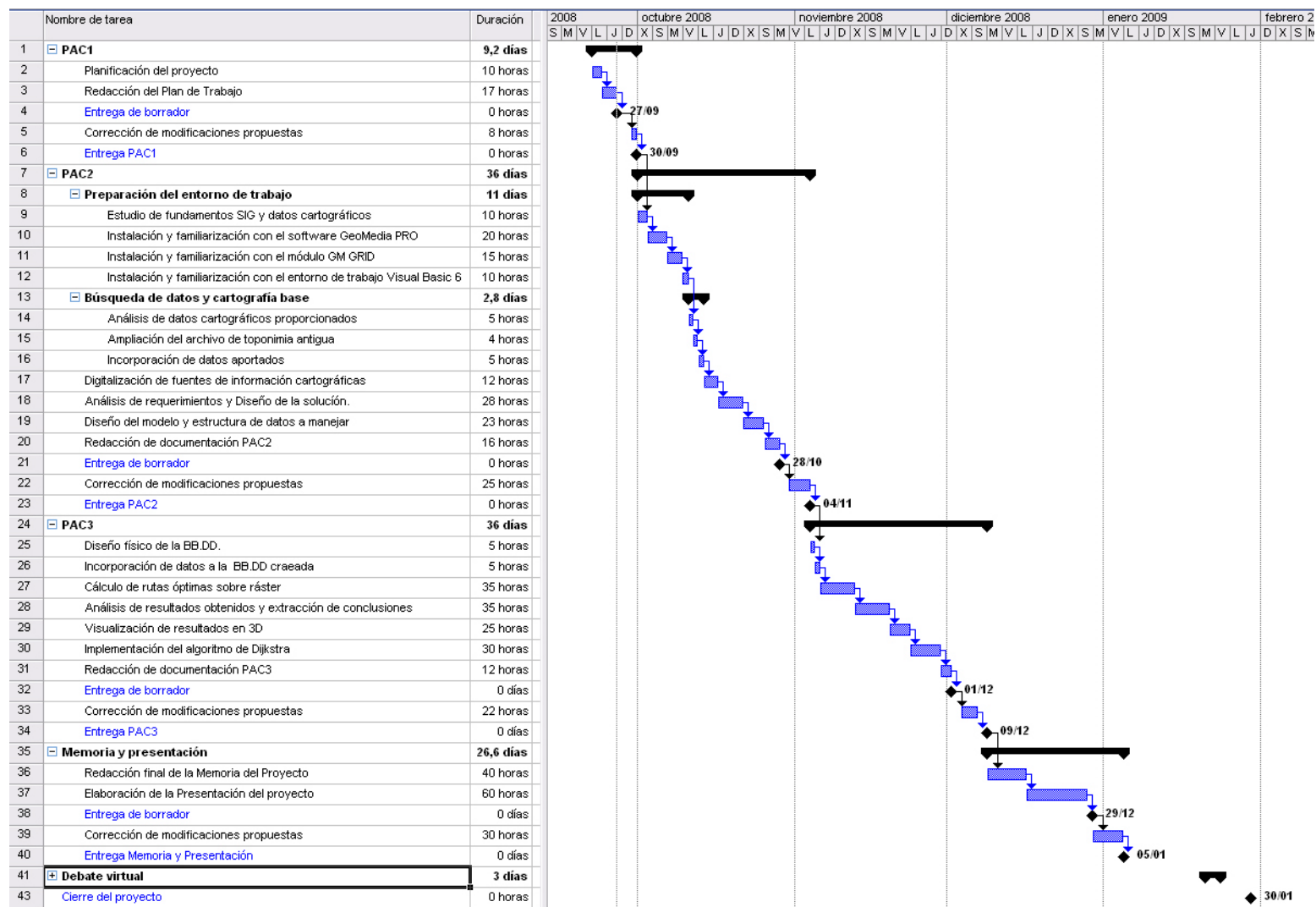


Figura 1. Diagrama de Gantt del proyecto.

1.4.3 Hitos principales.

A continuación mostramos un resumen de la planificación (Figura 2) y recopilamos una tabla con los hitos más relevantes del calendario.



Figura 2. Resumen de la planificación del proyecto.

1.4.3.1 Hitos del proyecto

Fecha	Descripción
27/Sept/2008	Entrega del borrador del Plan de Trabajo.
30/Sept/2008	Entrega final del Plan de Trabajo.
28/Oct/2008	Entrega del borrador de la documentación de la PAC2.
4/Nov/2008	Entrega final de la documentación de la PAC2.
1/Dic/2008	Entrega del borrado de la documentación de la PAC3.
9/Dic/2008	Entrega final de la documentación de la PAC3.
29/Dic/2008	Entrega del borrador de la Memoria y Presentación del proyecto.
5/Enero/2009	Entrega final de la Memoria y Presentación del proyecto.
21/Enero/2009	Debate virtual del Proyecto.
30/Enero/2009	Cierre del proyecto.

Tabla 1. Hitos principales del proyecto.

1.5 Evaluación del material

Para la realización de este proyecto, trabajaremos con el siguiente software:

- **Microsoft Word 2003.** Editor de texto con el que generar toda la documentación del proyecto.
- **Microsoft PowerPoint 2003:** Aplicación que usaremos para crear la presentación final del proyecto.
- **Microsoft Project 2003:** Software destinado a la realización y seguimiento de planificaciones de proyectos.
- **Visual Basic 6:** Compilador destinado a la programación de aplicaciones el cual utilizaremos para la programación de automatismos como en el caso de la implementación del algoritmo de Dijkstra para el cálculo de rutas.
- **Gestor de Base de Datos (Microsoft Access 2003 o Oracle Database 10g):** Independientemente de la elección que hagamos, lo utilizaremos como repositorio de información destinada a su explotación y representación sobre la cartografía base que utilizemos.
- **Editor UML (Gentleware Poseidon o Microsoft Visio 2003):** Editor que usaremos para la realización de análisis orientado a objetos mediante diagramas UML. Gracias a este software podremos realizar el análisis conceptual del modelo de datos a diseñar y generar posteriormente la estructura de datos necesaria.
- **Intergraph GeoMedia Professional.** Sistema de Información Geográfica que usaremos de base de estudio con el que realizaremos el proyecto cartográfico, realizaremos el análisis de capas, digitalización de nuevas capas, etc... A partir del módulo **GM GRID** asociado a dicho SIG se realizarán todos los cálculos necesarios para la obtención de caminos de coste mínimo.
- **Adobe Photoshop 7:** Software de tratamiento de imágenes que usaremos para la preparación de cualquier gráfico o imagen que debamos incluir en los distintos documentos.

Cabe la posibilidad que puntualmente sea necesaria la utilización de cualquier otra herramienta fuera de la propuesta en el listado anterior. En ese caso, se ampliará la lista durante la elaboración de la Memoria Final del Proyecto o en las posteriores revisiones.

1.6 Análisis de riesgos.

En toda planificación inicial siempre es posible sufrir desviaciones frente a posibles imprevistos o factores incontrolables. Para evitar que dichas desviaciones nos lleven al traste la finalización del proyecto es necesario realizar un estudio de todos aquellos riesgos potenciales junto con el plan de contingencia asociado a él que permita al máximo la recuperación de esa desviación.

Los posibles riesgos potenciales encontrados son los siguientes:

Riesgo: Falta de experiencia en el uso de herramientas y tecnología.

Descripción: Dado que somos inexpertos en la ejecución y seguimiento de proyectos de esta índole, es posible que el tiempo necesario para controlar una herramienta sea superior a la inicialmente planificada.

Probabilidad: Alta

Acción correctiva: En caso de que sea necesario se deberán utilizar más horas de los fines de semana para poder recuperar el tiempo perdido. A parte, en todo momento se tendrá contabilizado el tiempo ganado en las tareas donde se haya necesitado menos tiempo del planificado para llevar un control en tiempo real del margen sacado.

Riesgo: Desplazamientos por motivos laborales

Descripción: Debido al tipo de trabajo que se tiene cabe la posibilidad de que se tengan que realizar viajes por lo que no se podrán realizar trabajos específicos con la herramienta GeoMedia PRO (recordar que la licencia de uso es única por host).

Probabilidad: Baja.

Acción correctiva: Dado que dichos desplazamientos estarán planificados con algo de anterioridad, se redistribuirán las tareas de manera que durante ese tiempo se puedan adelantar otras mediante el uso de otras aplicaciones como procesadores de texto, gestores de bases de datos, editores UML,... Sabemos que hay tareas planificadas que pueden ejecutarse en paralelo al no tener una dependencia clara. En el caso de tener una planificación unilineal en el diagrama de Gantt es debido al uso compartido de los recursos y no a la dependencia propia entre resultados de tareas.

Riesgo: Reducción en el tiempo de dedicación.

Descripción: Es posible que debido a compromisos sociales o imprevistos haya días en los que no se puedan realizar el total de horas planificadas.

Probabilidad: Media

Acción correctiva: Contabilizadas las horas por semanas, se intentará recuperar las horas en el resto de días de la semana. A parte, en todo momento se tendrá contabilizado el tiempo ganado en las tareas donde se haya necesitado menos tiempo del planificado para llevar un control en tiempo real del margen sacado. Cabe destacar que los días festivos se han contemplado como días normales por lo que siempre se pueden ganar algunas horas más en esos días.

Riesgo: Pérdida de información.

Descripción: Es posible que debido a fallos electrónicos se pierda información

Probabilidad: Baja

Acción correctiva: Periódicamente se realizarán copias de seguridad en dispositivos independientes de forma que el total de información perdida sea mínima.

Capítulo 2.

¿Qué es un Sistema de Información Geográfico?.

No cabe duda que antes de comenzar a entrar en materia con el estudio de información y obtención de resultados es necesario conocer perfectamente las herramientas, los medios y la información que vamos a manejar. Durante este capítulo se pretende hacer conocer los conceptos básicos que caracterizan los Sistemas de Información Geográficos (en adelante SIG), los elementos que los componen, la información que manejan y las aplicaciones que podemos realizar con ellos.

Los puntos a tratar son:

- Definición de un SIG.
- Evolución histórica.
- Comparativa de un SIG con otros sistemas.
- Componentes de un SIG.
- Puntos de vista de un SIG.
- Tareas a realizar en un SIG.

2.1 Definición de SIG

Hoy en día, dada la amplitud de fuentes que se dispone para obtener información, es fácil encontrarse con un amplio surtido de definiciones las cuales, coincidiendo en su gran parte, presentan matices diferentes dependiendo del enfoque que se les den.

Como ejemplo de ello, a lo largo de la historia se han dado definiciones como: «Base de datos computerizada que contiene información espacial» [B3] u otra definición como: «Un conjunto de herramientas para reunir, introducir [en el ordenador], almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos» [B4].

Otros autores dan una definición insistiendo más en un enfoque informático: «Un Sistema de Información Geográfica es un tipo especializado de base de datos, que se caracteriza por su capacidad de manejar datos geográficos, es decir, espacialmente referenciados, los cuales se pueden representar gráficamente como imágenes» [B5].

Entre todas ellas es importante tener en cuenta la definición dada por el NCGIA (*National Center for Geographic Information and Analysis*) de USA que lo define como: «Un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.»

Como se ve, existen múltiples definiciones de Sistema de Información Geográfico (en adelante SIG) de diversa naturaleza, algunas tan simples como el hecho de asociarlo a una base de datos relacionada con un software gráfico o a un sistema que permite almacenar datos alfanuméricos espacialmente localizados. Hay que destacar que, como se verá más adelante, un SIG no es sólo un programa de cartografía por ordenador ni un programa de tipo CAD. Lo específico del SIG reside en su capacidad para almacenar grandes masas de información georeferenciada y analizarla, de modo que pueda abordar problemas de planificación y ayudar en la toma de decisiones.

2.2 Evolución histórica.

A lo largo de los años 60's y 70's la tecnología de los ordenadores se pusieron al servicio del desarrollo de tecnología automatizada donde, dentro del campo de la información espacial, la mayoría de los programas estuvieron dirigidos hacia la automatización del trabajo cartográfico. En cambio, algunos pocos exploraron nuevos métodos para el manejo de dicha información para la obtención de resultados siguiendo básicamente dos tendencias:[W2]

- La producción automática de dibujos con un alto nivel de calidad pictórica.
- La producción de información basada en el análisis espacial pero con el costo de una baja calidad gráfica.

En el año 1964 en Canadá, se inició el diseño del primer SIG "formal" denominado *Canadian Geographical Information System* (CGIS) el cual desde 1967 ha servido para el inventario y planeamiento de la ocupación del suelo en grandes zonas de este país. En su creación se plantearon muchos de los problemas técnicos y conceptuales, en especial los referentes a la estructura y organización de la base de datos y a los métodos de entrada de la información.

La finalidad principal de los primeros sistemas era la de inventariar principalmente recursos, en especial los relacionados con los usos del suelo, por lo que aportaban pocos recursos y herramientas destinados al análisis de toda esa información. El incremento de las posibilidades de análisis geográfico vino unido, inicialmente, a la creación de sistemas "ráster". Por ello surgieron dos líneas de desarrollo, el enfoque "ráster" y el enfoque "vectorial".

Sólo a finales de los años setenta, con el desarrollo de una estructura topológica para los datos espaciales se han creado Sistemas de Información Geográfico vectoriales con mayores

capacidades analíticas y éstos han empezado a ser de uso más general, como es el caso del citado ARC/INFO.

A finales de los años 80's y principios de los 90's los SIG se han convertido en un tema candente y en rápida expansión. Buena muestra de ello es, por ejemplo, la creación del Centro Nacional para la Investigación Geográfica y Análisis (NCGIA), con la finalidad de desarrollar investigación básica sobre el análisis geográfico utilizando los SIG. Este nuevo centro ha elaborado un plan de investigación con varias líneas o iniciativas, análisis espacial y estadística espacial, relaciones espaciales y estructura de las bases de datos, inteligencia artificial y sistemas expertos, visualización de datos espaciales, cuestiones institucionales, sociales y económicas de los SIG. [B6]

El siglo XX se caracterizan por la madurez en el uso de estas tecnologías en los ámbitos tradicionales y por su expansión a nuevos campos (como el de los negocios), todo esto propiciado por el uso de los ordenadores de gran potencia y sin embargo muy asequibles. Los usuarios comienzan a exportar el concepto de visualización de datos SIG a Internet, lo que requiere una estandarización de formatos de datos y de normas de transferencia.

En la actualidad, los SIG han pasado de ser una herramienta usada por técnicos especializados en la materia a funcionar como un instrumento común en la vida de cualquier persona. No tenemos nada más que observar el continuo aumento de las ventas de GPS para coches o la tan aprovechada búsqueda de una ruta óptima para llegar a cualquier destino que muchas páginas web ofrecen. No es más que tecnología SIG aplicada para uso cotidiano de las personas, de la cual éstas se benefician sin ser conscientes en la mayoría de los casos de que realmente están utilizando un SIG.

2.3 Comparativa de un SIG con otros sistemas

Debido al amplio abanico de capacidades y herramientas que ofrece un SIG, es normal encontrar entre ellas muchas que coinciden con las funcionalidades ofrecidas por otros sistemas o aplicaciones. Este hecho lleva a que fuera del ámbito profesional nos encontremos situaciones en las que se clasifiquen como herramientas SIG otras aplicaciones enfocadas a otro ámbito. Especialmente se va a hacer comparación con los sistemas CAD (Diseño asistido por ordenador) y a los DM (*Desktop Mapping* o Cartografía de Escritorio) de los cuales se pretende dar a conocer cuales son sus utilidades y cuales son las principales diferencias por las que no se pueden considerar una herramienta SIG.

2.3.1 Diseño asistido por ordenador (CAD).

Los CAD, al igual que los SIG están preparados para crear y almacenar mapas aunque el propósito para el que están pensados es muy distinto. Hay que tener siempre en cuenta que los CAD están pensados para el diseño técnico por lo que ofrecen herramientas para crear y representar elementos geográficos pero no están preparados para gestionar dichos elementos geográficos como se pretende con los SIG.

Concretamente, dentro de los sistemas CAD, existen los *CAD Mapping Systems* (CDS), resultado de enlazar dos sistemas existentes en el mercado, un CAD común y un Sistema Gestor de Bases de Datos Relacionales (SGBDR). De esta forma los datos alfanuméricos contenidos en las bases de datos se asocian con elementos gráficos de un archivo—dibujo de CAD.

Algunas de las diferencias principales que encontramos entre la parte gráfica de un SIG y un CAD son:

- Propósitos diferentes: Los SIG están pensados para reflejar la realidad mientras que los CAD están diseñados con el propósito de diseñar algo que no existe todavía.
- Ambos tienen un estrato geométrico, pero la creación de estos elementos es distinta: en CAD los crea un usuario delineante, con exactitud. En SIG se toman de mapas o del terreno con un cierto error e imprecisión inevitable pero mensurable.

- El CAD segmenta los datos en archivos independientes que no comparten un espacio de coordenadas global. En SIG los datos conforman un conjunto continuo. (Esto implica diferentes formas de acceso y diferentes problemas de concurrencia).
- Los CAD habitualmente permiten el enlace con una base de datos, pero no permiten una integración suficiente como para responder preguntas que combinen criterios alfanuméricos y espaciales. (No cuentan con un lenguaje de consulta alfanumérico/espacial, ni la posibilidad del análisis de superposición, al igual que no disponen de un esquema topológico de la información espacial).
- Hay algunos tipos de datos característicos del SIG que un CAD no gestiona: datos "ráster georeferenciados" y con atributos, como los de teledetección, o Modelos Digitales del Terreno.
- Un CAD presenta una distribución de los elementos en forma de capas aunque en ellas únicamente se almacena propiedades como el color o tipo de línea.

En definitiva, un CAD no es un Sistema de Información sino un sistema gráfico.

2.3.2 Cartografía de escritorio (DM)

Los DM son herramientas que permiten el uso de datos espaciales por parte de usuarios que no son expertos en programación, cartografía o geodesia y de forma análoga a manejar procesadores de textos, hojas de cálculo o bases de datos sin conocimientos de tipografía, maquetación o teoría de computación. Su propósito es el de permitir el análisis y visualización de bases de datos que contienen información espacial apoyándose en los mecanismos de visualización que ofrecen los Sistemas Operativos como Microsoft Windows, Mac OS,...

El requisito para explotar éstas aplicaciones es que junto con la aplicación se suministren los datos espaciales básicos referidos al área de interés del usuario de forma ya estructurada. (Mapas de municipios, infraestructura, topográficos, urbanos...). Así vienen a ser herramientas de explotación de los datos que genera un SIG. Normalmente serán usuarios de SIG los que proveerán los datos y las aplicaciones verticales para un sistema DM.

Un ejemplo de este tipo de aplicaciones es *Professional Map* desarrollado por MapGènia con el que una empresa puede reflejar los datos de sus clientes (recogidos en una base de datos Access o una hoja de cálculo Excel) sobre un mapa a partir de los mapas base aportados con el programa.

Algunas de las limitaciones que presentan estos sistemas frente a los SIG son:

- Los DM no son aptos para la creación de nuevos mapas por digitalización, escaneado-vectorización, uso de GPS, o incorporación de datos geométricos no estructurados, pues habitualmente no cuentan con la capacidad de depuración de los datos, creación de topología y transformación para su correcta localización espacial.
- Los DM tampoco permiten crear nuevos temas combinando datos existentes por análisis de superposición. No se cuenta con funciones avanzadas de manipulación de la topología ni de modelado cartográfico.
- Con los DM no se pueden gestionar datos tridimensionales. Esto excluye la creación de vistas perspectivas, análisis de visibilidad, etc. (Aunque se pueden crear aplicaciones que implementen alguna funcionalidad de este tipo, como crear curvas de nivel, aplicar modelos de iluminación, ...)
- Un área en la que un DM resulta insuficiente es en el tratamiento de datos de teledetección, que requiere capacidad de proceso de grandes cantidades de datos ráster. Si que es posible la utilización de productos de teledetección.
- Tampoco se pueden esperar de un DM las capacidades más avanzadas de los modernos SIG, como "metadatos" de calidad, control de concurrencia dinámico, variabilidad temporal de los datos, etc.).

2.4 Componentes de un SIG

Una de las vías de dar a conocer la arquitectura de un SIG es a partir de sus componentes, tanto lógicos como físicos como podemos ver en la figura (Figura 3):[W1][W2][W7]



Figura 3. Diagrama de componentes de un SIG

- **Componente Hardware:** Es evidente que este componente engloba a todo lo referente tanto a equipos como a periféricos. Como núcleo encontramos el equipo de trabajo, ya sea un ordenador personal como un servidor más estación de trabajo.

En él correrá todo el software que nos proporcione las herramientas SIG. El resto de elementos que conforman el componente hardware son todos los periféricos que apoyan al trabajo con SIG. Entre ellos encontramos los dedicados a entrada de datos (escanners, tabletas digitalizadoras...), los dedicados a la salida de datos (plotters, impresoras, ...), los dedicados a recogidas de datos (GPS para recogida de datos en campo, ...).

- **Componente Software:** Este componente engloba al conjunto de programas y herramientas que implementan las funcionalidades que nos ofrece un SIG, los cuales por lo general vienen integrados dentro de un mismo paquete. Estas herramientas son esenciales para la creación, edición y análisis espacial de los datos almacenados. A parte de los paquetes SIG, hoy en día se desarrollan y comercializan extensiones dedicadas a funcionalidades concretas de manera que podamos hacer crecer la potencia del paquete instalado inicialmente.

Aparte, también encontramos englobado en el software los Sistemas Gestores de Base de Datos (SGBD) externos, los cuales serán los encargados del almacenamiento e integridad de todos los datos alfanuméricos explotables mediante un SIG.

- **Componente Dato:** Este componente es la base de todo SIG. Engloba principalmente a dos tipos de información: Toda aquella información que en cierto modo está asociada a una localización espacial y que se define como Geodatabase y toda aquella información destinada a la descripción (fecha de creación, sistema de coordenadas, última modificación,...) de la Geodatabase conocidos como Metadatos. (véase Capítulo 3).
- **Componente Métodos:** Todo SIG opera acorde a un plan bien diseñado y unas reglas de actividad destinados a la realización de un análisis de datos y resolución de problemas. Dentro de este componente encontramos toda la documentación que describe un proyecto, la información que maneja, los objetivos, el tipo de resultados a obtener, los procedimientos a seguir para conseguirlos, etc.
- **Componente Usuario:** Un equipo de trabajo bien preparado y formado para el análisis espacial y experto en el uso de SIG es esencial para el éxito de todo SIG. Dentro del conjunto de usuarios encontramos tanto a los usuarios finales como analistas, programadores, personal de campo...

2.5 Puntos de vista de un SIG.

Aunque por lo general un SIG se encasilla únicamente como una herramienta para la creación de mapas, éstos presentan un potencial mayor con el que se puede dar solución a distintos tipos de problemas. Es interesante describir los SIG según distintos puntos de vista para asimilar dicho potencial:[W6]

- Desde el punto de vista de Base de Datos.

Un SIG, más que ser un tipo de base de datos como confunde mucha gente, se fundamentan en la utilización de bases de datos estructuradas (bases de datos referenciales) cuya finalidad es la de mantener toda aquella información que puede ser mostrada de forma dinámica sobre la localización espacial deseada. (Véase Capítulo 3)

Además, los SIG ofrecen herramientas para la realización de consultas dinámicas sobre dichos datos de forma visual e intuitiva.

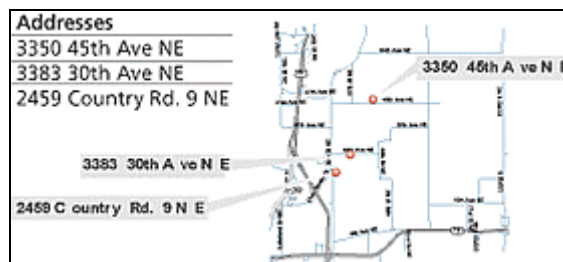


Figura 4. Ejemplo de datos asociados a un callejero.

- Desde el punto de vista de Mapas.

Un SIG es un conjunto de mapas inteligentes en los cuales se muestran unos datos y sus relaciones sobre la superficie terrestre. Dichos mapas se pueden utilizar para realizar consultas, análisis y edición de los datos que soporta las bases de datos conectadas al SIG.

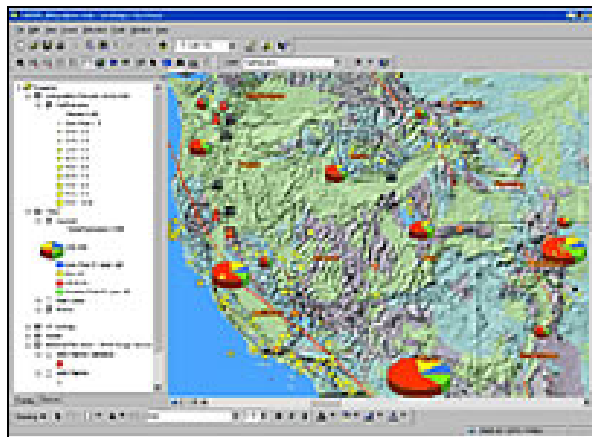


Figura 5. Ejemplo de análisis de datos sobre un mapa.

- **Desde el punto de vista de Modelado de Información.**

Un SIG puede definirse como un conjunto de herramientas de transformación de información utilizadas con el objetivo de obtener nuevos subconjuntos de datos a partir de los existentes dentro de las bases de datos conectadas. El geoprocésamiento consiste en coger la información almacenada, realizar análisis geográfico aplicando funciones de transformación y almacenar los resultados obtenidos para ser mostrados posteriormente sobre nuevos mapas.

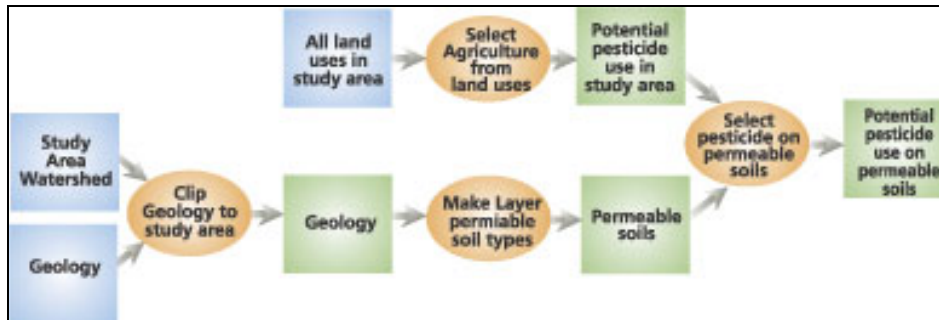


Figura 6. Ejemplo de Geoprocésamiento [W6]

2.6 Tareas a realizar con un SIG

Teniendo en cuenta que los SIG son Sistemas de Información destinados al apoyo de toma de decisiones, es evidente que estos nos ofrecen herramientas de análisis y muestreo de datos con los que se pueden obtener nuevos resultados.

Principalmente los SIG pueden responder a cuestiones de **localización** (¿qué hay en...?), **condición** (¿dónde sucede que...?), **tendencias** (¿qué ha cambiado...?), **pautas**, **modelos**, **rutas**, etc., cuestiones que son de interés primordial en actividades relacionadas con la planificación.

Los SIG ayudan en el estudio de la distribución y monitorización de recursos, tanto naturales como humanos, así como en la evaluación del impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente natural. De esta forma contribuimos en la planificación de actividades destinadas a la preservación de los recursos naturales, por ejemplo.

El uso de los SIG está materializándose en importantes beneficios económicos en las instituciones y empresas que implementan esta tecnología. Entre estos beneficios se destacan:

- Realizar un gran número de procesos geográficos, sobresaliendo las superposiciones de mapas en corto tiempo, transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de bases de datos, así como su administración y mantenimiento.
- Consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema, con información exacta, actualizada y centralizada.
- Realizar pruebas analíticas complejas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial, sin la necesidad de repetir actividades redundantes o tediosas.
- Minimización de costes de operación e incremento de la productividad.
- Ayuda en la toma de decisiones con el fin de focalizar esfuerzos y realizar inversiones más efectivas.
- Comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (análisis temporal).
- Efectuar algunos análisis, de forma rápida que hechos manualmente resultarían largos y molestos.
- Integrar en el futuro, otro tipo de información complementaria que se considere relevante y que esté relacionada con la base de datos nativa u original.

Capítulo 3.

Introducción a la Cartografía.

Como hemos visto en el capítulo anterior, los SIG están directamente relacionados con la creación de nuevos mapas y manipulación de información georeferenciada. En este capítulo se tratarán los principios asociados a los mapas, es decir, la Cartografía y la Geodesia.

«Un mapa es una representación geométrica plana, simplificada y convencional, de toda o parte de la superficie terrestre, con una relación de similitud proporcionada, a la que se llama escala»[B2]

Los puntos a tratar en el siguiente capítulo son:

- Definición de Cartografía.
- Espacio geográfico y los problemas de escala.
- Introducción a la Geodesia.
- Sistemas de proyección.
- Sistemas de referencia.
- Sistemas de coordenadas.

3.1 Definición de cartografía.

La cartografía ha desempeñado un papel fundamental a lo largo de la historia de la Humanidad. En el Siglo XX los mapas unidos a la tecnología de los sistemas de información geográfica son excelentes herramientas que nos permiten comparar, escoger y tomar decisiones basados en información actualizada e integral.

La palabra cartografía tiene su origen en los vocablos **charta** del Latín que significa papel que sirve para comunicarse o carta y **grapho** del griego que significa descripción, estudio o tratado. La cartografía es la rama del grafismo que se ocupa de los métodos e instrumentos utilizados para exponer y expresar ideas, formas y relaciones en un espacio bidimensional o tridimensional. La cartografía parte del principio de que los seres vivos, los fenómenos físicos y sus interrelaciones ocurren en un contexto temporal y espacial y que por lo tanto es posible reflejarlos sobre mapas.

La cartografía tiene por objeto la concepción, preparación, redacción y realización de los mapas. La Asociación Internacional de Cartografía en su primera reunión celebrada en la UNESCO (París) en abril de 1968, adoptó la siguiente definición: «Cartografía es el conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que intervienen, a partir de los resultados de las observaciones directas o de la explotación de una documentación, en el establecimiento de mapas, planos y otras formas de expresión, así como en su utilización» [B2]

Todo punto del espacio geográfico puede ser definido por su situación relativa con respecto a un sistema de referencias fijas que se llama sistema de coordenadas terrestres. Como bien es sabido estas coordenadas son: [B2]

- Longitud, que es la distancia entre el meridiano de un lugar y el de Greenwich, tomado como origen.
- Latitud, que es la distancia entre el paralelo de un lugar y el Ecuador, tomado como origen;

Las coordenadas terrestres se determinan mediante medidas astronómicas o geodésicas, por las que se establece la posición del lugar sobre el geoide.

La cartografía es la única construcción gráfica que, por medio de las transformaciones denominadas sistemas de proyección, permite realizar el traslado del sistema de coordenadas terrestres a un plano de dimensiones manejables.

En los puntos siguientes se da a conocer un poco más los sistemas de coordenadas, los sistemas de proyección y el concepto de escala.

3.2 Espacio geográfico y los problemas de escala.

Es obvio que para poder representar los espacios geográficos que se encuentran en la realidad dentro de un mapa es necesaria la utilización de un factor de reducción que, aunque cambiando de dimensiones, nos mantenga las proporciones.

Dicho factor es lo que conocemos como escala y debe ser el primer elemento que consulte la persona que observe un mapa. «La escala se define como la razón constante que existe entre las distancias lineales medidas sobre un mapa y las distancias lineales correspondientes medidas sobre el terreno.» [B2]

La escala se expresa normalmente mediante una fracción en la que el numerador es la unidad de medida sobre el mapa y el denominador el número de estas mismas unidades comprendidas en la longitud correspondiente sobre el terreno.

$$\frac{1}{N} = \frac{Dr}{Dd} \text{ donde } \mathbf{Dr} \text{ representa la distancia real y } \mathbf{Dd} \text{ la distancia del dibujo.}$$

Figura 7. Cálculo de la escala de un mapa.

La representación de la escala dada anteriormente (si bien se puede encontrar también representada como 1:N) es la llamada **representación numérica** aunque en la práctica, y sobretodo para evitar que la escala resulte falseada por las alteraciones del papel o por las ampliaciones o reducciones a que pueda someterse un original, encontramos la **representación gráfica** de la escala consistente en una recta dividida en n partes iguales, correspondientes a la unidad adoptada sobre el terreno.

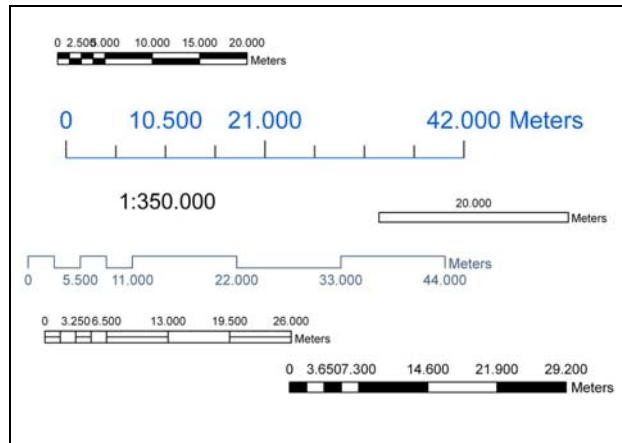


Figura 8. Ejemplos de representación numérica y gráfica de la escala.

Dependiendo de cuál sea la escala utilizada en un mapa, aparecen ante nuestros ojos diferentes motivos de estudio. A escala de 1:1.000 y 1:5.000 se pueden estudiar fenómenos de mucho detalle. Con escalas entre 1:5.000 y 1:20.000 podemos representar planos callejeros de ciudades. Entre 1:20.000 y 1:50.000 podemos estudiar comarcas y municipios. Entre el 1:50.000 y el 1:200.000 podemos estudiar provincias y regiones, y las carreteras. Entre 1:200.000 y 1:1.000.000 podemos ver las regiones y los países. A escalas inferiores a 1:1.000.000 podemos ver continentes y hasta el mundo entero.

El mapa más usual en el estudio geográfico es el de escala 1:50.000. A esta escala está representado en mapa topográfico básico de todos los países.

3.3 Introducción a la Geodesia.

La forma real de la Tierra es irregular y enormemente compleja por lo que para determinar la posición de objeto es necesaria la utilización de un modelo, es decir, una simplificación del objeto real que va a ser útil para ser usado como base del establecimiento de un sistema de referencia espacial.

La palabra Geodesia literalmente expresa "división de la Tierra", sin embargo, diversos autores notables establecen distintas definiciones de este concepto. Como definición extendida, se puede definir Geodesia como «la ciencia que tiene por objeto la determinación de la forma y dimensiones de la Tierra» [B7] Para algunos, dicha definición engloba a la **Geodesia Teórica** mientras que consideran que la **Geodesia Práctica** establece los procedimientos para la medida de porciones terrestres. Esta segunda, permite establecer, sobre un territorio dado, una red de puntos materiales, de posición y altitud exactamente conocida, llamada Red Geodésica (Figura 9).

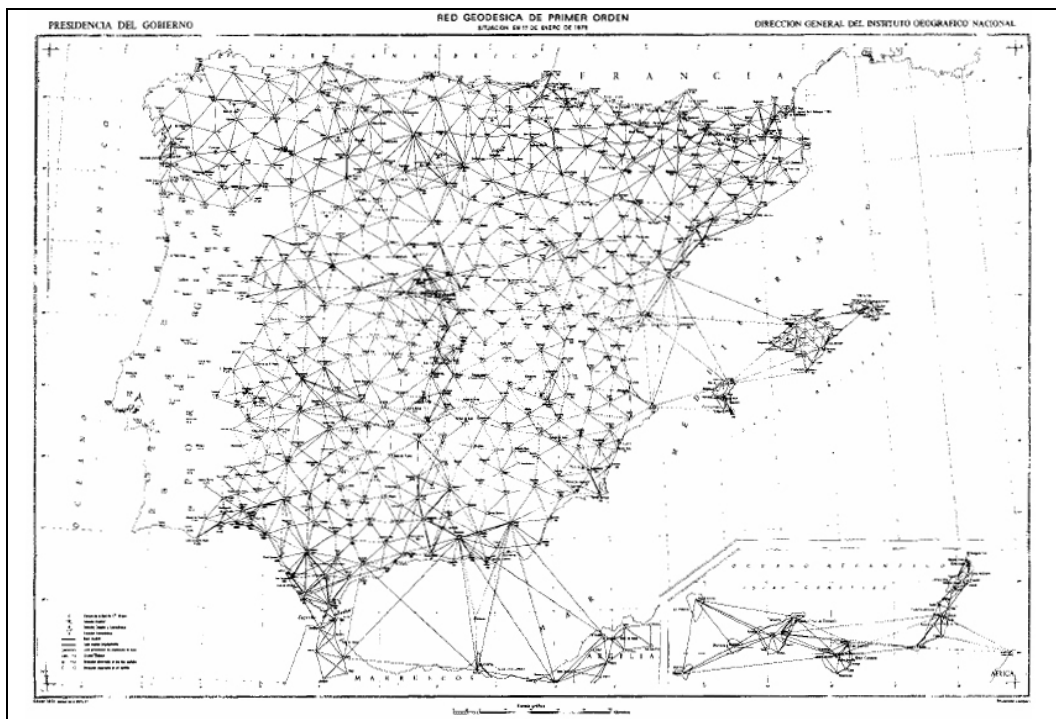


Figura 9. Mapa de la Red Geodésica Nacional. 1978.

Las operaciones geodésicas son previas a la ejecución de todo mapa topográfico fundamental. Consisten en situar con gran precisión, sobre la superficie a cubrir, referencias llamadas vértices geodésicos, a los cuales se refieren después todos los demás puntos observados.

Para medir la Tierra y determinar su forma, la Geodesia se basa en cuatro fuentes de datos (astronómicos, geométricos, dinámicos o geofísicos y geodesia espacial) cuya integración tiene por resultado la definición del Geoide que significa "forma de la Tierra".

El Geoide es la superficie equipotencial del campo gravitatorio coincidente, de forma aproximada, con el nivel medio de los océanos. Dicha coincidencia no es exacta debido a factores como: corrientes marinas, vientos dominantes y variaciones de salinidad y de la temperatura del agua del mar, etc.

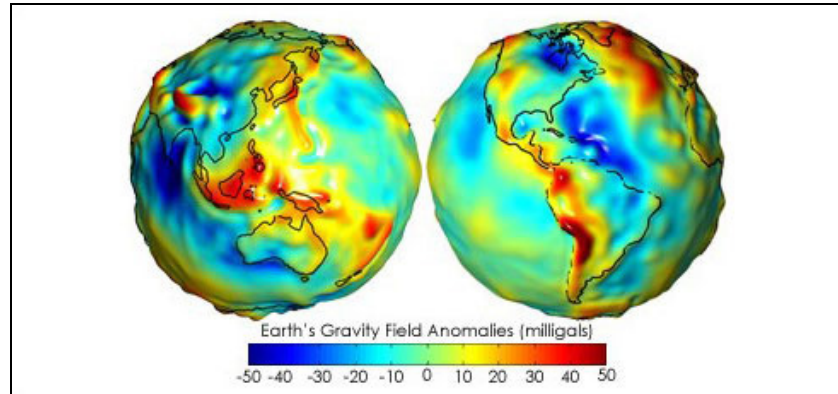


Figura 10. Anomalías del campo gravitatorio terrestre, base de definición del Geoide.

En la práctica, el Geoide es reemplazado por un modelo matemático teórico llamado *elipsoide de referencia* (o elipsoide convencional) al cual se refieren todas las medidas que ligan entre sí los diferentes puntos del espacio geográfico y que sirve de base a los diversos sistemas cartográficos de proyección. Este elipsoide biaxial es una figura tridimensional generada por la rotación de un elipsoide sobre su eje más corto, el cual coincide aproximadamente con el eje de rotación de la Tierra.

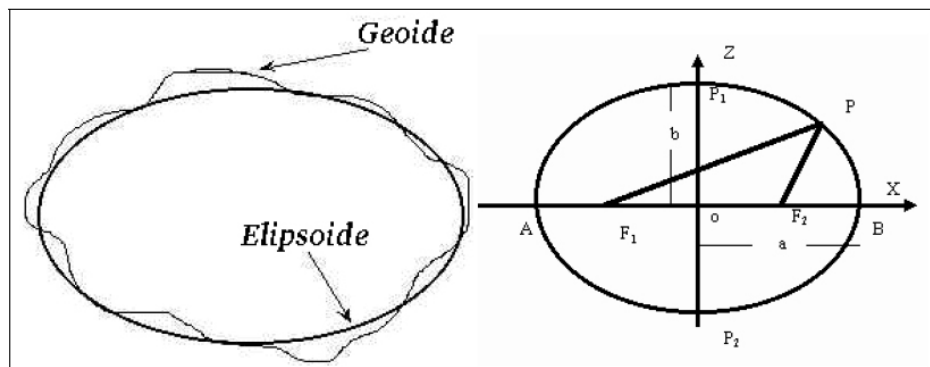


Figura 11. Modelo matemático del Geoide basado en rotación de un elipsoide. [W8]

3.4 Sistemas de proyección.

La representación cartográfica del globo terrestre, ya sea considerado éste como esfera o una elipsoide, supone un problema debido a que no existe modo alguno de representar toda la superficie desarrollada sin deformarla e incluso de llegar a representarla fielmente. Esto es debido a que la superficie de una esfera no es desarrollable en su conversión a un soporte papel (representación plana).

Para pasar del elipsoide a un mapa, dibujado sobre un plano, es necesario establecer una correspondencia adecuada entre los puntos del elipsoide y los del plano. Este sistema de correspondencia se denomina **Sistema de proyección**.

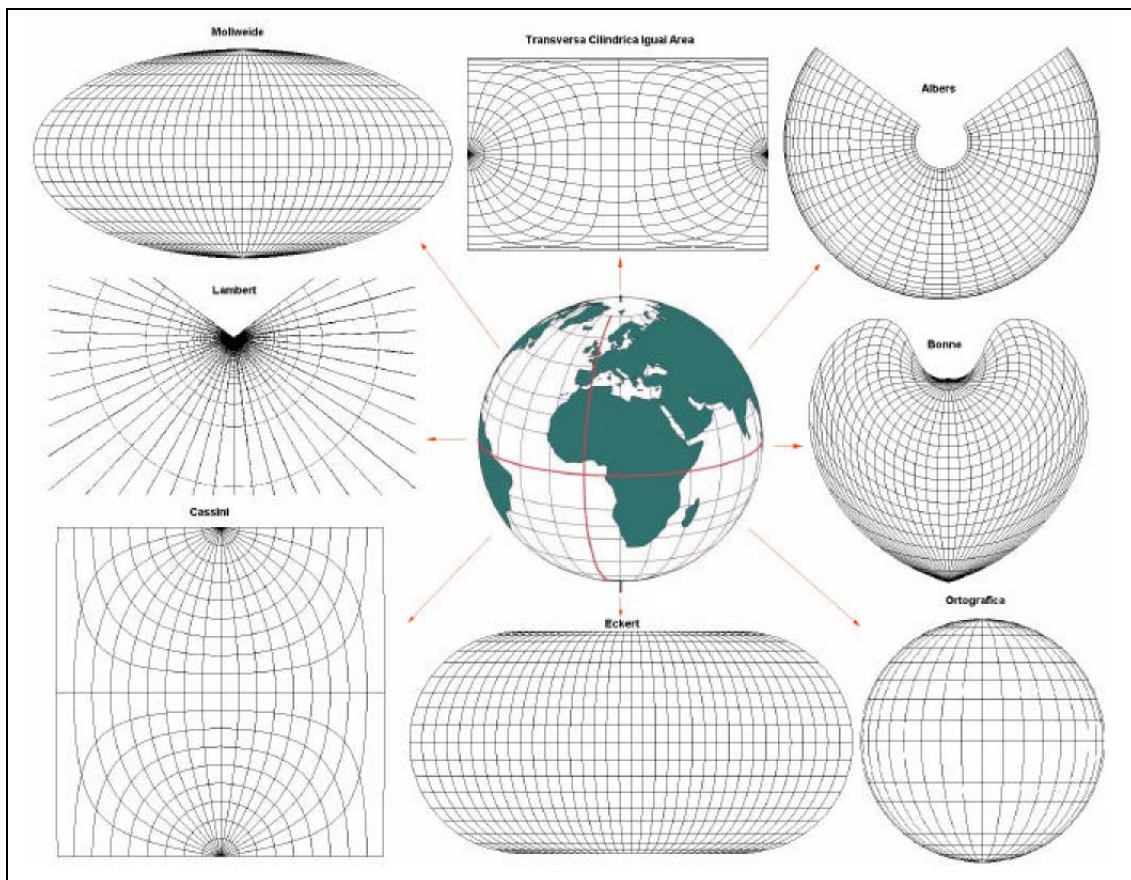


Figura 12. Diferentes sistemas de proyección de la esfera terrestre.

Puesto que el efecto de la esfericidad de la superficie terrestre es proporcional al tamaño del área representada (y en consecuencia a la escala), estos problemas sólo se plantean al cartografiar zonas amplias. Cuando se trata de cartografiar zonas pequeñas, por ejemplo una ciudad, la distorsión es despreciable por lo que se suelen utilizar coordenadas planas, relativas a un origen de coordenadas arbitrario y medidas sobre el terreno. A estas representaciones se les llama **planos** en lugar de **mapas**.

Cuando la distorsión debida a la esfericidad de la superficie terrestre se considera relevante se hace necesario buscar una ecuación que a cada par de coordenadas geográficas le asigne un par de coordenadas planas de manera que los diferentes elementos y objetos de la superficie terrestre puedan ser representados sobre un plano.

Estas ecuaciones son de la forma:

$$x = f_1(\omega, \lambda)$$

$$y = f_2(\omega, \lambda)$$

Donde **x**, **y** son las coordenadas rectangulares del plano y **ω** , **λ** corresponden a la Longitud y Latitud del elipsoide.

Para obtener estas ecuaciones se proyecta la porción de la superficie terrestre que va a cartografiarse sobre una figura geométrica (un cilindro, un cono o un plano) que sí puede transformarse en plano sin distorsiones. El foco de la proyección puede ubicarse en diferentes puntos dando lugar a diferentes tipos de proyecciones. De este modo, teniendo en cuenta el objeto geométrico utilizado para proyectar, podemos clasificar las proyecciones en **proyecciones cilíndricas, cónicas y azimutales o planas**.

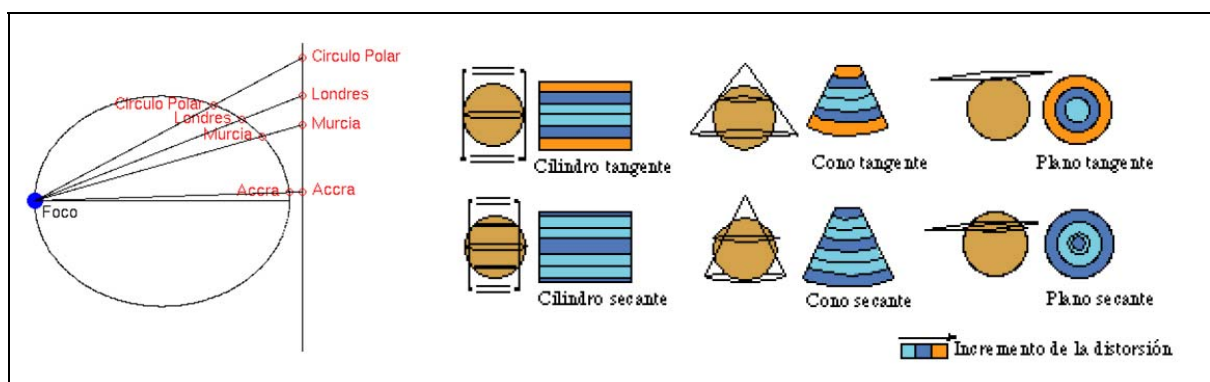


Figura 13. Esquema de distintas proyecciones.

La cartografía intenta minimizar estas distorsiones utilizando la técnica de proyección más adecuada en cada caso. Las propiedades del elipsoide que pueden mantenerse con las distintas proyecciones son:

- **Conformidad.** Si un mapa mantiene los ángulos que dos líneas forman en la superficie terrestre, se dice que la proyección es conforme. El requerimiento para que haya conformidad es que en el mapa los meridianos y los paralelos se corten en ángulo recto y que la escala sea la misma en todas las direcciones alrededor de cualquier punto. Una proyección conforme mantiene además las formas de polígonos pequeños.
- **Equivalencia.** Es la condición por la cual una superficie en el plano de proyección tiene la misma superficie que en la esfera. La equivalencia no es posible sin deformar considerablemente los ángulos originales, por lo tanto, ninguna proyección puede ser equivalente y conforme a la vez.
- **Equidistancia.** Se cumple esta propiedad cuando una proyección mantiene las distancias reales entre dos puntos situados sobre la superficie del Globo (representada por el arco de Círculo Máximo que las une).

3.4.1 Sistema de proyección UTM (Universal Transversa Mercator)

La proyección UTM es una de las más conocidas y utilizadas, entre otros lugares en España. Se trata de una proyección cilíndrica transversa, ya que utiliza como plano de proyección un cilindro el cual se sitúa de forma transversal al eje de la Tierra.

La proyección de la Tierra se ha dividido en 60 zonas o también llamados **Husos**. Un Huso está definido como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos. La proyección UTM utiliza una separación entre meridianos de 6° de Longitud, generándose en cada huso un meridiano central equidistante 3° de longitud de los extremos de cada huso.

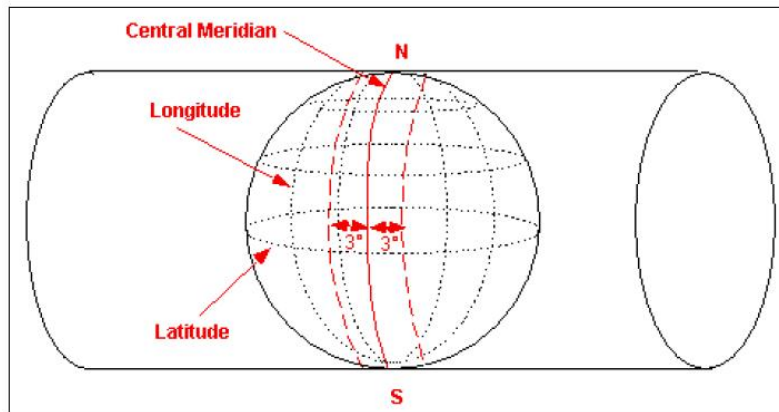


Figura 14. Esquema de creación de la proyección de un Huso.

Esta malla de cuadrículas se crea mediante el empleo de un cilindro distinto tangente al meridiano central de cada uno de los husos (Figura 15).

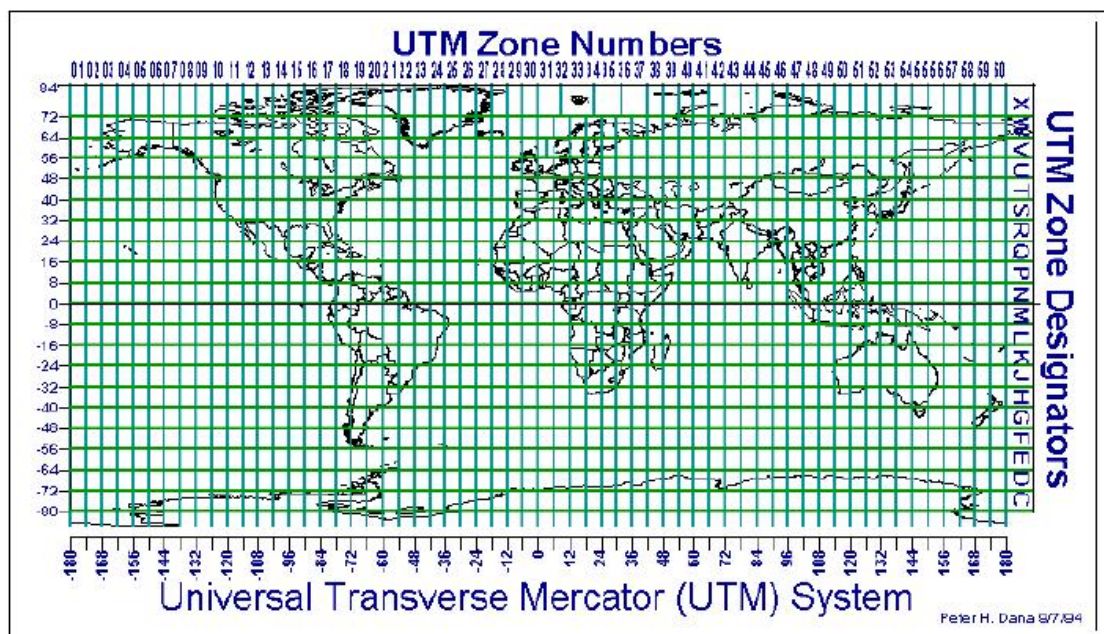


Figura 15. Malla de Husos UTM.

España se encuentra principalmente en el huso 30 (de 6° oeste a 0°), pero también tiene zonas en el huso 31 (de 0° a 6° este, zona más oriental de la península) y en el huso 29 (de 6° oeste a 12° oeste, zona más occidental de la Península e Islas Baleares). Las Islas Canarias se sitúan en los husos 27 y 28.

3.5 Sistemas de referencia.

Como se ha descrito anteriormente (véase Figura 11), la forma de la Tierra se representa mediante un modelo matemático basado en un elipsoide (de ejes a y b) y que recibe el nombre de *elipsoide de referencia*. No es complicado observar que dicho elipsoide puede ser colocado de múltiples formas encima del Geoide por lo que si queremos asignar coordenadas geográficas a los diferentes puntos de la superficie terrestre será necesario "anclar" el elipsoide al Geoide mediante un **Punto Fundamental** en el que el elipsoide de referencia y el Geoide son tangentes.

Dicho esto, aparece un nuevo concepto llamado **Datum** que es el conjunto de parámetros que nos define el elipsoide que utilizamos y como se asocia al Geoide o lo que es lo mismo, define un **Sistema de Referencia**. Estos parámetros consisten en:

- Parámetros a y b del elipsoide.
- Las coordenadas geográficas de Longitud y Latitud (ω , λ) del punto fundamental.
- La dirección que define el Norte.

Establecer cual es el datum de un sistema de referencia es tarea de los servicios nacionales de geodesia. En España, el datum utilizado tradicionalmente en cartografía, tanto en los mapas del Servicio Geográfico del Ejército (SGE) como del Instituto Geográfico Nacional (IGN), es el Europeo ya sea el de 1950 (*European Datum 50* o *ED50*) o sea el creado posterior al 1979 (*European Datum 1979* o *ED79*).

Hasta la segunda mitad del siglo XX, el propósito de los diferentes datums era servir como modelo del Geoide en porciones reducidas de la superficie terrestre a las que se adaptaban especialmente bien. Hoy en día la necesidad de estudios globales y la disponibilidad de dispositivos de toma de datos también globales se busca que los datum tengan validez para todo el planeta, de forma que puedan tener empleo mundial. Es el caso por ejemplo del datum WGS-84 que suelen utilizar los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS). Para este tipo de datum es necesario que se incluya un parámetro más que sería la distancia del centro del elipsoide con respecto al centro de masas de la Tierra.

3.6 Sistemas de coordenadas.

Básicamente la localización geográfica de un punto se puede realizar detallando, o bien las coordenadas geográficas en formato Longitud-Latitud, o bien mediante coordenadas (x,y) UTM.

Independientemente del sistema de coordenadas utilizado, para conseguir localizar perfectamente un punto será necesario, que el punto sea único, que quede perfectamente identificado el sistema de proyección utilizado y que a parte se pueda referenciar la coordenada 'z' del punto.

Esta variable z es la representación de ciertos datos cualitativos y cuantitativos y que corresponden a la tercera dimensión de un sistema tridimensional como puede ser por ejemplo, la altitud, el valor de la pendiente, la naturaleza del suelo o su ocupación, la herencia histórica, la producción... La determinación de esta coordenada se apoya a menudo sobre medidas físicas o estadísticas pero a veces se deriva de ciertas apreciaciones más o menos subjetivos de los hechos.

A continuación se describen ambos sistemas de coordenadas.

3.6.1 Sistema de Coordenadas Geográficas.

El Sistema de Coordenadas Geográficas determina la posición de cualquier punto de la superficie terrestre a partir de las dos coordenadas angulares de un sistema de coordenadas esféricas que está alineado con el eje de rotación de la Tierra (véase Figura 16).

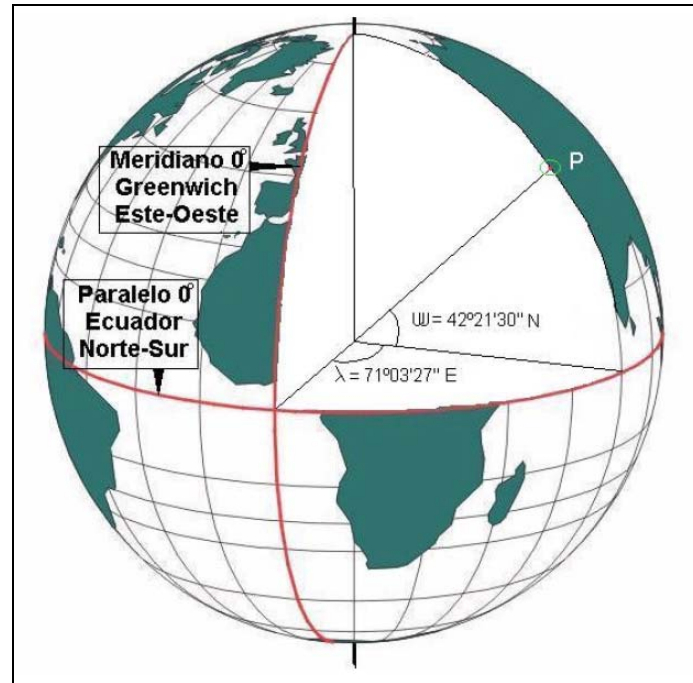


Figura 16. Ángulos de representación de las coordenadas geográficas.

- La **Latitud** (ω) de un punto mide el ángulo que existe entre ese punto y el ecuador como podemos observar en la figura anterior. Las líneas de latitud se llaman paralelos y son círculos paralelos al ecuador en la superficie de la Tierra. Su valor se expresa en grados sexagesimales medidos de 0° a 90° y en la nomenclatura se añade Norte (N) o Sur (S) según la posición del punto relativa al ecuador.

Ej. $42^\circ 52' 21''$ N

- La **Longitud** (λ) de un punto mide el ángulo a lo largo del ecuador desde cualquier punto de la tierra tomando como origen o Longitud 0 el meridiano de *Greenwich*. Las líneas de longitud son círculos máximos que pasan por los polos y se llaman meridianos. Al igual que en la Latitud, el valor se expresa en grados sexagesimales medidos de 0° a 180° y se añade Oeste (O) si el punto se encuentra al occidente del meridiano de *Greenwich* o Este (E) si se encuentra al oriente de dicho meridiano.

Ej. $3^\circ 14' 26''$ O

- La **Altitud** (h): Como se ha dicho en la introducción de este punto, asociando a los dos ángulos tendríamos una tercera variable (z) que nos haría referencia a la altitud del punto respecto el nivel del mar medido en metros (m).

3.6.2 Sistema de Coordenadas UTM.

El sistema de coordenadas UTM es el que se utiliza en el sistema de proyección UTM (*véase apartado 2.4.1*) que como hemos visto divide la superficie terrestre en una malla de cuadrículas a partir de las divisiones verticales llamadas Husos (en total existen 60 husos) con un ancho de 6° de Longitud. (Figura 15)

Horizontalmente, la superficie terrestre se divide en 20 zonas de ancho 8° de Latitud (excepto la zona más al Norte que tiene un ancho de 12°) etiquetadas con las letras de C a X (excluyendo las letras "I" y "O") de las cuales de C a M se sitúan en el hemisferio Sur y de N a X en el hemisferio Norte. (Figura 15)

Las coordenadas X, Y en el sistema UTM siempre serán dependientes de la zona en la que se esté trabajando por lo que se deberá aportar como información el huso y el hemisferio donde esté situada dicha zona.

Dentro de cada una de estas zonas UTM, el origen de coordenadas está situado en la intersección del meridiano central de dicha zona y el ecuador, aunque se debe tener en cuenta que el valor que se le asigna no es el (0 km Norte, 0 km Este) sino el valor relativo (0 km Norte, 500km Este) para las zonas del hemisferio Norte y el valor (10.000 km Norte, 500 km Este) para las zonas del hemisferio Sur. Gracias a estos valores de origen, las coordenadas X (que aumenta de Sur a Norte), Y (que aumenta de Este a Oeste) nunca cogerán valores negativos.

Coordenada UTM	Zona y Banda	Metros al Este	Metros al Norte	Resolución
30S 3546784891567	30 S	354678	4891567	1 m
30S 35467489156	30 S	354670	4891560	10 m
30S 354648915	30 S	354600	4891500	100 m
30S 3544891	30 S	354000	4891000	1.000 m
30S 35489	30 S	350000	4890000	10.000 m
30S 348	30 S	300000	4800000	100.000 m

Tabla 2. Ejemplos de notación dependiendo de la resolución utilizada.

Para poder representar el valor de cada posición, el valor de X está representado por 6 dígitos mientras que el valor Y está representado por 7 dígitos. El número de dígitos utilizados para representar el valor nos indicará la resolución de la cuadrícula (Tabla 2). Dicho esto, hay que aclarar que una coordenada UTM no hace referencia a un punto de la superficie terrestre sino a toda un área cuadrada cuyo lado depende de dicha resolución. Normalmente UTM trabaja con resoluciones de 1 metro por lo que cada región cuadrada corresponde a una superficie de 1m². Igualmente si la resolución es inferior, por ejemplo de 1km² de lado, cada región cuadrada corresponde a una superficie de 1km². (Figura 17)

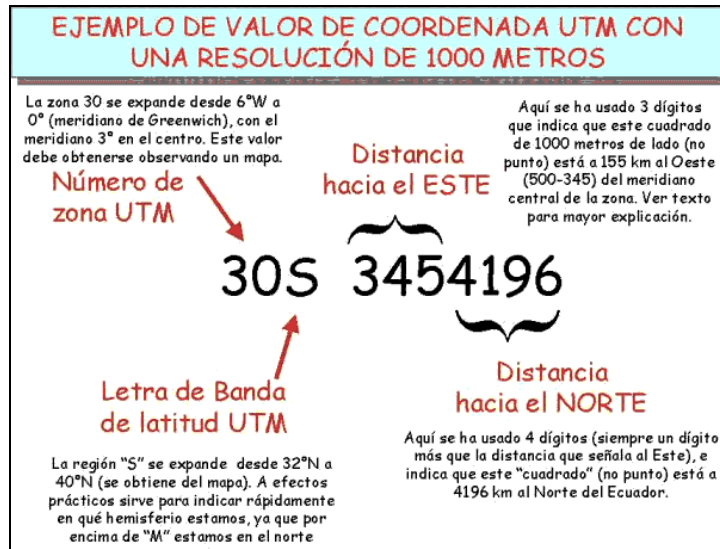


Figura 17. Descripción del valor de una coordenada UTM.

Debido a esta asignación de coordenadas, en el mejor de los casos, todos los puntos localizados dentro de una región cuadrada de 1m² tendrá la misma posición, detalle que tendremos que tener en cuenta a la hora de elegir la resolución de la malla dependiendo de la precisión del trabajo que se vaya a realizar. (Figura 18)

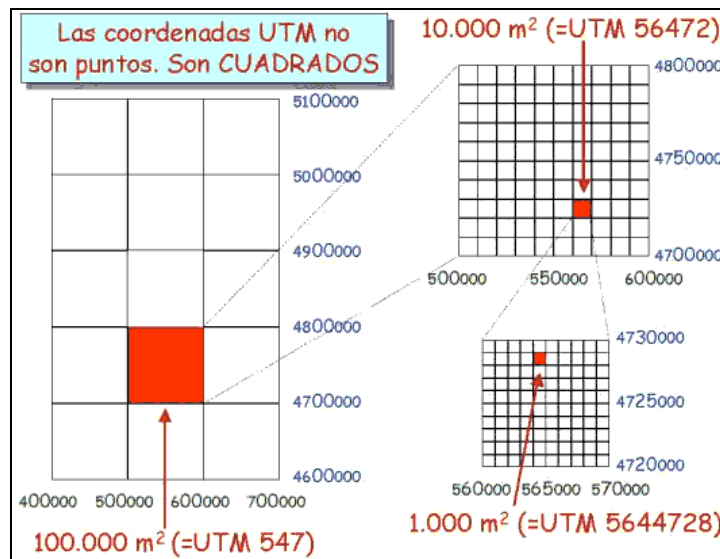


Figura 18. Relación de tamaño de cuadrícula dependiendo de la resolución.

Capítulo 4.

Los Datos.

Hasta ahora se ha visto que las herramientas SIG están catalogadas dentro de los Sistemas de Información y por lo tanto basarán su trabajo en la explotación de un amplio abanico de datos. No cabe duda que estos datos forman el pilar esencial del funcionamiento de los SIG. En este capítulo se muestran los distintos tipos de datos que están asociados a los SIG.

Los puntos a tratar en este capítulo son:

- Metadatos; "datos de datos"
- Atributos y cartografía temática.
- Modelos de datos espaciales. Los modelos ráster y vectorial.

4.1 Metadatos

Los metadatos se definen comúnmente como “datos acerca de los datos” ya que describen el contenido, la calidad, el formato, y otras características que definen una determinada fuente de información o recurso. Gracias a ellos, los usuarios las personas involucradas en el uso de información geográfica encuentran los datos que necesitan y determinan la mejor manera de usarlos.

Los metadatos aportan la información dando respuesta a preguntas del tipo:

- **El qué:** nombre y descripción del recurso como puede ser el sistema de referencia y sistema de coordenadas utilizado, proyección, escala, unidades...
- **El cuándo:** fecha de creación de los datos, periodos de actualización, etc.
- **El quién:** creador de los datos aportando datos como organismo, dirección, teléfonos, contactos...
- **El dónde:** extensión geográfica.
- **El cómo:** modo de obtención de la información, formato, etc.

El *Federal Geographic Data Committee* (FGDC) reconoce que la creación de metadatos geográficos persigue tres objetivos: Organizar y mantener la inversión en datos hecha por una organización, publicitar la existencia de información geográfica a través de sistemas de catálogo y proporcionar información que ayude a la transferencia de los datos.

Con el propósito de crear un estándar o protocolo de utilización de datos espaciales surgió INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe). Este proyecto es una iniciativa de la Comisión Europea (Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de marzo de 2007, publicada en el Diario Oficial de la UE (DOUE) el 25 de Abril de 2007) desarrollado en colaboración con Estados miembro y países en estado de adhesión con el propósito de hacer disponible información geográfica relevante, concertada y de calidad de forma que se permita la formulación, implementación, monitorización y evaluación de las políticas de impacto o de dimensión territorial, de la Comunidad Europea.[W10]

INSPIRE es una iniciativa legal que establece estándares y protocolos de tipo técnico, aspectos organizativos y de coordinación, políticas sobre la información que incluye el acceso a los datos y la creación y mantenimiento de información espacial. Es el primer paso de una amplia iniciativa multilateral que inicialmente dirigirá su interés sobre la información espacial necesaria para políticas medioambientales y que estará disponible para satisfacer las necesidades prácticas de otras áreas, tales como la agricultura y el transporte.

La ISO (*International Organization for Standardization*) a través del comité Técnico 211 (Geomática/Información Geográfica) definió la norma **ISO 19115:2003-Geographic Information Metadata** dónde se proporciona un modelo y se establece un conjunto común de terminología, definiciones y procedimientos de aplicación para los metadatos.[W11]

Los registros de metadatos se suelen publicar a través de sistemas de catálogos, en ocasiones también denominados directorios o registros. Los catálogos electrónicos no difieren demasiado de los catálogos tradicionales de una biblioteca excepto por el hecho de ofrecer una interfaz estandarizada de servicios de búsqueda. Así pues, estos catálogos son herramientas que permiten la búsqueda, la selección, la localización y el acceso a la información y que ponen en contacto a los consumidores con los productores de información.

Los metadatos de las fuentes de datos pueden venir recogidos en ficheros externos a dicha fuente, como los ficheros World (TFW, JGW o SDW) o en ficheros de texto como el utilizado por el ICC (Instituto Cartográfico de Cataluña) asociado a los mapas vectoriales o bien estar integrados dentro del mismo fichero fuente, como es el caso de los ficheros GeoTIFF o MrSID.

Para la creación de metadatos conforme a las normas, hoy en día existen diversas herramientas. Entre ellas podemos destacar las siguientes:

- **CatMDEdit:** Herramienta de edición de metadatos que facilita la documentación de recursos, haciendo especial énfasis en la descripción de los recursos de información geográfica. Es una herramienta *Open source* (código abierto) que ha sido desarrollada por el consorcio TeIDE y bajo el apoyo de varias instituciones y proyectos destacando entre ellos el apoyo otorgado por el IGN en su labor de coordinador para la creación de la IDEE. Esta herramienta, desarrollada en Java, es multiplataforma (Windows, Linux, Mac, etc.), proporciona soporte a distintos idiomas, y permite la creación de metadatos de acuerdo a distintos perfiles de ISO 19115 (XML según el esquema definido por ISO/TS 19139) y Dublin Core (ISO 15836).
- **IME (ISO Metadato Editor):** Herramienta desarrollada por el INTA (Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales) del Ministerio de Defensa que nos permite crear metadatos según las normas ISO 19115 y presenta la posibilidad de validar archivos XML según el esquema definido por ISO/TS 19139.
- **MetaD:** Programa gratuito de edición y exportación de metadatos desarrollado por el ICC para dar soporte a la IDE de Cataluña. Se trata de un subconjunto del estándar ISO 19115, con su implantación ISO 19139, destinado a describir la IG (gráfica, alfanumérica...).

4.2 Atributos.

Uno de los aspectos que aumentan el potencial de las herramientas SIG es la capacidad que muestran a la hora de representar fuentes de información sobre una distribución espacial generando cartografías temáticas. Esta información o atributos (también conocida como variables temáticas) engloban a toda aquella información no espacial que al relacionarlas de forma única a elementos geográficos puede ser representada sobre un mapa.

Por ejemplo, la información de cobertura de una zona (bosques, zonas de secano, regadío, información de plantaciones,...) puede conformar un mapa de usos del terreno relacionándola con una capa de polígonos o parcelas. Para conseguirlo únicamente se debe relacionar cada polígono con el tipo de uso que se le está dando recogido en esos atributos o variables temáticas.

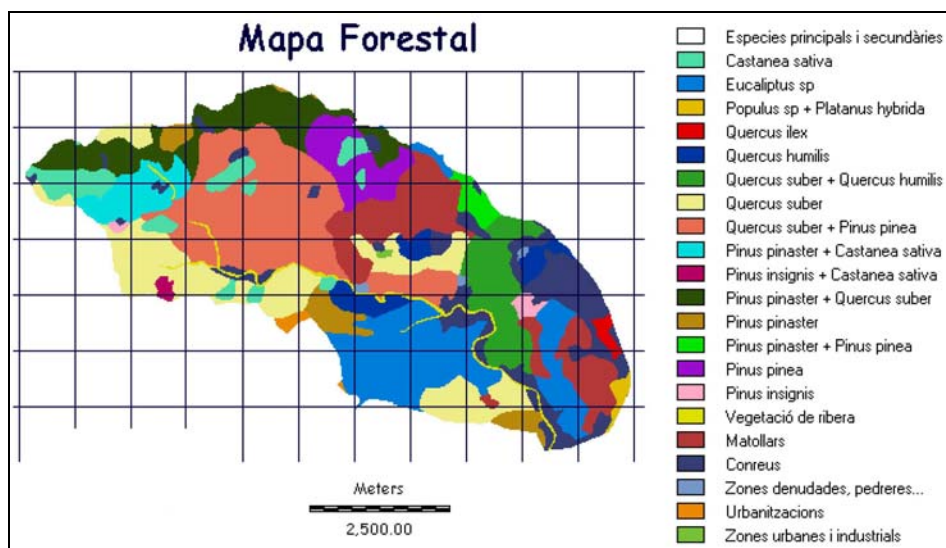


Figura 19. Ejemplo de distribución espacial de especies forestales.

Dentro de la cartografía temática, encontramos mapas cuantitativos generados a partir de fuentes de datos numéricas como por ejemplo mapas de distribución de poblaciones según cierto valor de discretización o mapas cualitativos generados a partir de ciertas características que poseen los elementos de una determinada zona como por ejemplo según la especie forestal que cubre una determinada zona del suelo (Figura 19).

4.3 Modelos lógicos de datos espaciales

El modelo lógico hace referencia a como se muestrean y organizan las variables y objetos para lograr una representación lo más adecuada posible. En un SIG existen básicamente dos modelos lógicos que se conocen como formato ráster y formato vectorial y que dan lugar a los dos grandes tipos de capas de información espacial. (Figura 20)

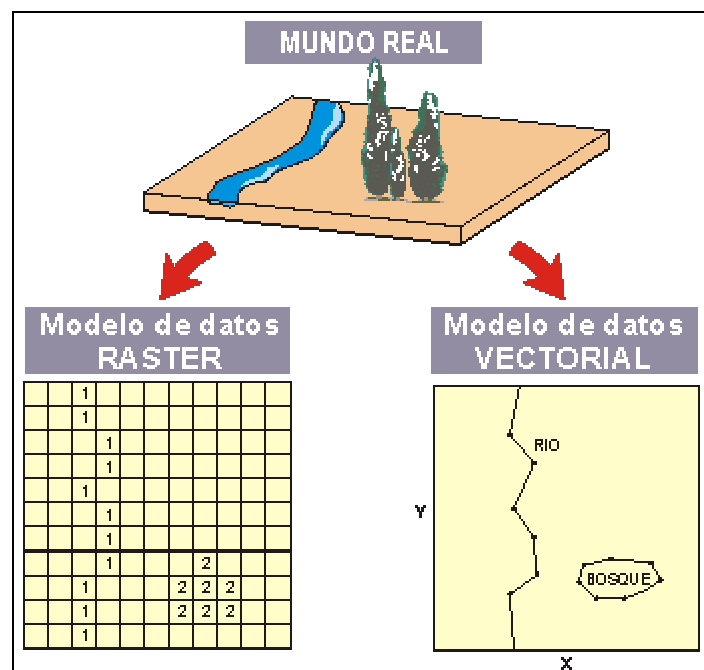


Figura 20. Diferencias de representación de la realidad según el modelo usado.

4.3.1 Modelo ráster

El modelo ráster es un método para el almacenamiento, el procesado y la visualización de datos geográficos. Cada superficie a representar se divide en filas y columnas, formando una malla o rejilla regular de celdas rectangulares (no necesariamente cuadrada) donde cada celda de la rejilla guarda tanto las coordenadas de la localización como el valor temático (Figura 21). La localización de cada celda es implícita, dependiendo directamente del orden que ocupa en la rejilla.

En el modelo ráster, el espacio no es continuo sino que se divide en unidades discretas, lo que le hace especialmente indicado para ciertas operaciones espaciales como por ejemplo las superposiciones de mapas o el cálculo de superficies.

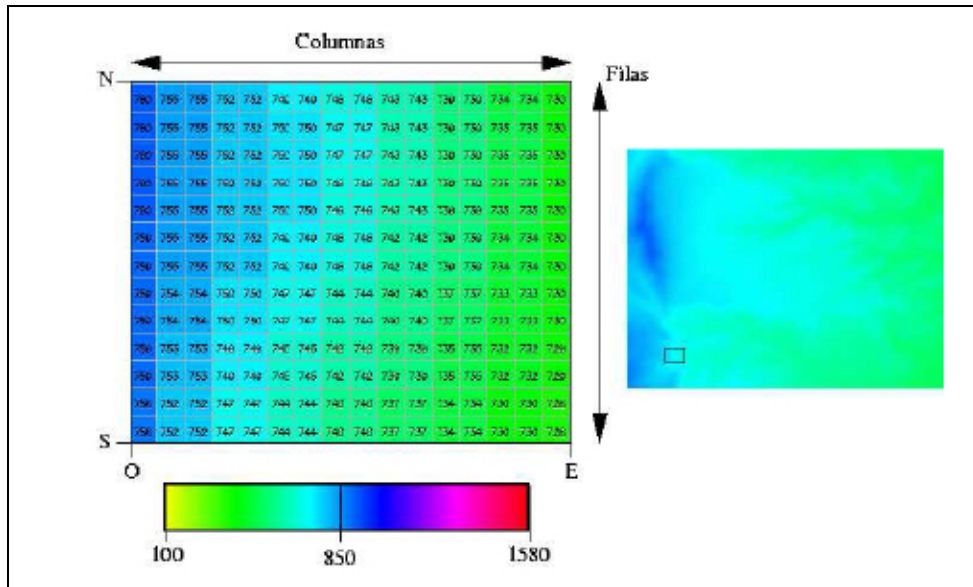


Figura 21. Codificación de una variable cuantitativa en formato ráster.

Una cuestión crucial, como es de esperar, es el tamaño de la cuadrícula que se utilice ya que cuanto más pequeña sea mayor precisión se tiene trabajando con ella. La proporción que existe entre el tamaño de cuadro y el espacio terrestre que represente nos dará la escala del mapa ráster en cuestión.

La posición de cualquier punto se realiza a partir de las coordenadas que sitúa la esquina superior izquierda. Gracias a la continuidad de las celdas y la escala se puede conseguir la posición de cualquier cuadrícula.

4.3.2 Modelo vectorial

El modelo vectorial representa los objetos espaciales codificando, de modo explícito, sus "fronteras" o perímetro que separa los objetos de su entorno. Las líneas que actúan de frontera son representadas mediante las coordenadas de los puntos o vértices que delimitan los segmentos rectos que las forman.

De este modo, los objetos puntuales se representan mediante un par de coordenadas, la X y la Y de la posición del objeto. Los elementos lineales se aproximan mediante el trazado de segmentos lineales que se cruzan en vértices y se representan mediante las coordenadas X e Y de esos vértices. Finalmente los polígonos se codifican aproximando sus fronteras mediante segmentos lineales que se cortan igualmente en vértices cuyas coordenadas se registran. (Figura 22)

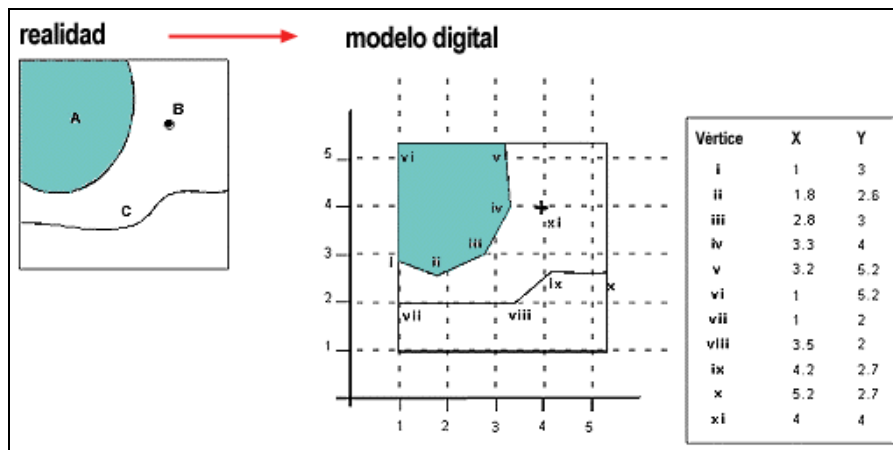


Figura 22. Representación de la realidad mediante un modelo vectorial.

4.3.3 Ventajas y desventajas de los modelos ráster y vectorial.

Está claro que las superficies se representan más eficientemente en formato ráster y sólo pueden representarse en formato vectorial mediante los modelos híbridos (mallas de puntos, TIN e isolíneas) que no resultan adecuados para la realización de posteriores análisis ya que todas las operaciones que permite el modelo ráster resultarían mucho más lentas con el modelo vectorial. En general, cualquier tipo de modelización física de procesos naturales que se base en Sistemas de Información Geográfica requiere un modelo de datos de tipo ráster.

Tradicionalmente se ha considerado que para la representación de los objetos resulta más eficiente la utilización de un formato vectorial ya que ocupa menos espacio en disco duro, en cambio y en contraprestación, el formato vectorial es más lento que el ráster para la utilización de herramientas de análisis espacial y consultas acerca de posiciones geográficas concretas.

Las ventajas del modelo ráster incluyen la simplicidad, la velocidad en la ejecución de los operadores y que es el modelo de datos que utilizan las imágenes de satélite o los modelos digitales de terreno. Entre las desventajas del modelo ráster destaca su inexactitud que depende de la resolución de los datos y la gran cantidad de espacio que requiere para el almacenamiento de los datos.

En la tabla 3 se recogen una colección de ventajas y desventajas que presentan ambos tipos de formatos.

MODELO RASTER	MODELO VECTORIAL
Ventajas	Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Estructura de datos sencilla. • La operación de superposición (<i>overlay</i>) se realiza de forma fácil. • Ofrece una mejor solución frente a la variabilidad de la información espacial. • Formato necesario para la modificación y uso de imágenes digitales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionan una estructura de datos compacta y ocupando menor espacio en disco. • Codifica de manera más eficaz las relaciones topológicas entre elementos. • Está diseñado para trabajar con gráficos, por ejemplo capas de aplicaciones CAD
Desventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza más recursos del sistema. • Las relaciones topológicas son más complicadas de representar. • Los mapas resultan menos estéticos al tener menor definición en los límites. La solución a esta desventaja depende de la resolución de celda que se utilice con el consiguiente aumento del volumen del archivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene una estructura de datos más compleja que el formato ráster. • Las operaciones de superposición (<i>overlay</i>) son más difíciles de obtener. • La representación de mapas con una elevada variabilidad de información es ineficiente. • El manejo de imágenes digitales en este formato no puede realizarse de una manera eficaz.

Tabla 3. Cuadro comparativo entre formato ráster y vectorial.

Capítulo 5.

Geomedia

Dado que este proyecto está localizado en el departamento de Sistemas de Información Geográficos, es evidente que la utilización de esta herramienta engloba la parte gruesa del proyecto. Para la realización del caso práctico de éste, ha sido necesario un tiempo previo de familiarización y conocimiento de esta herramienta.

A lo largo de este capítulo se quiere dar a conocer un poco los aspectos elementales de esta aplicación, tratando los siguientes puntos:

- Introducción a los conceptos básicos.
- Configuración del proyecto SIG y carga de datos.
- Realización de consultas y Análisis de datos. Módulo GM GRID.
- Programación y automatización de comandos.

5.1 Conceptos básicos.

El primer punto básico para trabajar con GeoMedia es el de creación de un **proyecto SIG** o **GeoWorkspace**, recogido en un fichero de extensión .gws. En el **GeoWorkspace** se recoge toda la información de configuración del proyecto, conexión a almacenes, leyendas de datos, ventanas de visualización de mapas o de datos abiertas, así como la existencia de ficheros de estilos creados por el usuario. Al abrir un **GeoWorkspace** se nos abren los sistemas de menús y herramientas activos, junto con ventanas de información guardadas en la última vez que se utilizó. (Figura 23)

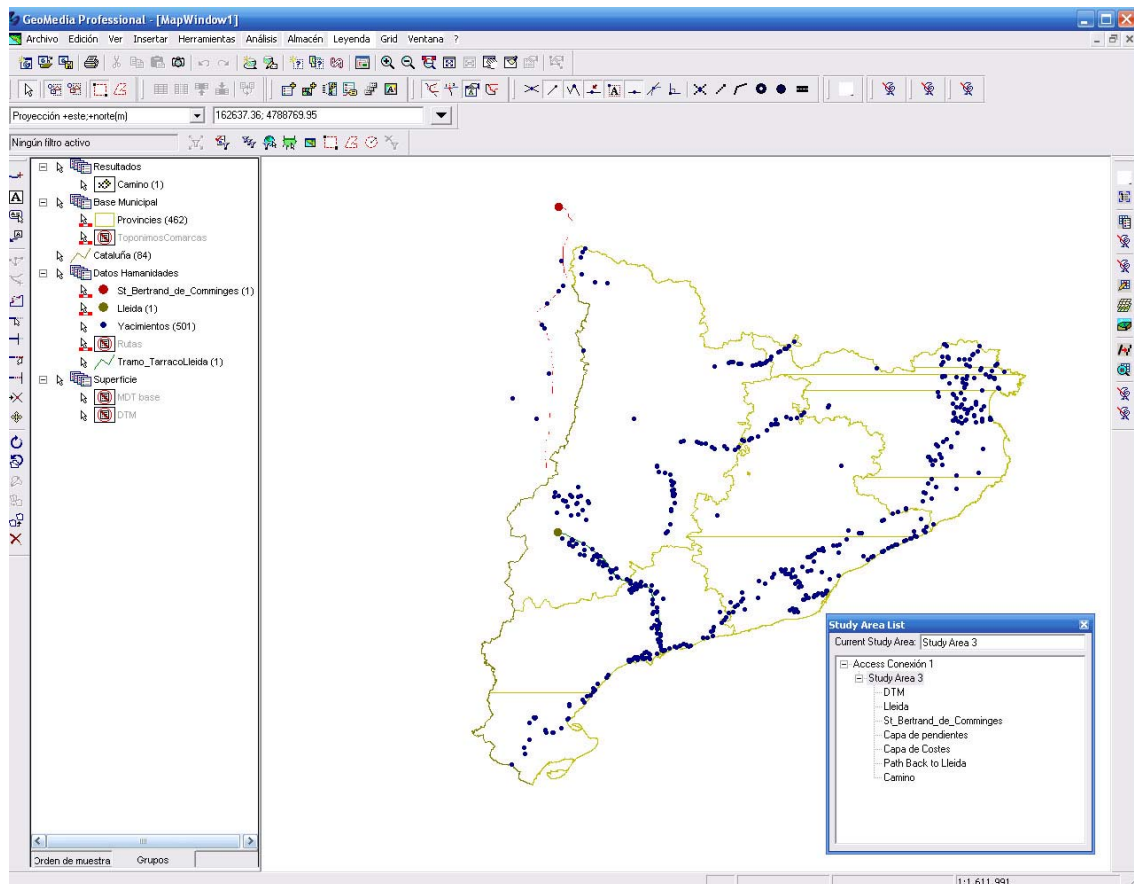


Figura 23. Vista general del entorno de un proyecto GeoMedia

Una vez creado el proyecto es importantísimo configurar el **sistema de coordenadas** que utilizará el usuario para la representación de la información a tratar. Un error en la configuración de dichos parámetros puede llevarnos a representar la información que manejamos de manera incorrecta. La configuración de los sistemas de coordenadas se almacena en ficheros de extensión .csf y pueden ser creados por el propio usuario a partir de la herramienta que GeoMedia ofrece para ello. Esta herramienta toma el nombre de "Definir archivo de sistema de coordenadas" y lo encontramos en el apartado de "Utilidades" que encontramos en la opción de menú "GeoMedia Profesional" del menú inicio de Windows.

En este apartado, el usuario puede definir el espacio de proyección (Sistema de Proyección) y el espacio geográfico (Datum Geodésico y Vertical), además de opción de configuración de unidades y aspectos generales (nombre, descripción...). (Figura 24)

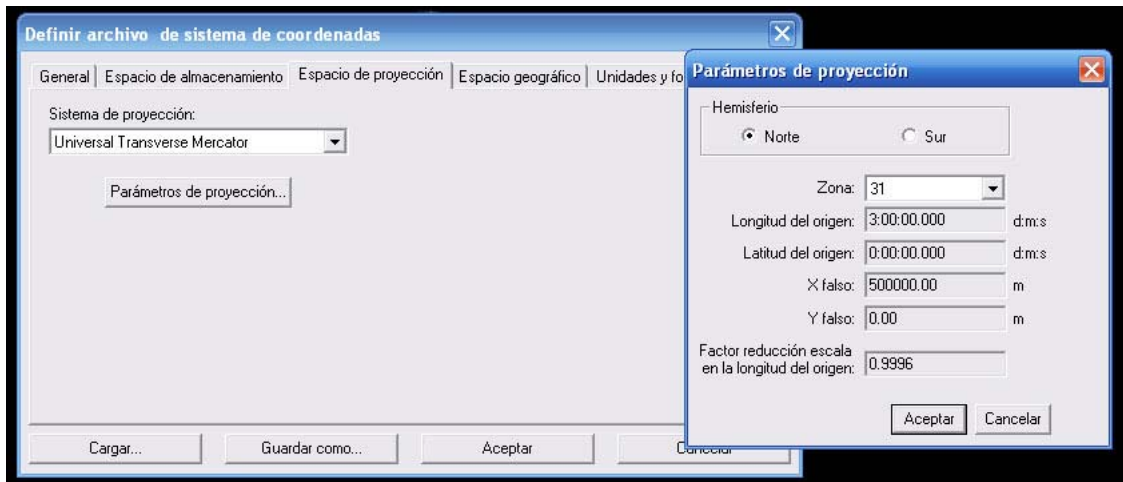


Figura 24. Creación y configuración de un fichero de sistema de coordenadas (.csf)

En este caso práctico, los parámetros utilizados (recomendados por el ICC para el uso de su información) son:

PARÁMETRO	VALOR DE CONFIGURACIÓN
Unidades de almacenamiento (Vertical y Horizontal)	Metros (m)
Centro de almacenamiento (X,Y,Z)	(0,0,0)
Sistema de Proyección	U.T.M. (Zona Norte y Huso 31)
Dátum Geodésico	European 1950
Dátum Vertical	User-defined (non-standard)
Unidades y formatos	Opción por defecto

Tabla 4. Valores de configuración del archivo de sistemas de coordenadas utilizado.

Otro punto fundamental es el definido por el concepto **Warehouse** o **Almacén**. Estos elementos son sistemas o ficheros externos en los que tenemos un conjunto estructurado de información que puede ser representado dentro del proyecto SIG que manejamos.

GeoMedia está preparado para realizar conexiones con almacenes de diversos formatos, la gran mayoría de ellos totalmente extendidos como bases de datos Oracle, SQL Server, Microsoft Access, ficheros de ArcInfo o ArcView, sistemas CAD (Autocad, Microstation...).

Para trabajar con estos almacenes externos, GeoMedia permite administrar las distintas conexiones establecidas con estos y aporta todo un menú superior. En dicho menú, el usuario además de gestionar las conexiones puede tratar con las estructuras de datos que hay en ellas o **Clases de Entidad**.

Para GeoMedia, una clase de entidad es un estructura (por ejemplo una tabla existente dentro de una base de datos, una capa de información dentro de un fichero CAD, o una capa o *shape* dentro de un fichero Sig de ArcView) y cada uno de los elementos o registros independientes que se encuentran en dicha clase de entidad reciben el nombre de **Entidades**. Los datos que definen las Entidades son lo que conocemos como **Metadatos**.

Entre estos atributos encontraremos los que definen las características esenciales de cada registro (Atributos alfanuméricos) y atributos que localicen y dan forma a dichas entidades dentro del SIG (**Geometrías**). GeoMedia maneja como geometrías básicas los puntos, líneas, Áreas, Compuesto, Imágenes y Textos

5.2 Importación de datos.

Como se ha comentado en el punto anterior, es fundamental antes de comenzar a aportar información a un proyecto SIG, hay que tener preparado todo el entorno, es decir, como mínimo se debe de tener configurado el sistema de coordenadas que se va a manejar y tener diseñado cual va a ser nuestro esquema de almacenes de trabajo.

En el caso de que únicamente vayamos a trabajar con nuestro proyecto SIG para visualizar datos existentes en almacenes, podemos realizar las conexiones a estos como "solo lectura" mientras que si lo que queremos es realizar operaciones con ellos, insertar imágenes o crear nuevas capas de información va a ser necesario tener o crear un almacén con permisos de lectura y escritura.

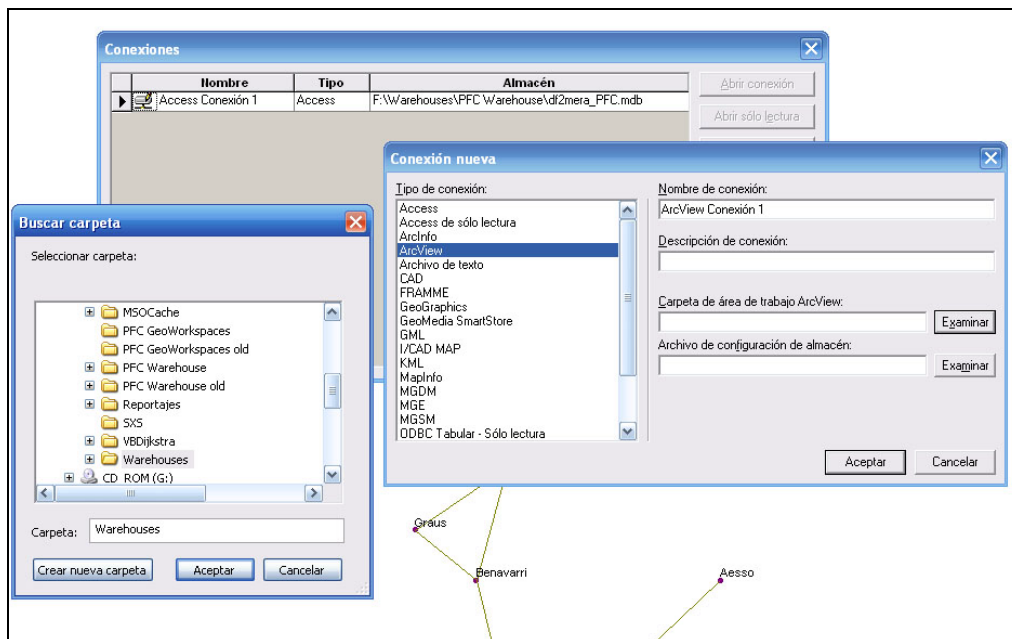


Figura 25. Entorno de gestión de conexiones.

GeoMedia ofrece únicamente la posibilidad de crear desde su entorno almacenes Access por lo que si deseamos utilizar otro formato de almacén, se deberá crear externamente con la aplicación que corresponda (Oracle o SQL Server) y posteriormente realizar una conexión de lectura/escritura a la nueva base de datos creada. Habrá que tener en cuenta que hay determinados formatos de almacenes que únicamente pueden ser conectados a GeoMedia en modo lectura.

Visto el punto anterior, es evidente que antes de comenzar a trabajar con nuestros datos, se deberá realizar un pequeño esfuerzo en analizar cuales son los trabajos que vamos a realizar con ello y plantearnos que estructura va a tener nuestro almacén o GeoDataBase. Es recomendable plasmar dicho diseño en un modelo que represente nuestra estructura de clases de entidad.

El hecho de que estemos limitados a trabajar con ciertos formatos únicamente en modo lectura no debe preocuparnos. GeoMedia da la posibilidad de poder importar estos datos externos al almacén que hayamos creado o cargado con permisos de escritura mediante el comando "Sacar a clases de entidad..." que tenemos en la opción de menú "Almacén". Esta operación nos realiza una copia de la clase de entidad con la misma estructura de atributos que en su forma original y es importante remarcar que no pasan únicamente los datos alfanuméricos sino también la información de la geometría que están asociados a dichos datos.

En el caso de tener la necesidad de importar datos de ficheros CAD, el proceso es un poco más complejo ya que es necesario anteriormente haber definido cual es la estructura de datos que presenta. Para ello, al igual que sucede con la definición del fichero de sistemas de coordenadas (Figura 23), GeoMedia ofrece otra herramienta que permite definir esta estructura y la podemos encontrar como "Definir archivo de esquema de servidor CAD" en el apartado de "Utilidades" de la opción de menú "GeoMedia Profesional" del menú inicial (Figura 26). Esta información se almacena en ficheros .csd y se debe aportar en el momento de realizar la conexión con este tipo de almacenes.

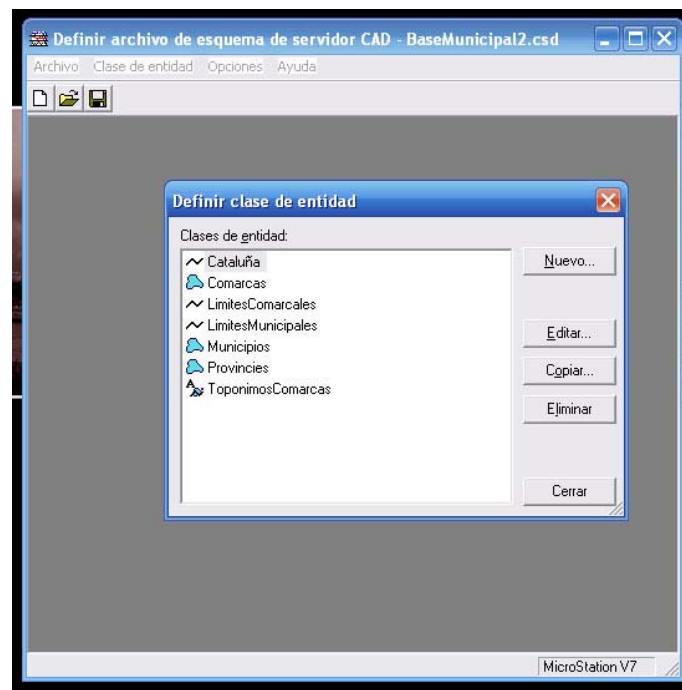


Figura 26. Creación y configuración de un fichero de esquema de servidor CAD (.csd)

Otro grupo interesante y útil para el trabajo con herramientas SIG son las imágenes georeferenciadas y ortofotos las cuales son fotografías del terreno que han sido sometidas a un proceso de rectificación diferencial que hace posible realizar su puesta en escala y eliminar las posibles distorsiones provocadas por la perspectiva.

En el caso concreto de este proyecto, se han trabajado con las ortofotos que ofrece el ICC (Instituto Cartográfico de Cataluña) que vienen en formato SID aunque GeoMedia ofrece la posibilidad de trabajar con otros formatos como GeoTIFF o USGS (entre otros). Para insertar una imagen debemos asociarle un fichero de sistema de coordenadas para una correcta colocación e indicar una entidad en nuestro almacén de escritura donde GeoMedia guardará la información necesaria para usos posteriores.



Figura 27. Digitalización sobre ortofoto.

En la figura anterior es un ejemplo de cómo una ortofoto puede ser de gran utilidad a la hora de tener que digitalizar cierta información. El trabajo de digitalización consiste en la introducción de geometrías a mano trabajando con las herramientas que GeoMedia ofrece para ello para localizar o representar cierta información del terreno convirtiéndola en una entidad más. Cada uno de estos objetos digitalizados se almacenará en una clase de entidad creada con anterioridad y guardada en alguno de los almacenes que tengamos conectados con permiso de escritura. Cabe remarcar que el trabajo de digitalización resulta muy costoso y laborioso llevándose gran tiempo de proceso de elaboración de un proyecto SIG.

En el caso concreto de nuestro proyecto, uno de los puntos de trabajo ha sido el de digitalizar el tramo del camino románico que va desde la población de Tarraco (Tarragona) hasta Ilerda (Lleida) para el cual nos hemos basado en la localización de caminos y carreteras localizados en las distintas ortofotos utilizadas. Otros ejemplos de digitalización son la creación de contorno de estructuras o edificios, la ubicación de puntos correspondientes a la localización de determinadas especies de árboles (olivos, almendros,...), creación de contornos de áreas de superficies cubiertas por una determinada vegetación o uso,... Todas estos ejemplos están englobados dentro de las tareas de fotoidentificación que como su nombre indica se tratan de todas aquellas operaciones de digitalización de entidades a partir de la interpretación de fotos aéreas o ortofotos.

5.3 Consultas y Análisis de datos. Módulo GM GRID.

Una vez preparada la información de base para trabajar, GeoMedia ofrece todo un conjunto de herramientas de consulta y análisis que se pueden aplicar a dicha información. Una de las grandes diferencias entre una simple base de datos y un SIG es la propiedad que tienen estos últimos de poder realizar agrupaciones de información o selección de registros particulares por el hecho de cumplir ciertas condiciones espaciales.

Con un SIG, además de poder realizar consultas iguales a las realizadas en una base de datos común (sentencias *Select* cumpliendo ciertas condiciones *Where*), podemos realizar otras a partir de la selección de entidades en la ventana de mapa. Pasando a un nivel más complejo, podríamos seleccionar entidades como resultado de un determinado análisis espacial, como por ejemplo a partir de zonas de influencia de un determinado punto, el cumplimiento de condiciones sobre las áreas calculadas de un determinado espacio,... A continuación nombro algunas de las herramientas que se ofrecen:

- Zonas de influencia: Son las áreas alrededor de una o diversas entidades, en las que se pueden delimitar consultas espaciales. El territorio y las entidades incluidas en una zona de influencia se pueden marcar gráficamente cambiando su aspecto y de esta forma

tenerlas identificadas. Un ejemplo de esta aplicación sería por ejemplo la determinación de la superficie total de cada una de las distintas especies vegetales que encontramos dentro de la zona de influencia alrededor de un punto seleccionado.

- Mapas temáticos: Los mapas temáticos son mapas que permiten un análisis de los datos relacionados con un grado de pertenencia a la consulta realizada. Este tipo de consultas permiten obtener un mapa visual de cierto territorio con colores distintivos según cumplan las distintas condiciones. Comúnmente se utilizan este tipo de mapas para representar de forma visual la segmentación de un terreno según los rangos definidos sobre cierto campo escalar. Un ejemplo claro sería la representación con colores de los distintas zonas de un territorio según la densidad de población que presenten.
- Análisis espacial: GeoMedia ofrece la posibilidad de realizar operaciones espaciales con distintas áreas o zonas, como por ejemplo la posibilidad de obtener la diferencia entre dos áreas de influencia o la intersección de ambas zonas de influencia. Un ejemplo sería el caso que quisiéramos obtener la superficie total de vegetación de un bosque eliminando las manchas de superficie no cubiertas. Si calculáramos únicamente la superficie que recoge el perímetro, ésta no sería real. Tendremos que restar a la superficie anterior la superficie que cubren las distintas manchas.

Es importante remarcar que las herramientas SIG permiten trabajar con más de una capa de información a la vez, pudiéndose realizar operaciones de relación entre los resultados o datos de cada una de ellas.

Para el análisis de información ráster, GeoMedia aporta un módulo de extensión llamado GeoMedia Grid. Con este módulo, además de las operaciones mostradas anteriormente (formato vectorial), podemos realizar todo un conjunto de operaciones de análisis nuevas sobretodo dedicadas al análisis del terreno. Una de las capas ráster más importante que sirven de base para la obtención de resultados es la del Modelo Digital del Terreno (MDT). En cada píxel de la capa (determinado por una determinada dimensión o escala) el MDT nos da información de la altura obteniendo en sí un modelo 3D de la superficie.

En este proyecto, uno de los puntos del caso práctico ha sido el de analizar la superficie de una determinada área con el propósito de obtener un camino entre dos puntos condicionado siempre a las condiciones del terreno. Como se detalla posteriormente (véase apartado 6.3.1) a partir del MDT que se ha obtenido del ICC, se ha realizado un análisis de las pendientes y costes asignados a éstas de forma que la aplicación es capaz de encontrar cual es el camino que supone menor coste en su recorrido.

En el apartado 6.3.1 se describe de forma detallada cual ha sido el procedimiento seguido para su obtención y de paso se da a conocer algunas de las herramientas que ofrece este módulo.

5.4 Programación y automatización de comandos.

Una de las grandes ventajas que aportan los sistemas SIG actuales es la de no definirse como un sistema limitado sino todo lo contrario ya que ofrecen la posibilidad de que los usuarios puedan añadirles nuevas funcionalidades o automatismos que faciliten la adaptación de dicho software a las necesidades del usuario. No hay que confundir dicha cualidad con un sistema SIG de código abierto.

El modelo de procesos de GeoMedia, permite hasta tres alternativas para la implementación de nuevas funcionalidades: insertar sus componentes dentro de una nueva aplicación, utilizarlo como aplicación de servidor y finalmente añadiendo nuevos comandos dentro del su entorno gráfico. En el primero de los casos, las ventanas de mapa y leyenda estarían insertadas dentro de la nueva aplicación, con su propio entorno gráfico. En el segundo de los casos, la aplicación GeoMedia seguirá ejecutándose pero bajo el control de la aplicación externa. Finalmente, la tercera opción implica crear nuevas funciones en forma de iconos o opciones de menú dentro

del entorno gráfico de GeoMedia dándole una funcionalidad que se ha programado mediante un compilador externo.

Para resolver el caso práctico de este proyecto, ha sido necesaria la programación de un mecanismo de análisis nuevo (basado en el algoritmo de Dijkstra para el cálculo de caminos de coste mínimo) y para ello nos hemos decantado por la tercera posibilidad de implementación. Para hacerlo accesible desde el entorno de GeoMedia se ha definido una nueva opción de menú dentro del menú superior del GeoMedia que dota de dicha funcionalidad al sistema. Para la programación de dicha funcionalidad, GeoMedia ofrece la posibilidad de programar con Visual Basic por medio de la utilización de unas librerías de objetos propias que hacen factible la interacción entre ambas aplicaciones.

Aparte, GeoMedia ofrece un asistente llamado "*Geomedia Command Wizard*" (Figura 28) que se carga dentro del entorno de programación del Visual Basic que nos guía en la configuración de nuestro comando según su comportamiento. La programación de estos comandos consiste en la implementación de una librería (.dll) que se carga en el sistema de GeoMedia a partir de ciertos parámetros de configuración (generados por el asistente mencionado anteriormente).



Figura 28. Asistente Geomedia Command Wizard

Una vez cargada la utilidad en el sistema, únicamente faltará incorporar una opción de menú o un botón con el que se le permita al usuario ejecutarla siempre que se cumplan las condiciones de activación especificadas.

En el apartado 6.2.3.2 y el apartado 6.3.2 se describe con más detalle la implementación de dicho comando.

Capítulo 6.

Caso práctico

A lo largo de este capítulo se describe el caso práctico desarrollado como aplicación práctica de los conocimientos adquiridos durante la realización del proyecto. Inicialmente se exponen cuales son los objetivos que se deben alcanzar, marcados por el enunciado del proyecto, para pasar a una descripción del diseño seguido, la implementación y los resultados obtenidos.

Los apartados que encontramos en este capítulo son:

- Descripción del caso práctico.
- Características de la aplicación
- Implementación y ejecución.
- Resultados

6.1 Descripción del caso práctico

6.1.1 Introducción

Una vez estudiados los conceptos fundamentales tanto de los Sistemas de Información Geográfica como de Cartografía, la parte práctica del proyecto está planteado para poder demostrar de manera práctica obtener unos resultados a partir del análisis y combinación de información alfanumérica y espacial.

El proyecto está recogido en el marco de estudio del territorio y preservación del patrimonio histórico ya que se trata de analizar los diferentes factores que pudieron influir en la decisión para establecer una determinada ruta entre las poblaciones de Tarraco (Tarragona) y St. Bertrand de Comminges.

Para la realización de este análisis, el caso práctico está formado por dos partes. La primera parte consiste en el análisis de información en formato ráster para la obtención de un camino óptimo que una las poblaciones de Ilerda (Lleida) y St. Bertrand de Comminges así como la digitalización de la parte del camino que une las poblaciones de Tarraco (Tarragona) con Ilerda. Como es de esperar, antes de obtener estos resultados, hay un trabajo de preparación del proyecto SIG a partir de la información recopilada.

En la segunda parte del caso, el análisis de la posible ruta entre las dos poblaciones se realiza a partir del análisis vectorial de la información que se tiene. Para ello, se ha tenido que desarrollar un comando que implemente el algoritmo de Dijkstra para la obtención de caminos de mínimo coste partiendo de un grafo de yacimientos y caminos entre estos. De esta forma se busca justificar la distribución de dichos yacimientos por la proximidad a dicho camino.

Como conclusión se hace una comparativa entre los resultados obtenidos y la valoración de los resultados obtenidos por cada una de las vías.

6.1.2 Objetivos

Como objetivos del proyecto tenemos:

- Desarrollar un proyecto SIG completo en el que se tengan las distintas capas de información establecidas creando un entorno de trabajo óptimo para la consecución de la parte de análisis.
- Utilización tanto de las herramientas de análisis y consulta aportadas por GeoMedia como de las particulares del módulo GM GRID.
- Integración de nuevos comandos o automatizaciones ampliando las herramientas que ofrece GeoMedia. Conocimiento de las librerías de objetos que ofrece GeoMedia para dichas tareas.
- Asumir el pensamiento geográfico por parte del alumno de forma que sea capaz de plantearse cuestiones geográficas, adquiera recursos para obtener fuentes de datos, analice la información y obtener resultados que abran nuevas perspectivas.

Fuera del estudio de herramientas SIG, otro de los objetivos es obtener la capacidad de redactar memorias con rigor y calidad al igual que trabajar con herramientas de difusión de conocimientos como es el caso de la elaboración de videos divulgativos.

6.2 Características del caso práctico y Diseño.

6.2.1 Fuentes de información.

Para la realización de este proyecto se han utilizado las siguientes fuentes de información:

- Base geográfica de la organización territorial de Cataluña en municipios, comarcas y provincias. Ésta información está obtenida del Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC) en formato DGN y fue elaborado por dicho organismo en el año 2005. A partir de esta fuente se han creado las entidades correspondientes a Municipios, Comarcas, Provincias en nuestro almacén de trabajo (Warehouse de lectura/escritura). Esta información está en escala 1:50.000
- Ortofotomapa de Cataluña (v.6.0) 2007. Para la elaboración del proyecto y concretamente para la digitalización del camino en el tramo entre Tarraco e Ilerda se han descargado del ICC la colección de imágenes correspondientes a ese tramo. Gracias a ellas, el proceso de fotoidentificación y digitalización se ajusta más a la realidad. Todas las imágenes descargadas están en formato SID.
- Modelo digital de Terreno (200x200). Dicha información se ha descargado de la página del ICC con un tamaño de celda de 200m. El formato de la fuente es ArcGrid ASCII .asc. Para simplificar el tiempo de análisis en el estudio ráster, se ha trabajado únicamente con una parte de dicha fuente y no con toda la superficie de Cataluña.
- Datos de yacimientos y rutas. Información que nos aportó la directora del proyecto correspondiente al estudio que está haciendo el departamento de Estudios de Humanidades de la UOC consistente en el estudio de los pasos naturales de los Pirineos que se usaron en la época romana.

6.2.2 Modelo Conceptual de datos.

El modelo conceptual es la representación de los conceptos (objetos) más significativos del dominio del problema y de sus relaciones en forma de clases de objetos, asociaciones y atributos. Para la representación del modelo de datos que se utiliza para la solución de este proyecto, se hace uso del lenguaje de modelado UML (*Unified Modeling Language*) como lenguaje estándar de modelado. A continuación se muestra el modelo conceptual:

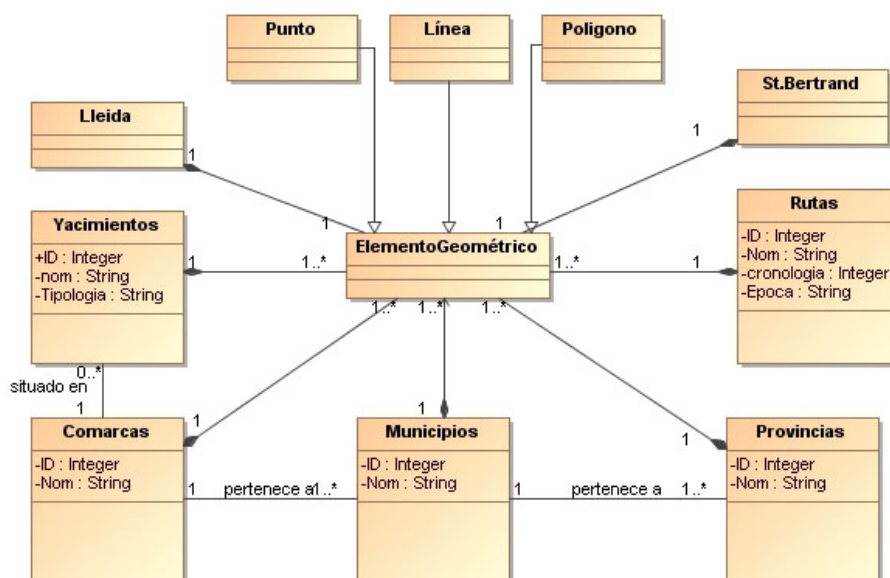


Figura 29. Modelo conceptual definido con UML

6.2.3 Diseño y estrategia.

6.2.3.1 Primera parte. Análisis ráster.

Para la realización de este punto se ha decidido seguir un proceso común en el análisis geográfico de información de superficies. Este proceso consiste en la preparación inicial de la información que tenemos de superficie, en este caso el fichero MDT. Como segundo punto importante deberemos asignar un valor o coste a cada una de las celdas que forman nuestra zona de estudio.

Para conseguirlo debemos tener presente anteriormente cuales son los factores que pueden influir en la asignación de costes y utilizar los mecanismos necesarios para asignarlos. En este caso concretamente únicamente nos hemos basado en la influencia del terreno para decidir que celda tiene más coste que otra y para ser exactos se ha asignado a partir del cálculo de pendientes del terreno.

Como se verá en el punto de implementación de esta parte (apartado 6.3.1), se ha buscado encontrar el camino que estuviera sometido a menores cambios de pendiente y por lo tanto el camino mucho más fácil de recorrer para poder superar los Pirineos.

Uno de los puntos del proceso más importante y que tiene más peso sobre el éxito de los resultados que se obtengan está en la reclasificación de los valores de costes mediante la agrupación de éstos según unos rangos obteniendo así una muestra de análisis más simplificado.

Como veremos más adelante, para la asignación de costes no se dado un coste para cada uno de los valores de pendiente obtenidos sino que se ha decidido agrupar los valores en grupos de pendientes y se ha asignado un coste único por grupo. De esta forma se intenta definir cual es el rango de pendientes que nos interesa para el resultado final.

Utilizando los valores de las pendientes y de los costes asociados a cada punto se realiza un análisis de direcciones según un punto asignado. A partir de esta capa de información, GeoMedia podrá calcular el camino que da menor coste a partir de cualquier punto.

En el apartado 6.3 se describe de forma más detallada cual ha sido el procedimiento realizado junto con los valores de los parámetros de configuración de cada una de las herramientas utilizadas para el análisis.

Como es de esperar, este tipo de análisis no es único ya que viene muy condicionado a los factores que nosotros tomemos para la asignación de costes. Al igual que en este caso únicamente se han trabajado con pendientes, se pueden trabajar con zonas de influencia respecto a la posición de yacimientos, proximidades o coincidencias con las redes de carreteras actuales, tiempos de recorrido, pendientes máximas, zonas de influencia de ríos y lagos, proximidad a poblaciones,...

6.2.3.2 Segunda parte. Análisis vectorial.

Así como el análisis efectuado en la parte anterior se fundamenta en un análisis de la información real de la zona de estudio, esta parte se basa en el análisis de la interpretación dada a la información real del terreno.

Como veremos, esta fase se va a realizar analizando un grafo de puntos y líneas que representan la localización de los yacimientos encontrados en el territorio y los caminos existentes que unen unos con otros. Realmente, como veremos, los caminos no se ajustan fielmente al recorrido real de éstos sino que representan un nexo de unión entre puntos. Aún así podremos observar que los resultados obtenidos en ambos estudios son muy similares aunque cada tipo de estudio tienen enfoques distintos.

Para esta segunda parte del estudio es fundamental describir en que consiste el algoritmo de Dijkstra utilizado para realización de todos estos cálculos.

Edsger Wybe Dijkstra (1930-2002) [W16]



Aunque en 1954, Dijkstra se planteaba la posibilidad de estudiar Derecho y trabajar como representante de Holanda en las Naciones Unidas, su facilidad para las ciencias le hizo reconsiderar su idea y matricularse de física teórica en la Universidad de Leiden.

A partir de 1952 empezó a trabajar en el Centro Matemático de Ámsterdam donde desarrolló su interés por la programación. Desde 1972 desarrolló toda su vida y carrera profesional en los Estados Unidos hasta llegar a ser miembro honorario de la Academia Americana de Artes y Ciencias. Fuera del territorio americano se le consideró miembro de la Real Academia Holandesa de Artes y Ciencias,

miembro distinguido de la Sociedad de Computación Británica y finalmente es Doctor Honoris Causa en Ciencias por la Queen's University Belfast.

De entre todos sus numerosos estudios y artículos, existen tres contribuciones cuyo impacto está presente en numerosos ámbitos de la computación moderna: el algoritmo para obtener caminos de menor coste, el concepto de exclusión mutua en el ámbito de la concurrencia de procesos y su aportación a la programación estructurada. Para este caso práctico nos centramos en la primera.

Algoritmo de Dijkstra

Dado inicialmente un grafo dirigido $G:\{V,A\}$ donde N es el conjunto de nodos y A es el conjunto de aristas que unen los nodos de N , el algoritmo consiste en determinar cual es el camino de menor coste que debemos de seguir para llegar a cualquiera de los nodos partiendo de un nodo inicial asignado y de un valor de coste asociado a cada una de las aristas del grafo. [W14]

Sean los vértices $a \in V$ y $z \in V$; donde a es el nodo de origen y z el nodo de destino.

Sea un conjunto $C \subset V$, que contiene los nodos de V cuyo camino más corto desde a todavía no se conoce.

Sea un vector D , con tantas dimensiones como elementos tiene V , y que "guarda" las distancias entre a y cada uno de los nodos de V .

Sea, finalmente, otro vector, P , con las mismas dimensiones que D , y que conserva la información sobre qué nodo precede a cada uno de los nodos en el camino.

El algoritmo para determinar el camino de longitud mínima entre los nodos a y z es:

```
función Dijkstra (Grafo G, nodo_salida s)
  //Usaremos un vector para guardar las distancias del nodo salida al resto
  //Inicializamos el vector con distancias iniciales
  // vector de booleanos para controlar los nodos evaluados

  booleano visto[n]

  para cada w de V[G] hacer
    Si (no existe arista entre s y w) entonces
      distancia[w] = Infinito
    Sino
      distancia[w] = peso (s, w)
  fsi
  fpara
  distancia[s] = 0
```

```

visto[s] = cierto
mientras (no_esten_vistos_todos) hacer
    vertice = coger_el_minimo_del_vector distancia y que no este visto;
    visto[vertice] = cierto;
    para cada w de sucesores (G, vertice) hacer
        si distancia[w]>distancia[vertice]+peso (vertice, w) entonces
            distancia[w] = distancia[vertice]+peso (vertice, w)
        fsi
    fpara
fmientras
finfuncion
    
```

Al terminar este algoritmo, en **Dz** estará guardada la distancia mínima entre **a** y **z**. Por otro lado, mediante el vector **P** se puede obtener el camino mínimo: en **Pz** estará **y**, el nodo que precede a **z** en el camino mínimo; en **Py** estará el que precede a **y**, y así sucesivamente, hasta llegar a **a**.

A continuación se muestra de forma gráfica como evaluaría el algoritmo un grafo de ejemplo. [W17]

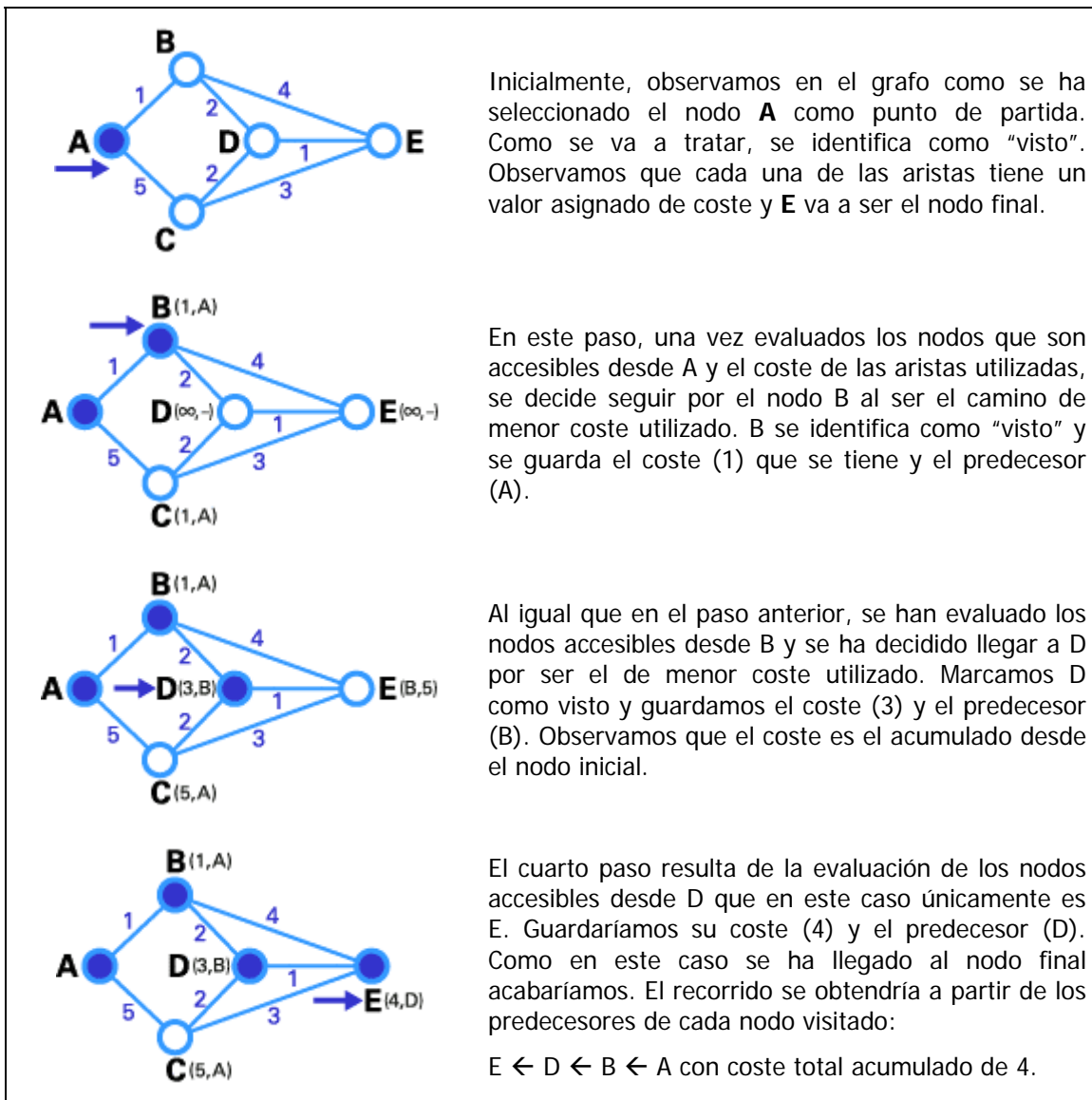


Figura 30. Ejecución del algoritmo de Dijkstra en un grafo de ejemplo.

Para la implementación de este algoritmo hemos trabajado con Visual Basic, concretamente con la versión 6.0 y ha consistido en la implementación de una librería .dll. El asistente "GeoMedia Command Wizard" descrito anteriormente (apartado 5.4) crear una librería dll para cada una de las nuevas funcionalidades que se desean integrar en el entorno GeoMedia y su archivo correspondiente de definición XML.

Para programar cada uno de los comandos deseados, se deberá programar una nueva clase y dentro de cada una, entre los métodos particulares, se deberán programar una serie de métodos públicos los cuales utiliza GeoMedia como sistema de interacción y dependiendo sobretodo si el nuevo comando implementado presenta un comportamiento modal (al estar activo el procedimiento coge el control absoluto de la aplicación) o no. A continuación se describen dichos métodos:

```
Sub Initialize (ByVal app As Object, ByVal listener As Object)
```

Método llamado por GeoMedia cuando se carga la librería Dll donde están los comandos. En el primer parámetro se pasa la referencia al objeto Application, que representa la aplicación GeoMedia en ejecución y que el comando necesita para utilizar su modelo de objetos. El segundo parámetro solamente se utiliza en comandos no modales. En este caso no lo usaremos al tratarse de una solución modal.

```
Sub Activate ( )
```

Método llamado por GeoMedia cada vez que se necesita ejecutar el comando.

```
Function CanEnable ( ) As Boolean
```

Método llamado por GeoMedia para conocer si el comando está preparado para ser ejecutado.

```
Sub Terminate ( )
```

Método llamado por GeoMedia cuando se descarga la librería Dll donde están los comandos utilizados.

En cuanto al archivo XML, los comandos se definen utilizando elementos *ApplicationCommand* con el elemento *ApplicationCommands* como raíz. El esquema de cada uno de estos elementos está compuesto por las siguientes entradas:

- **ProgID:** Identificador del comando en el registro de Windows. Típicamente <programa>.<componente>
- **DllName:** nombre de la librería donde se encuentra el comando.
- **BitmapRootFileName:** primera parte de los nombres de las cuatro imágenes utilizados como iconos de los botones.
- **Description:** descripción del comando que será mostrado en la barra de estado de GeoMedia.
- **Tooltip:** texto que se muestra al mantener el cursor del ratón sobre el icono del comando.
- **EnableMask:** máscara de identificación de eventos a los que nuestro comando estará activo. Dicho valor está asignado por el GeoMedia Command Wizard según las opciones seleccionadas en el transcurso del asistente.
- **IsModal:** indica si el comando que programamos es modal o no (modeless).
- **ModelessCommandPriority:** prioridad del comando respecto a los otros.

- **ModelessListenerMask:** eventos que el comando quiere recibir como *listener* de las vistas.

Finalmente este es el archivo XML que se ha definido para la carga del nuevo componente:

```
<ApplicationCommands xmlns="http://www.intergraph.com/GeoMedia/appcmd"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" version="1.0">
  <ApplicationCommand>
    <ProgID>ADijkstra.Dijkstra</ProgID>
    <DllName>Dijkstra.dll</DllName>
    <BitmapRootFileName>Dijkstra</BitmapRootFileName>
    <Description>Algoritmo de Dijkstra</Description>
    <Tooltip>Dijkstra</Tooltip>
    <EnableMask>131072</EnableMask>
    <IsModal>0</IsModal>
    <ModelessCommandPriority>SelectionCommand</ModelessCommandPriority>
    <ModelessListenerMask>18</ModelessListenerMask>
  </ApplicationCommand>
</ApplicationCommands>
```

Respecto al diseño del comando, se ha optado por una programación estructurada, separada por clases y orientada a eventos. Concretamente se ha creado una clase enfocada a los datos y métodos propios del comando (Dijkstra.cls), en la que encontramos los métodos anteriormente mencionados que se utilizan de interfaz entre GeoMedia y la dll, y una clase enfocada al manejo de Grafos y su recorrido (clsGrafo.cls). Dentro de este módulo es donde se encuentra implementado el algoritmo de Dijkstra.

Respecto a la parte de presentación e interacción con el usuario, se ha programado un formulario modal (Figura 31) que, según los eventos acontecidos en él la aplicación, va dando respuesta. Para el diseño de dicho formulario se ha buscado la sencillez de manera que todo usuario pueda utilizarlo sin ningún tipo de problema basándose en su intuición. Está planteado en forma de asistente marcando los pasos que debe seguir el usuario para conseguir el resultado esperado.

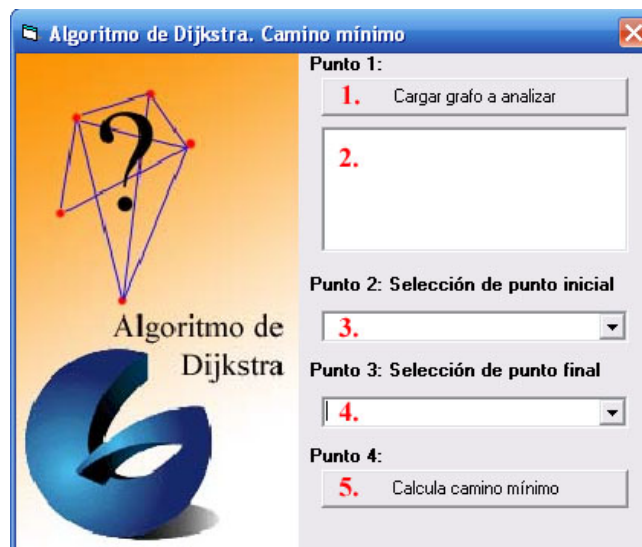


Figura 31. Pantalla de ejecución del comando.

En la imagen anterior observamos los elementos que aparecen en la pantalla.

1. El usuario, actuando sobre este botón cargará el conjunto de nodos que forman el grafo de estudio. Una vez cargados, los nodos aparecerán en la lista inferior (2.)
2. Lista de nodos del grafo a tratar.
3. Cuadro de selección del nodo inicial. De entre todos los nodos cargados en la aplicación, el usuario podrá seleccionar el que necesite como inicio de camino.

4. Cuadro de selección del nodo final. Al igual que en el cuadro anterior, el usuario seleccionará el nodo que marque el final del camino a obtener.
5. Al ejecutar este botón se pondrá en marcha el cálculo del camino a cuya finalización se mostrará en la pantalla de mapa resaltado el camino que se ha encontrado.

Para la ejecución de este comando, será necesario tener creada una clase de entidad "Nodos", donde, entre los campos de información que se tengan, será necesario un campo numérico llamado **P_ID** que servirá como identificador de nodo. Para el caso de las aristas del grafo, será necesario que se tenga definida una clase de entidad llamada "Caminos" en la que tengamos (aparte de la información alfanumérica deseada) los siguientes campos:

- **ID**: Identificador del camino de tipo numérico.
- **Origen**: Campo numérico identificador del nodo (Clase Nodos) que marca el inicio del camino. Este campo debe coincidir con el campo P_ID del nodo en cuestión.
- **Destino**: Campo numérico identificador del nodo (Clase Nodos) que marca el final del camino. Este campo debe coincidir con el campo P_ID del nodo en cuestión.
- **Peso**: Campo numérico que almacenará el valor del coste asociado al recorrido de dicho camino.

En el apartado 6.3.3 se puede encontrar un ejemplo de ejecución de este comando.

6.3 Implementación y ejecución.

Antes de comenzar a ejecutar cada una de las partes, será necesario preparar el proyecto GeoMedia. Para ello hemos seguido los siguientes pasos:

- **Definir un archivo de sistemas de coordenadas.** Utilizando la herramienta "Definir archivo de sistema de coordenadas" (véase apartado 5.1) creamos el fichero "Catalunya.csf" configurado con el sistema de proyección "**Universal Transverse Mercator**" con parámetros de hemisferio **Norte** y zona **31** y configuración de espacio geográfico con valores de Datum geodésico **European 1950** y Datum vertical **User-defined**. Las unidades de almacenamiento horizontal y vertical se configuran con 1 metro.
- **Crear el GeoWorkspace del proyecto.** Utilizando la opción de "GeoWorkspace nuevo" del menú "Archivo" y utilizando la plantilla normal.gwt. Como configuración de sistema de coordenadas se elige el fichero creado en el paso anterior.
- **Crear las conexiones a los almacenes necesarios.** Entre estos almacenes tendremos el que usaremos de lectura/escritura (Access) llamado **df2mera_basedades.mdb** y los almacenes para importar las fuentes de información descritos en el apartado 6.2.1 configurándolos con los parámetros de sistemas de coordenadas y esquema de servidores CAD necesarios.
- **Pasar las clases de entidad de los almacenes de lectura al de trabajo.** Mediante la opción "Sacar a clase de entidad" pasaremos los datos de los almacenes externos (municipios, comarcas, yacimientos, rutas,...) a nuestra base de datos (df2mera_basedades.mdb).
- **Digitalización de la primera parte del camino.** Una vez creada la entidad de destino en la base de datos df2mera_basedades.mdb llamada "Tramo TarracoLleida" con tipo de geometría Línea, se ha introducido la entidad correspondiente al camino, punto a punto gracias a la interpretación de las ortofotos necesarias que se han cargado con anterioridad.

Llegados a este punto, en los siguientes apartados se describen los pasos necesarios que se han realizado para cada una de las dos partes.

6.3.1 Primera parte. Análisis ráster de caminos mínimos.

Antes de comenzar con el análisis mediante GRID, inicialmente se han creado las capas de puntos para las ciudades de Lleida y Sant Bertrand. Para ello primero se creó una clase de entidad en la Geodatabase para posteriormente introducir el punto en la posición correcta. Se ha definido una clase de entidad diferente para cada una de las ciudades.

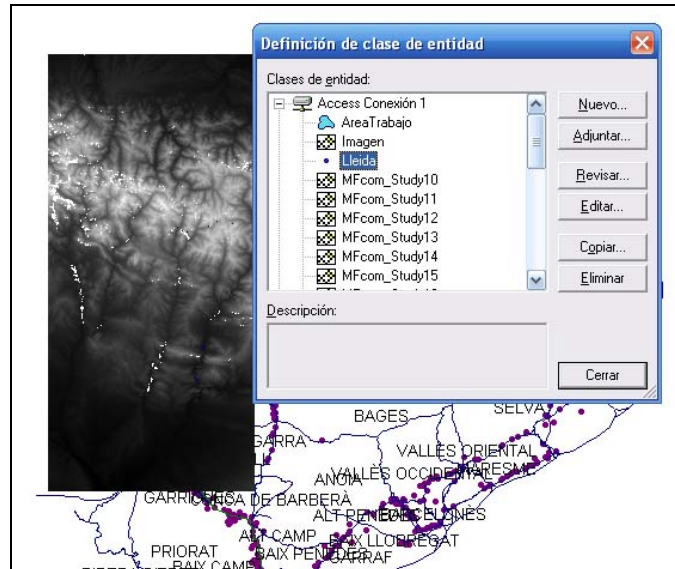


Figura 32. Ejemplo de capa de tipo puntos creada para la ciudad de Lleida.

A la hora de definir la clase de entidad nueva, se configuró como tipo de geometría punto y con un único atributo ID de tipo autonumérico. Si se hubiera deseado, junto al identificador, se podrían haber introducido nuevos datos alfanuméricos que complementarían la información de la entidad. Una vez introducido el punto, la ventana de datos muestra el registro insertado. El proceso para la digitalización de la población de St. Bertrand de Comminges ha sido el mismo obteniendo un resultado satisfactorio.

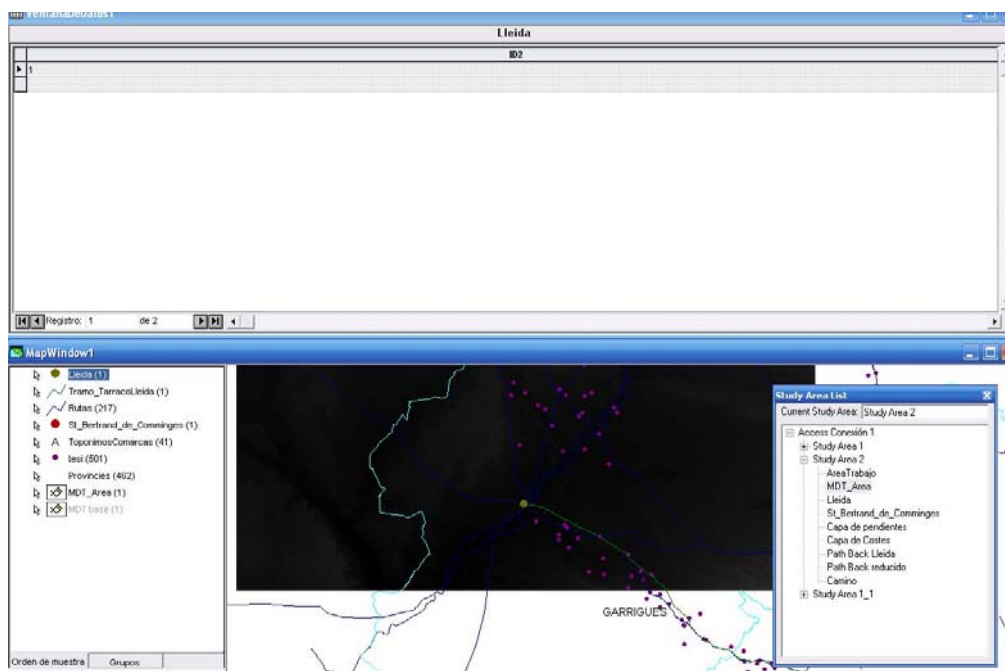


Figura 33. Resultado tras insertar la entidad Lleida en la Vista de Mapa

- **Creación del Área de Estudio:** (Figura 34) Inicialmente se ha creado partiendo de la importación del MDT que usamos de base mediante la opción de menú Grid → Study Area → Import File(s)... seleccionando el correspondiente fichero .asc y el fichero de sistema de coordenadas que usamos.

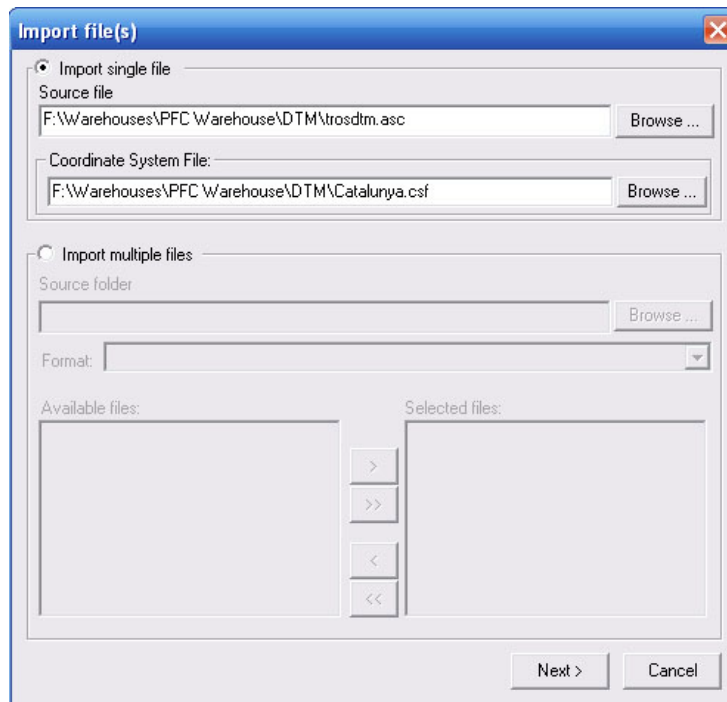


Figura 34. Pantalla de importación de ficheros al módulo GM Grid

- **Definición de las unidades de capa:** Una vez cargada la capa de MDT se ha accedido a la pantalla de información de la misma para asignar las unidades de medida (en este caso metros).

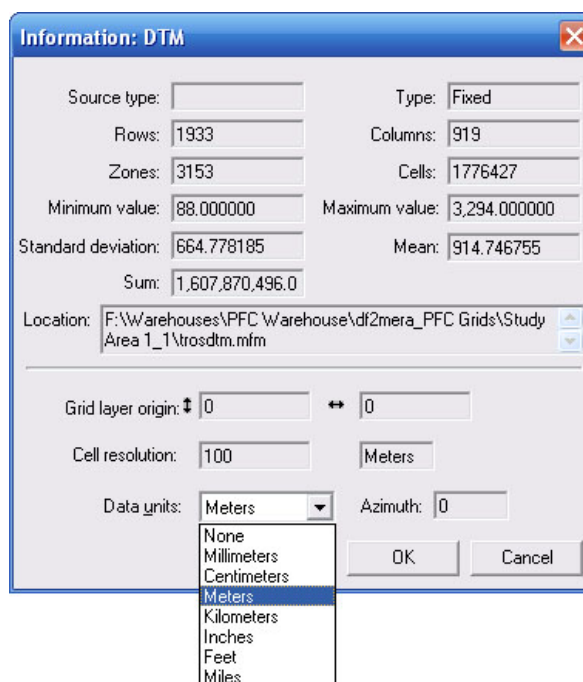


Figura 35. Seleccionamos como unidad de los datos la opción "Metros"

- **Importación de puntos de inicio y final de recorrido:** Se han importado las capas de la leyenda, correspondientes a la localización de los puntos de inicio (Lleida) y final (St. Bertrand de Comminges) mediante el menú Grid → Layer → Rasterize Legend Entry(s).

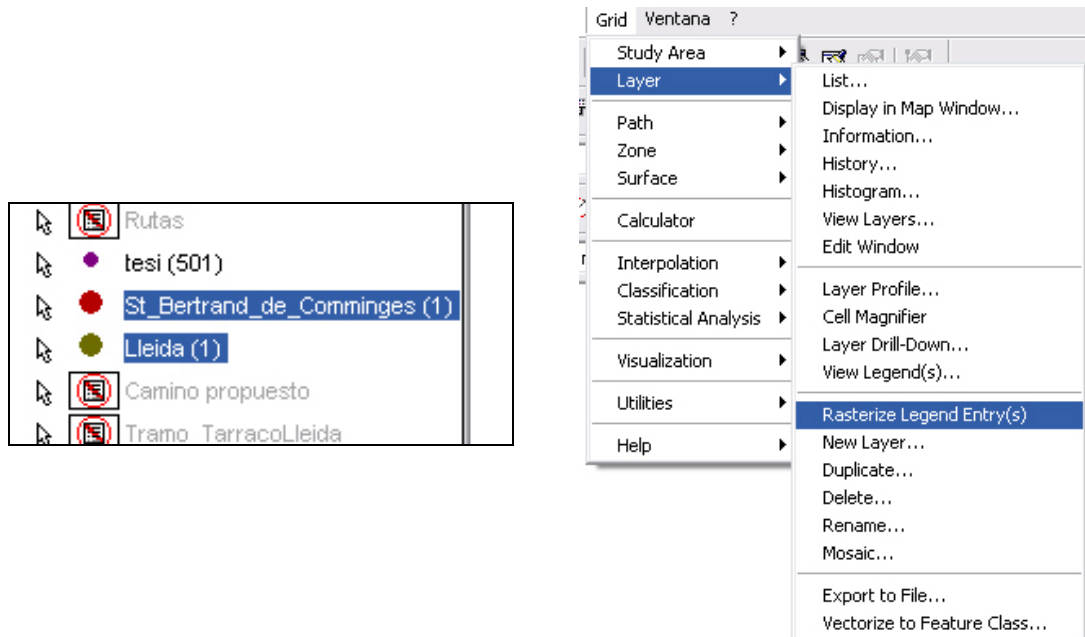


Figura 36. Procedimiento de rasterización de capas de leyenda

Una vez cargadas todas las capas base para el análisis se han seguido los siguientes pasos:

- **Cálculo de mapa de pendientes:** Accediendo por medio de la opción de menú Grid → Surface → Grade y aplicándola a la capa de MDT se ha obtenido una nueva capa en la que se tiene para cada celda el porcentaje de pendiente y la orientación de la misma. En la imagen se observa como para ello se ha seleccionado la opción de "Average slope" y "Percent slope".

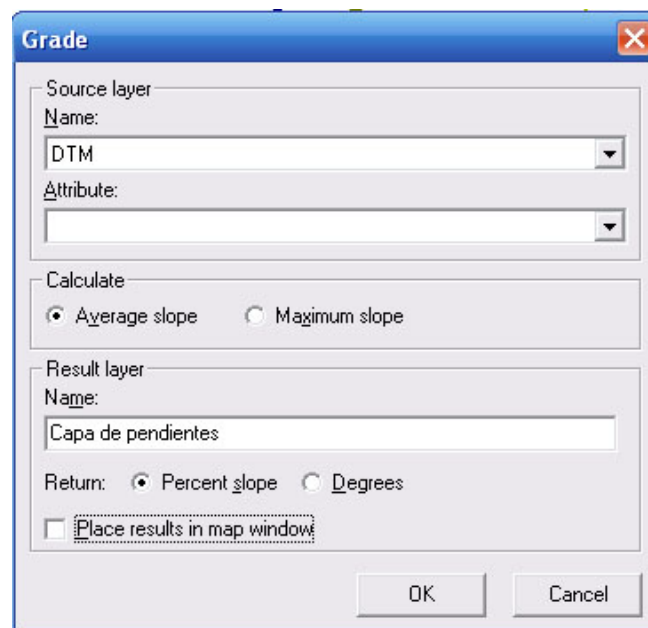
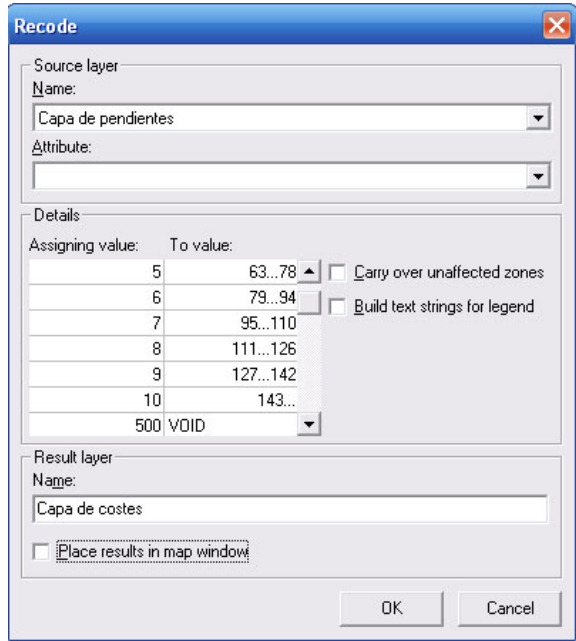


Figura 37. Configuración de la herramienta "Grade" para la obtención de pendientes.

- **Asignación de costes según clasificación de pendientes:** Una vez calculadas las pendientes de cada una de las celdas en el paso anterior, se ha pasado a la asignación de costes según la distribución de pendientes que se ha considerado interesante y que se puede observar en la siguiente figura. Para la realización de dicha clasificación se ha seleccionado la opción Grid → Classification → Recode



Assigning value	To value
0	0
1	1...3
2	4...5
3	6...7
4	8...9
5	10...11
6	12...13
7	14...15
8	16...17
9	18...19
10	20...

Figura 38. Herramienta Recode. Tabla de rangos utilizados en la clasificación

- **Cálculo de camino de regreso a Lleida:** Mediante la opción de menú Grid → Path → Distance/Cost... y configurando las opciones como se observa en la imagen obtenemos una capa con el coste de volver al punto Lleida desde cada una de las celdas.

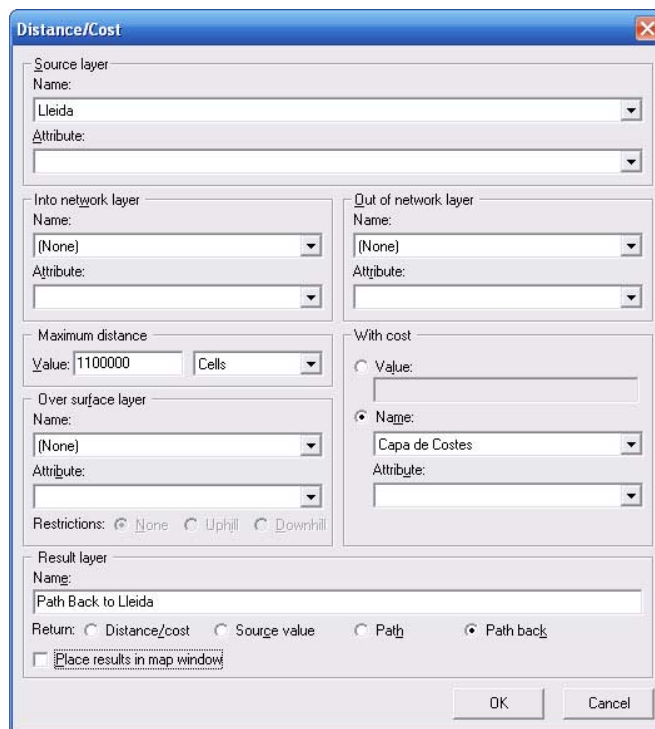


Figura 39. Parámetros de configuración de la herramienta Distance/Cost.

Como se ve en la imagen anterior, como máxima distancia se ha utilizado 1.100.000, valor que se ha obtenido a partir de la ecuación:

$$\sqrt{\text{filas}^2 + \text{columnas}^2} \times \text{CosteMayor}$$

Los valores de filas y columnas se han obtenido consultado la pantalla de información de la capa de MDT como se puede observar en la figura 35.

- **Propuesta de camino:** Desde la misma opción que el punto anterior pero cambiando los parámetros como quedan en la siguiente imagen, GeoMedia calcula una propuesta de camino mínimo según costes de pendientes para unir ambos puntos.

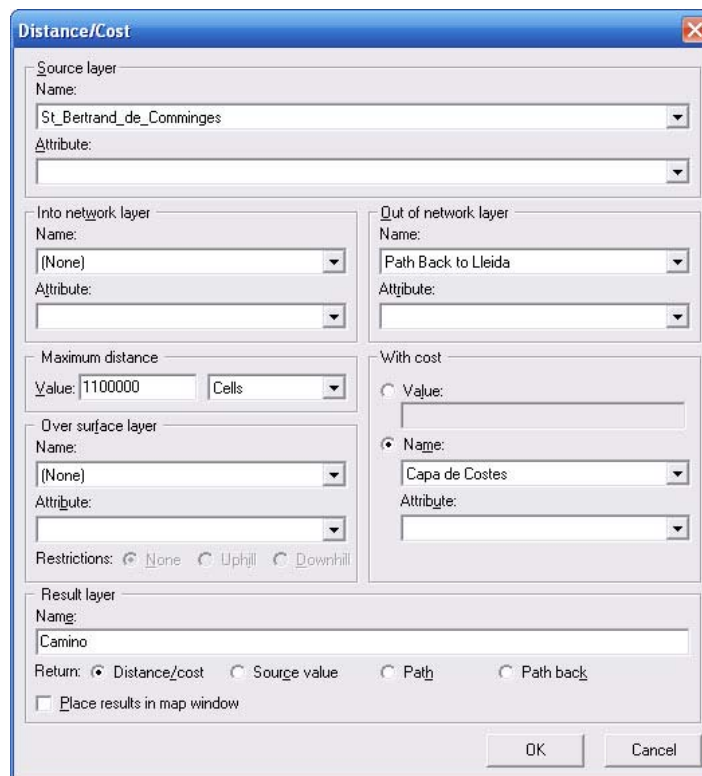


Figura 40. Parámetros de configuración para la obtención de la propuesta de camino mínimo.

6.3.2 Segunda parte. Análisis vectorial de caminos mínimos.

Para la ejecución de este segundo análisis, se parte del GeoWorkspace cargado con las capas que conforman el grafo a analizar. En el encontramos una serie de nodos, correspondientes a un conjunto de yacimientos que encontramos entre los puntos de Ilerda y St. Bertrand de Comminges y como aristas un conjunto de caminos que nos comunican unos nodos con otros. Cabe señalar que así como la posición de los nodos son reales, los caminos existentes entre ellos se han inventado como caso de ejemplo, eso sí, los pesos asociados a cada uno de ellos corresponden a las distancias lineales que existen entre ambos extremos del camino.

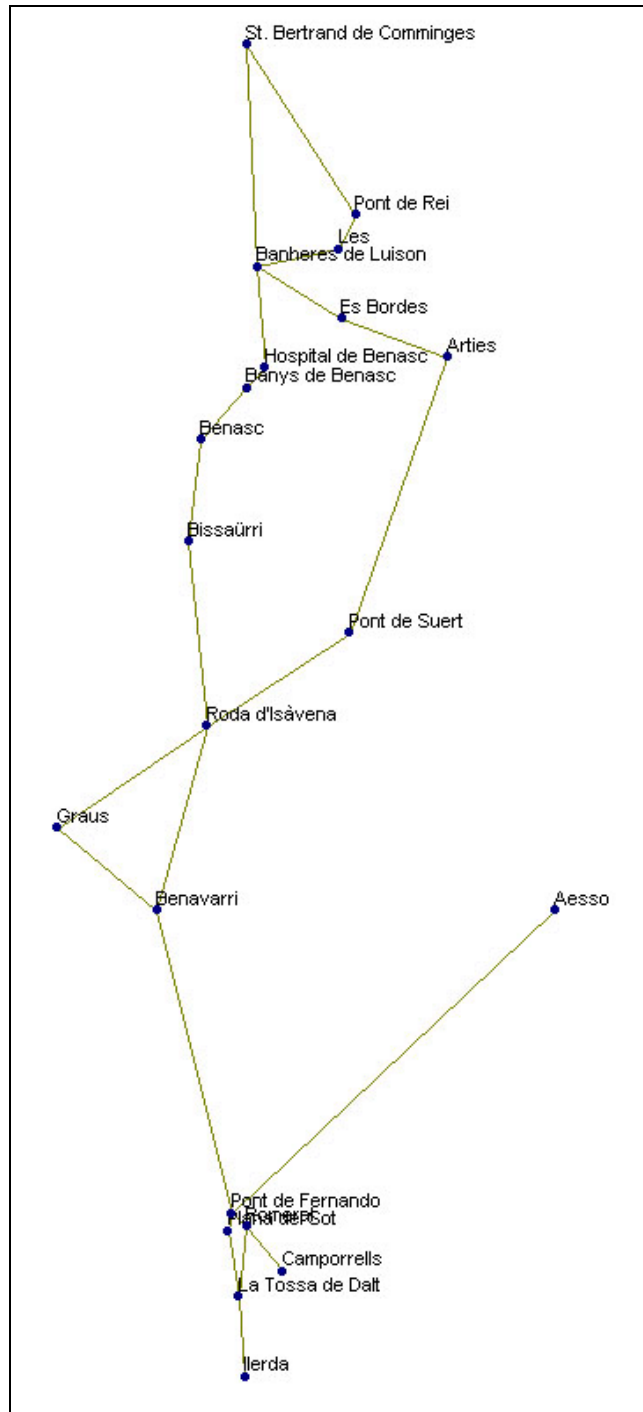


Figura 41. Grafo de ejemplo utilizado de base.

Una vez cargado, desplegamos el menú Análisis de la parte superior y elegimos la opción "Dijkstra" (figura 42) apareciéndonos la siguiente pantalla de configuración de parámetros. El contenido de esta pantalla se ha descrito al final del apartado 6.2.3.2.

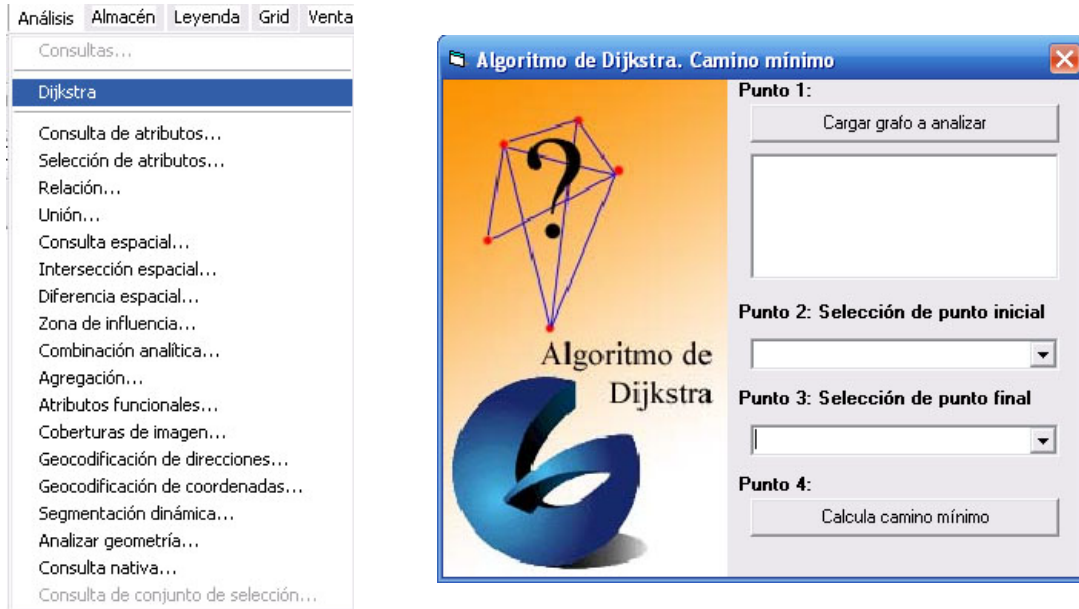


Figura 42. Opción de menú y pantalla de selección de parámetros.

Al darle al botón de "Cargar grafo", todos los puntos asociados al grafo que estamos visualizando se nos cargan en la aplicación. Tanto en la lista como en los cuadros de selección de punto inicial y final tendremos los nombres de todos los yacimientos cargados.

Seleccionaremos en estas dos listas cuales son los puntos que se desean marcar como camino a estudiar para posteriormente pulsar el botón correspondiente al punto 4 para que comience el cálculo.

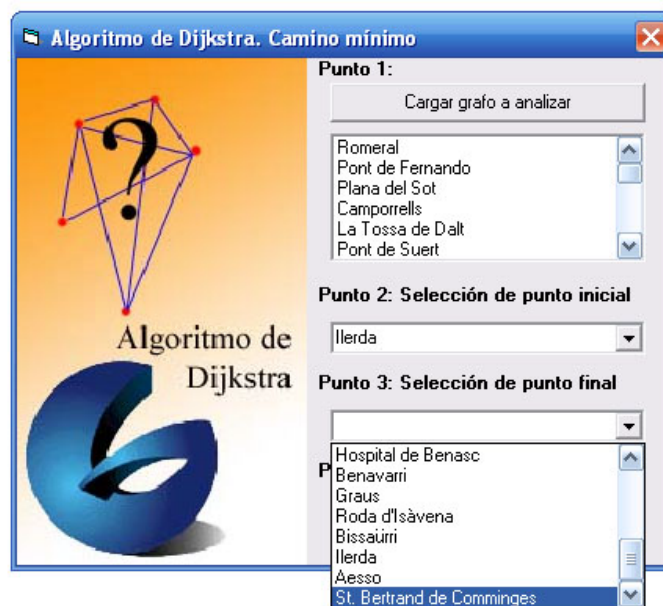


Figura 43. Configuración del camino a buscar.

Al finalizar éste, en nuestro GeoWorkspace aparecerá una nueva capa más en la leyenda con el título "Camino mínimo" y en la vista de mapa nos aparecerá el camino mínimo encontrado resaltado.

6.4 Resultados obtenidos

6.4.1 Primera parte. Resultados sobre análisis ráster.

Como resultados después de pasar por todos los pasos mencionados en el punto 6.3.1 se ha obtenido el camino que se muestra en la figura 44. Hay que señalar que aunque en la imagen pueda parecer cortado, en la realidad es una línea completa. Podemos observar como el camino que se ha encontrado pasa perfectamente por las zonas más oscuras. Dichas zonas corresponden a los valles que se forman entre altas montañas y que son los pasos donde existe menores diferencias de pendientes.

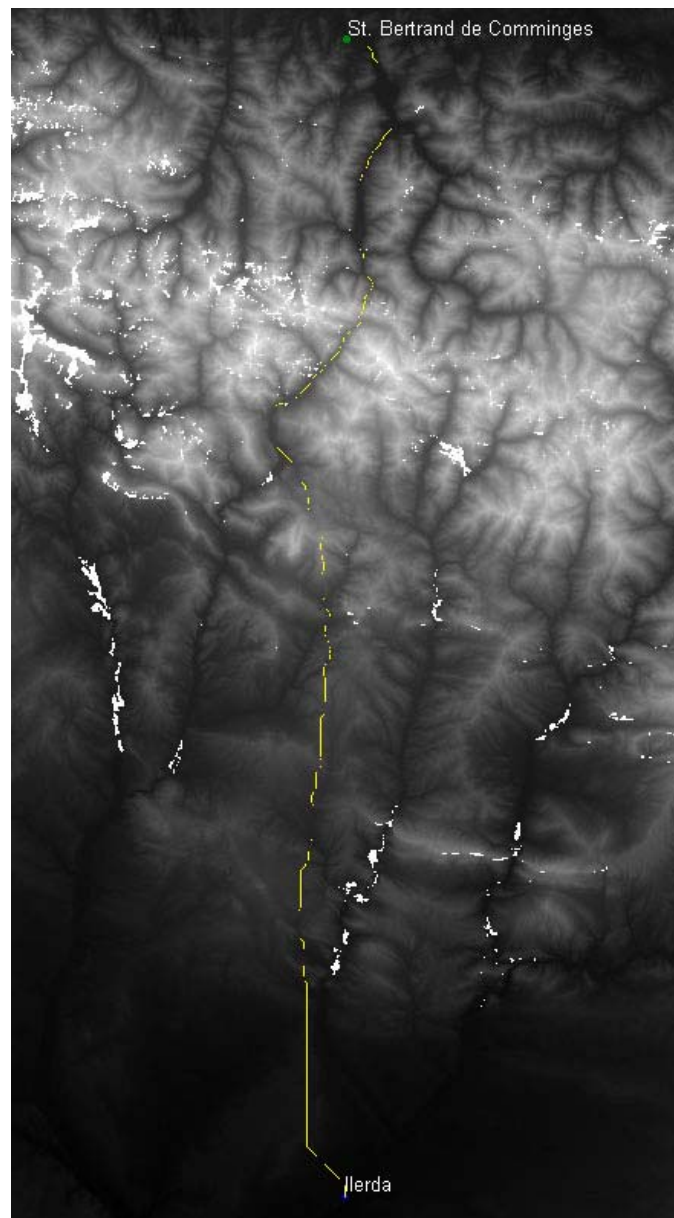


Figura 44. Camino propuesto después del análisis de superficie.

6.4.2 Segunda parte. Resultados sobre análisis vectorial.

Para esta parte, en la siguiente imagen observamos el camino encontrado resaltado. Podemos ver que el camino que se ha encontrado corresponde con el camino más derecho que se puede formar entre puntos (debido a que el peso del camino corresponde a la distancia lineal entre puntos).

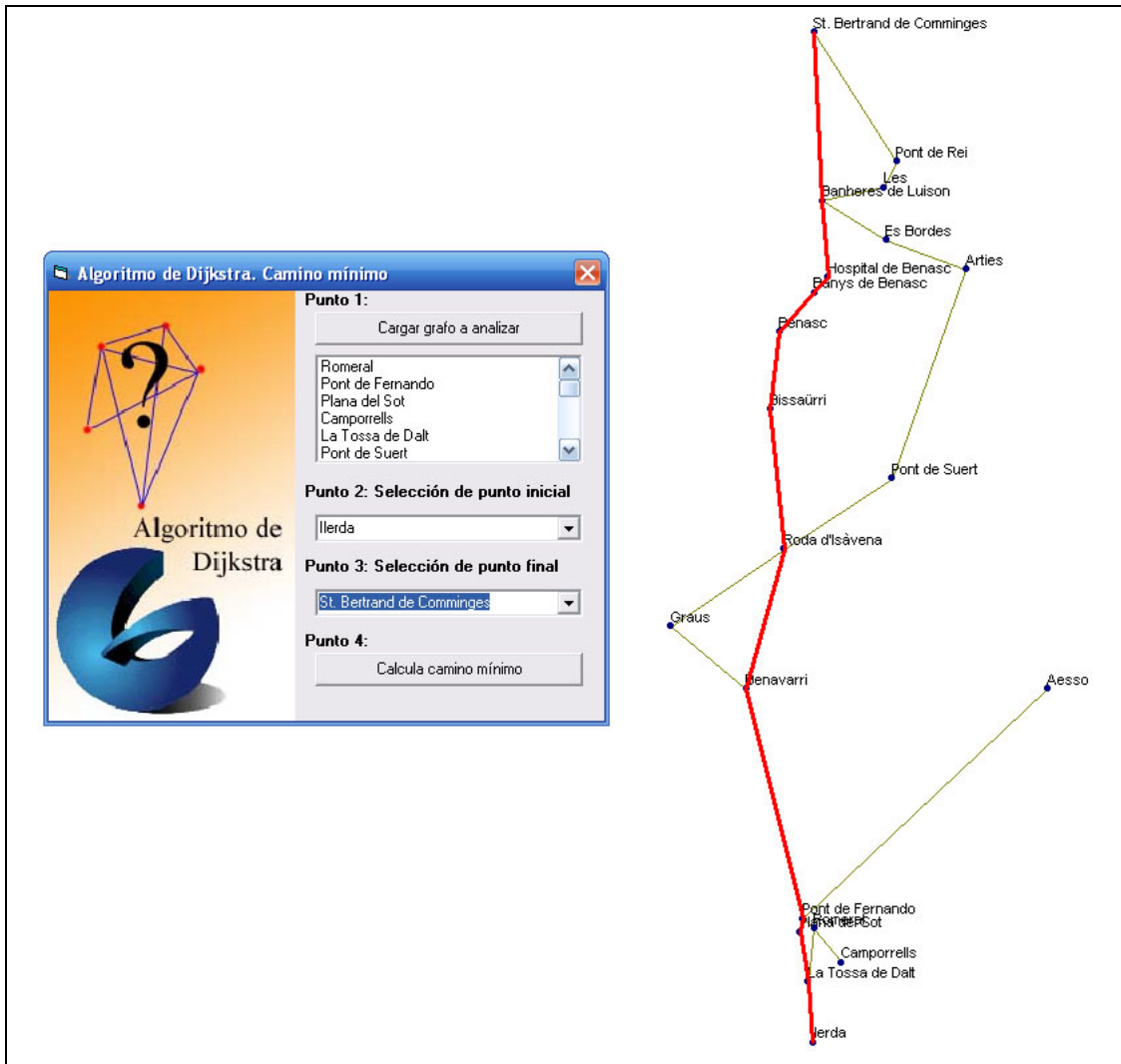


Figura 45. Camino propuesto después de la ejecución del algoritmo.

Vistos los dos caminos encontrados como resultados, observamos como, aún siendo métodos de análisis diferentes y sobre formatos distintos, ambos resultados coinciden bastante. Tal vez es a la hora de buscar en detalle donde encontramos más diferencias siendo el método ráster el que se ajusta mucho más a la realidad.

Capítulo 7.

Conclusiones

Para concluir el proyecto, en este capítulo se recogen las impresiones tenidas durante el transcurso del mismo, dificultades encontradas y una síntesis de lo que ha significado la ejecución del mismo.

Los puntos a tratar en este capítulo son:

- Dificultades encontradas
- Mejoras
- Valoración final.

7.1 Dificultades encontradas.

- Como cada vez que se comienza a trabajar con una herramienta nueva, la fase inicial siempre se hace complicada hasta que te familiarizas con el entorno y herramientas. Independientemente de esto, comenzar a trabajar con GeoMedia ha resultado más intuitivo de lo esperado. Cabe señalar que ya había tocado algún que otro Sistema de Información Geográfico por lo que el entorno te puede resultar familiar. Tal vez el punto que me ha llevado más tiempo controlar ha sido la filosofía que tiene GeoMedia para gestionar las conexiones y pasar información de un almacén a otro.
- Durante la preparación del entorno me encontré con problemas al cargar capas de diferentes fuentes ya que no me coincidían en coordenadas. El problema vino dado a un error en la configuración del Batum vertical al confundir **Unspecified** con **User-defined**.
- Para el proceso de análisis con información ráster me he encontrado con algunos problemas a la hora de que GeoMedia me diera resultados coherentes. Inicialmente me estaba proponiendo caminos con puntos dentro del mar. El principal motivo estaba en la configuración de los valores VOID a la hora de encontrar la capa de path back. La manera de resolverlo fue recortando la zona de estudio (de manera que también se conseguía reducir notablemente el tiempo de ejecución) junto con una reclasificación correcta de los valores de pendientes (Recode).
- El proceso de análisis con información vectorial me ha llevado muchos más dolores de cabeza. El principal problema lo he tenido a la hora de conocer el funcionamiento de los objetos de GeoMedia para el paso de información entre éste y Visual Basic. Aparte, los manuales de ayuda que vienen con GeoMedia tienen ejemplos cuyo código está implementado en Visual Studio y no en Visual Basic 6.0 por lo que el uso de librerías y llamadas a métodos no es igual. A esta situación hay que sumarle el hecho de no tener instalada la ayuda de MSDN para la versión 6.0 por lo que el avance en la implementación de código ha sido muy costosa.
- Otra dificultad encontrada para la depuración del código ha sido la imposibilidad de poder realizar seguimientos en la ejecución con la herramienta de depuración de Visual Basic por lo que todos los seguimientos se han tenido que realizar con mensajes.
- A la hora de instalar o desinstalar las dll's en caso de querer hacer una rectificación (fuera del código, al no ser necesario en este último caso) no me ha funcionado correctamente, encontrando alguna situación en la que me ha sido imposible desinstalar la versión antigua ni tampoco instalar una versión nueva. La única forma de corregirlo fue tocando el código del registro de manera manual y reinstalar de nuevo tanto GeoMedia Pro como GM Grid.
- La incorporación de nuevas opciones de menú insertando comandos personalizados nuevos me ha provocado en más de una ocasión la desorganización de los comandos existentes en las opciones del menú Grid. Es decir, las llamadas a las herramientas no coincidían con las herramientas que se abrían.

7.2 Mejoras.

En el análisis efectuado con información ráster se podría aproximar más la solución tomando como capa de costes un valor compuesto de evaluar, además de las pendientes, las zonas de influencia de otros elementos como son los yacimientos, rutas marcadas o poblaciones.

En el caso del comando nuevo implementado para la ejecución del algoritmo de Dijkstra, actualmente el módulo está programado para tomar los valores de unas capas ya definidas por lo que se podría buscar una implementación en la que el usuario pudiera seleccionar los puntos

de forma gráfica, seleccionando de la ventana de mapa aquellos puntos que conforman los vértices del grafo y los caminos que los unen.

Todo hay que decir que como mejora dada a la solución inicial del problema, el algoritmo está programado para poder obtener el camino desde cualquier punto a otro sin tener que estar cerrado a dar solución únicamente al camino entre Ilerda y St. Bertrand de Comminges.

En lo que respecta a las herramientas manejadas, desde mi punto de vista debe mejorar mucho las herramientas que ofrece GeoMedia para la integración de nuevos comandos personalizados al igual que aportar mejores manuales para la programación de los mismos. Me resulta muy extraño que un usuario pueda estropear las opciones de menú del programa por el hecho de cargar nuevas utilidades.

7.3 Valoración final.

Aún teniendo la opinión de que GeoMedia es una herramienta bastante fácil de manejar, comparándola con otros SIG del mercado, me ha dado una sensación de poca robustez y seguridad. A nivel de potencia de herramientas, no conozco mucho los paquetes de ampliación que existen en el mercado pero me da la sensación que se queda un poco corto. Razón de ello es la poca información que me he encontrado en la web a la hora de buscar manuales o herramientas.

A título personal, el desarrollo de este proyecto me ha dejado un buen sabor de boca. Hoy en día considero que los SIG son una herramienta muy potente e interesante para explotar en el mundo laboral con la capacidad de aportar numerosas ventajas. El hecho de conocer sus herramientas y posibilidades al igual que de la existencia de medios para poder programar nuevas funcionalidades hacen crecer en mí unas ganas enormes de descubrir mucho más de este increíble mundo.

7.4 Referencias

Referencias Bibliográficas

- [B1].- *Bosque Sedra, Joaquín. Sistemas de Información Geográfica.* Madrid Ed. Rialp, S.A. 2000 (Segunda Edición corregida)
- [B2].- *Joly, Fernand. La Cartografía.* Sant Joan Despí (Barcelona) Ed. Ariel S.A. 1982.
- [B3].- *Cebrián de Miguel, J.A. Mark, D. Métodos cuantitativos en Geografía: enseñanza, investigación y planeamiento.* Madrid A.G.E 1986.
- [B4].- *Burrough, P. Principles of Geographical Information Systems for Land resources assessment.* Oxford Oxford University Press.
- [B5].- *Braceen y Webster. Information technology in Geography and planning. Including principles of GIS.* Londres Routledge 1990.
- [B6].- *NCGIA. Core currículum. Tres volúmenes: I. Introduction to GIS. II. Technical issues in GIS. III. Application issues in GIS.* Santa Barbara (California) 1990
- [B7].- *Perrier, G. Petite histoire de la géodesie.* Paris, Alcan 1931.

Referencias Digitales

- [W1].- ZONA EDUCATIVA. *¿Qué es un SIG?*
<http://www.fcagr.unr.edu.ar/mdt/GTS/Zonaedu/GIS1htm.htm>
- [W2].- MONOGRAFÍAS. *Sistemas de Información Geográficos*
http://www.monografias.com/trabajos/gis/gis.shtml#_Toc450533783
- [W3].- NAVACTIVA. *Qué es un SIG.*
www.navactiva.com/web/es/descargas/pdf/atic/sig1.pdf
- [W4].- Carlos A. Furuti. *Map projection Pages.*
<http://www.progonos.com/furuti/MapProj/Dither/TOC/cartTOC.html>
- [W5].- WIKIPEDIA. *Sistemas de Información Geográfica.*
[http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Informaci%C3%B3n_Geogr%C3%A1fica#Historia_de_s
u_desarrollo](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Informaci%C3%B3n_Geogr%C3%A1fica#Historia_de_su_desarrollo)
- [W6].- Esri. GIS.com. *What is GIS?*
<http://www.gis.com/whatisgis/index.html>
- [W7].- GIS Lounge. *What is GIS.*
<http://gislounge.com/what-is-gis/>
- [W8].- Wikipedia. *Geodesia.*
<http://es.wikipedia.org/wiki/Geodesia>
- [W9].- SIGMUR. Universidad de Murcia. *Cartografía y Geodesia. Sistemas de proyección*
www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_1.pdf
- [W10].- Ministerio de Fomento. IDEE. *¿Qué es el proyecto INSPIRE?*
http://www.idee.es/show.do?to=pideep_que_es_INSPIRE.ES
- [W11].- MAPPING Interactivo. *Normas sobre Metadatos. (ISO 19115, ISO 19115-2, ISO 19139, ISO 15836).*
http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1455
- [W12].- Wikipedia. *Edsger Dijkstra*
<http://es.wikipedia.org/wiki/Dijkstra>
- [W13].- E.U. Ingeniería Técnica Informática de Oviedo. TP. *Algoritmo de Dijkstra - Algoritmos voraces*
http://euitio178.ccu.uniovi.es/wiki/index.php/TP:Algoritmo_de_Dijkstra_-_Algoritmos_voraces

- [W14].- Wikipedia. Algoritmo de Dijkstra
http://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_de_Dijkstra
- [W15].- Universidad de Chile. Departamento de Ciencias de la Computación. Edsger Wybe Dijkstra.
<http://www.dcc.uchile.cl/~rbaeza/inf/dijkstra.html>
- [W16].- Universidad de Cantabria. Algoritmo de Dijkstra
<http://www.alumnos.unican.es/uc900/Algoritmo.htm>
- [W17].- Howstuffworks. How routing Algorithms Work.
<http://computer.howstuffworks.com/routing-algorithm3.htm>