

UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA

INGENIERÍA INFORMÁTICA

Construcción de un SIG municipal para la gestión de una agencia de taxis

Alumno: **Raúl Bautista Erustes**

Dirigido por: **Eduard Allué Pont**

Semestre de primavera 2005-06

A Natalia, sin cuyo apoyo y comprensión no hubiera podido hacer este esfuerzo, y a mi familia.

Resumen

El presente trabajo es una aproximación a la gestión de taxis de una agencia mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Sus objetivos son: mostrar qué es un SIG (introduciendo los conceptos cartográficos necesarios), mostrar un SIG comercial como es *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*, diseñar una solución para la agencia de taxis del enunciado y finalmente implementar comandos mediante un lenguaje de programación, que resuelvan ciertas funcionalidades de un sistema de este tipo.

Los primeros dos objetivos son de un carácter más teórico. Han supuesto una amplia búsqueda de bibliografía, que ha quedado reflejada en el documento, de esta manera el lector puede ampliar la visión que ofrece el trabajo. Los otros dos objetivos suponen una solución a modo de prototipo de la gestión de llamadas de la agencia de taxis.

Como resultado de la parte práctica, se ha generado un prototipo con un modelo de entidades ampliable. Junto a él, se han implementado comandos que resuelven funcionalidades típicas de un sistema de este tipo, que se resumen en un cierto nivel de monitorización de la flota de taxis. El sistema también puede efectuar tareas de gestión de llamadas y de asignación de taxis a las mismas de manera eficiente.

Índice

Resumen	3
Índice	4
Índice de figuras	7
Índice de tablas	9
Introducción	10
1.1 Justificación del PFC	10
1.2 Objetivos	10
1.3 Enfoque y método a seguir	10
1.4 Planificación	11
1.5 Productos obtenidos	12
1.6 Descripción de capítulos	12
Sistemas de Información Geográfica	13
2.1 Qué es un SIG	13
2.2 Funciones básicas de un SIG	14
2.3 Componentes de un SIG	14
2.4 Aplicaciones de un SIG	15
2.5 Sistemas CAD	15
2.6 Representación de la información	16
2.6.1 Modelo <i>raster</i>	16
2.6.2 Modelo vectorial.....	17
2.6.3 Comparativa entre los modelos <i>raster</i> y vectorial	18
Introducción a la Cartografía	20
3.1 Qué es la Cartografía	20
3.1.1 Coordenadas geográficas	20
3.2 Geodesia	22
3.2.1 Geoide, elipsoide de referencia y <i>Datum</i>	22
3.3 El proceso cartográfico	24
3.4 Proyecciones cartográficas	25
3.4.1 Proyecciones cilíndricas.....	26
3.4.2 Proyecciones cónicas	26
3.4.3 Proyecciones planares o acimutales	26
3.5 Proyección y coordenadas UTM	27
3.5.1 Coordenadas	28
3.6 Obtención de cartografía	31
3.6.1 El ICC	31
3.6.2 Tareas del ICC	31
3.6.3 Servicios que ofrece el ICC	32
3.6.4 Productos digitales que ofrece el ICC	32
3.6.5 Formatos de fichero.....	33
3.6.6 Otras fuentes.....	34
GPS	35
4.1 El sistema GPS. Funcionamiento básico	35
4.2 Arquitectura del sistema GPS	36
4.2.1 El segmento espacial	37

4.2.2	El segmento de control	37
4.2.3	El segmento de usuario.....	37
4.3	Datos del sistema GPS	38
	GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0	39
5.1	Características generales.....	39
5.2	Conceptos.....	40
5.3	Funcionalidades.....	40
5.3.1	Sistemas de coordenadas	40
5.3.2	Almacenes.....	41
5.3.3	Ventanas de mapa y de datos	41
5.3.4	Entidades	42
5.3.5	Captura y corrección de datos.....	42
5.3.6	Análisis	43
5.3.7	Programación	44
5.4	Modelo de metadatos.....	44
5.5	Comparación.....	45
	Diseño del SIG.....	47
6.1	Problema a resolver.....	47
6.2	Diseño del geoworkspace	48
6.2.1	Elección del gestor de base de datos.....	48
6.2.2	Creación del prototipo.....	48
6.2.3	Entidades externas.....	49
6.2.3.1.	Base Municipal de Cataluña	49
6.2.3.2.	Ortofotos de la ciudad de Barcelona	52
6.2.4	Modelo de datos de negocio.....	54
6.2.5	Digitalización de las entidades de negocio	57
	Implementación de comandos	60
7.1	Requerimientos y alcance.....	60
7.2	Análisis.....	62
7.2.1	Actores	62
7.2.2	Casos de uso	62
7.2.2.1.	Caso de uso 1. Recoger una llamada y situarla en el SIG	62
7.2.2.2.	Caso de uso 2. Seleccionar taxi más cercano a una llamada	63
7.2.2.3.	Caso de uso 3. Simular tramas GPS	63
7.2.2.4.	Caso de uso 4. Situar taxis.....	64
7.3	Entorno de desarrollo	65
7.3.1	Creación de comandos e integración.....	65
7.4	Diseño e implementación.....	67
7.4.1	Aspectos generales.....	67
7.4.2	Situar llamada	67
7.4.2.1.	Algoritmo.....	67
7.4.2.2.	Interfaces	68
7.4.2.3.	Funcionamiento	68
7.4.2.4.	Código.....	70
7.4.3	Localizar taxi más cercano a una llamada.....	71
7.4.3.1.	Algoritmo.....	72
7.4.3.2.	Interfaces	72
7.4.3.3.	Funcionamiento	73
7.4.3.4.	Código.....	74
7.4.4	Simular agencia	76
7.4.4.1.	Algoritmo.....	76

7.4.4.2.	Interfaces	77
7.4.4.3.	Funcionamiento	79
7.4.4.4.	Código.....	83
Conclusiones		87
8.1	Líneas futuras de trabajo.....	87
Referencias		89
Sistemas de Información Geográfica.....		89
Introducción a la Cartografía		89
GPS		90
GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0		91
Diseño del SIG.....		91
Implementación de comandos		91

Índice de figuras

Figura 1. Modelo raster [18]	17
Figura 2. Nodo, línea y polígono [19]	18
Figura 3. Modelo vectorial [18]	18
Figura 4. Meridianos(a) y paralelos (b) terrestres [26].	21
Figura 5. Longitud (a) y latitud (b) terrestre [26].	22
Figura 6. Acimut [28].	22
Figura 7. Geoide, elipsoide y superficie terrestre [25].	23
Figura 8. Fases del trabajo cartográfico [24].	24
Figura 9. Proyecciones según geometría.....	25
Figura 10. Proyección cónica. Situación del cono y desarrollo en plano [24][31].	26
Figura 11. Proyección de Mercator. Posición cilindro –(a)- y desarrollo en plano –(b)-[26].	27
Figura 12. Proyección UTM [26].	28
Figura 13. División en husos y zonas UTM [26].	29
Figura 14. Huso coordenadas origen	30
Figura 15. Catálogo de bases, extraído del ICC [34].	33
Figura 16. Representación en (a) de la obtención de coordenadas gracias a las señales de los satélites. En (b), representación de los 24 satélites del segmento espacial [55].	36
Figura 17. Localización de la posición mediante tres satélites [56].	36
Figura 18. Red de control GPS [55].	37
Figura 19. Comunicación en el segmento de control –a-. En (b), representación de la comunicación a los receptores GPS para distintos tipos de navegación [55].	38
Figura 20. Trama GPS [55].	38
Figura 21. Leyenda, ventana mapa y de datos parcial (modificado desde [62]).	41
Figura 22. Leyenda, ventana mapa y de datos parcial (modificado desde [62]).	42
Figura 23. Algunos errores respecto de la geometría de los datos [62].	43
Figura 24. Algunos tipos de zonas de influencia [62].	44
Figura 25. Entidades insertadas-a-, y entradas de leyenda asociada –b-.	51
Figura 26. Efecto del rango de visualización establecido para los nombres de municipios	52
Figura 27. Situación de las ortofotos en relación a la base municipal.	52
Figura 28. Ejemplo de parte de la malla de ortofotos del ICC.	52
Figura 29. Coincidencia de las dos ortofotos del prototipo.	53
Figura 30. Diagrama estático UML	54
Figura 31. Composición de imágenes en la creación de entidades (Dirección y Taxi).	57
Figura 32. Aspecto de la digitalización de las entidades sobre las ortofotos.	59
Figura 33. Momento de la digitalización de una calle.	59
Figura 34. Vista de la digitalización sin ortofotos.	59
Figura 35. Administrador de comandos e inicio de creación de un comando.	65
Figura 36. Composición de imágenes en el proceso de creación de comandos. En (a) se ve la ventana de proyecto de MS VISUAL BASIC. En (b) se ve la opción de generación de la dll. En (c) se observa la ventana de personalización de las barras de herramientas en GEOMEDIA, en el momento de crear la opción. Por último, en (d), se observa la barra de herramientas una vez creada.	67
Figura 37. Pantalla del comando “Situación de una llamada”.	68
Figura 38. Formulario de recepción de una llamada.	69
Figura 39. Momento previo a situar la llamada. En azul aparece la calle del formulario, donde debe aparecer la llamada, en teoría.	69
Figura 40. Llamada situada con diamante rojo en la calle correspondiente.	70
Figura 41. Pantalla del comando “Taxi más cercano”	73
Figura 42. Situación de partida en la localización del taxi más cercano a la llamada.	73
Figura 43. Imagen con un taxi localizado.	74
Figura 44. Pantalla de Simular agencia.	78
Figura 45. Itinerarios circulares para los taxis libres.	79

Figura 46. En (a), no hay llamadas para Taxi más cercano. En (b), la llamada no es una de las prefijadas.	79
Figura 47. Posición de las llamadas una vez creadas, con los taxis libres en movimiento.	80
Figura 48. Proceso de establecimiento de llamadas.....	80
Figura 49. Mensajes de confirmación de llamadas predefinidas.	81
Figura 50. Itinerarios del sistema.	81
Figura 51. Taxi asignado a una llamada que en breve recogerá al cliente.	82
Figura 52. Coordenadas geográficas de la posición del taxi de la Figura 51.	82
Figura 53. Taxi en estado ocupado llegando a destino.....	82
Figura 54. Estado final de la simulación, en el que los taxis se encuentran en la dirección destino en estado libre.....	83

Índice de tablas

Tabla 1. Planificación del proyecto.....	11
Tabla 2. Comparación SIG-CAD.....	16
Tabla 3. Comparación raster-vectorial.....	19
Tabla 4. Formatos de productos digitales ofrecidos por el ICC.....	34
Tabla 5. Comparación de SIG existentes en el mercado.	46
Tabla 6. Características iniciales del SIG.	49
Tabla 7. Definición de clases de entidad provenientes de BaseCat.csd.....	50
Tabla 8. Definición de rangos de visualización para las entidades de la base municipal.....	51
Tabla 9. Coordenadas calculadas para las ortofotos.	53
Tabla 10. Definición de rangos de visualización para las entidades raster.	53
Tabla 11. Atributos de las entidades del modelo de datos de negocio.....	56
Tabla 12. Definición de rangos de visualización para las entidades del modelo de negocio.	57

Capítulo 1

Introducción

En el presente capítulo se presenta el proyecto de fin de carrera para la construcción de un SIG que permita gestionar ciertos procesos de una agencia de taxis.

En el primer apartado se efectúa una breve justificación del proyecto, para a continuación, enumerar los objetivos del mismo. En el apartado 1.3 se indica el enfoque a seguir en su resolución. En el punto 1.4 se muestra una planificación simplificada de las actividades del proyecto. En el apartado 1.5 se indican los productos obtenidos y, finalmente, en el apartado 1.6 se muestra una breve descripción de lo que el lector podrá encontrar en los capítulos del presente documento.

1.1 Justificación del PFC

El enunciado del proyecto plantea la necesidad, de una agencia de taxis cualquiera, de gestionar las llamadas que se pudieran producir por parte de potenciales clientes.

Un SIG es un sistema que puede suponer una solución completa a este problema, ya que puede proveer de base de datos (que guarde la información de los clientes, llamadas, etc.), georreferenciación de entidades del modelo de negocio (como taxis o llamadas), monitorización en pantalla de la flota de taxis, o uso de aplicaciones expresamente creadas para resolver problemas concretos (como la recepción de una llamada mediante un formulario de entrada).

Así, el presente trabajo supone la resolución prototipada al problema planteado.

1.2 Objetivos

Los objetivos del PFC son los siguientes:

- *Conocer qué es un SIG.* Aprender qué es un Sistema de Información Geográfica y cuál es la base teórica en la que se basa.
- *Conocer GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0.* Aprender a manejar este SIG comercial.
- *Efectuar el diseño de un SIG.* Efectuar el diseño de un prototipo que aplique los conocimientos teóricos anteriores al problema planteado.
- *Implementar aplicaciones sobre un SIG.* Implementar las funcionalidades requeridas en el enunciado del proyecto sobre el diseño anterior.

1.3 Enfoque y método a seguir

El enfoque general que se ha aplicado ha tenido en cuenta los puntos siguientes:

- *Selección de bibliografía.* Una de las tareas más importantes tiene que ver con la información escogida para explicar cuestiones *a priori* no conocidas. Cuando ha sido posible encontrar fuentes de información especialmente rigurosas, se han utilizado.

- *Ayudas del consultor.* La ayuda del consultor ha sido importante, sobretodo en cuestiones concretas relativas a la funcionalidad del paquete *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*, y en el establecimiento de los requisitos de la parte práctica.

La metodología que se ha empleado en los puntos más teóricos ha sido la siguiente:

- Buscar y contrastar información de fuentes fiables del tema a tratar.
- Seleccionar bibliografía a utilizar, obtener toda la información posible de la misma y tenerla accesible.
- Desarrollar un borrador en base a la documentación anterior.
- Confeccionar la parte del documento correspondiente, introduciendo las figuras necesarias.
- Repasar la documentación introducida.

La metodología empleada en la parte práctica ha sido la siguiente:

- Efectuar diseños sobre papel, teniendo en cuenta cuestiones vistas a lo largo de la carrera (como la ingeniería de software, por ejemplo).
- Evaluar la idoneidad de las decisiones, en tiempo y calidad.
- Aprender el lenguaje de programación.
- Efectuar implementación, generando documentación informal asociada en formato digital entendible y recuperable.
- Filtrar información generada y darle formato de documento para incluirlo en la memoria.
- Repasar la documentación introducida.

1.4 Planificación

Se muestra a continuación un resumen de la planificación a seguir durante la resolución del proyecto, cuya versión inicial completa se incluyó en el Plan de trabajo.

Actividad	Fecha inicio	Fecha fin
<i>Plan de trabajo.</i> Documento cuyo objeto es planificar el trabajo a efectuar en el tiempo, previendo posibles problemas.	5-mar-06	12-mar-06
<i>Introducción a los SIG.</i> Actividad que comprende el estudio de los elementos necesarios para trabajar con un SIG (definición, formatos de representación, cartografía, etc.).	13-mar-06	30-mar-06
<i>Estudio de GP6.</i> Actividad que hace referencia al estudio del SIG comercial usado en el proyecto.	31-mar-06	18-abr-06
<i>Diseño del SIG.</i> Actividad que define el modelo lógico y físico de las entidades necesarias para el proyecto.	18-abr-06	28-abr-06
<i>Programación del SIG.</i> Actividad en la que se implementan las funcionalidades requeridas en el SIG.	29-abr-06	22-may-06
<i>Revisión de la memoria.</i> Actividad en la que se efectúan los pasos necesarios para conseguir un documento libre de errores que contenga la explicación de las soluciones a los problemas planteados.	23-may-06	5-jun-06
<i>Confección presentación.</i> Actividad que genera diapositivas para la explicación virtual del proyecto.	6-jun-06	19-jun-06

Tabla 1. Planificación del proyecto.

1.5 Productos obtenidos

Los productos obtenidos del proyecto son los siguientes:

- *Memoria*. Muestra los resultados de la parte teórica y práctica del PFC. En cuanto a la parte teórica, muestra el estudio llevado a cabo para entender los conceptos cartográficos y geodésicos subyacentes a los SIG, una visión de *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* y de la tecnología *GPS*. Respecto de la parte práctica, contiene la explicación del modelo de datos y de los comandos implementados que resuelven los requerimientos.
- *Presentación virtual*. Documento en formato de diapositivas que supone la presentación virtual del proyecto.
- *Geoworkspace*. Es el proyecto *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*, que, junto con los almacenes de datos, y que comprenden la parte estática de la solución.
- *Comandos implementados*. Hacen referencia a la implementación de la solución, comprendiendo el código fuente y los ficheros binarios generados.

1.6 Descripción de capítulos

A continuación se muestra una breve descripción de los capítulos del presente documento.

- *Capítulo 2 (Sistemas de Información Geográfica)*. En este capítulo se efectúa una introducción a los Sistemas de Información Geográfica, desde su definición y aplicaciones hasta los modelos principales de representación geográfica que usan.
- *Capítulo 3 (Introducción a la Cartografía)*. En este capítulo se introducen la ciencia geodésica y la cartografía, que se encuentran en la base teórica de los SIG. Se profundiza en las proyecciones cartográficas, en particular la proyección UTM, y se indican fuentes cartográficas existentes.
- *Capítulo 4 (GPS)*. En el capítulo 4 se introduce al lector en la tecnología *GPS*.
- *Capítulo 5 (GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0)*. En este capítulo se explican las características y funcionalidades más importantes de este SIG comercial.
- *Capítulo 6 (Diseño del SIG)*. En el capítulo 6 se efectúa el diseño del *geoworkspace*, partiendo de la creación del SIG, y siguiendo por la definición del modelo de datos, la inclusión de entidades provenientes del exterior y la digitalización de entidades, pasando por la elección del sistema de base de datos escogido.
- *Capítulo 7 (Implementación de comandos)*. En este capítulo se resuelve la implementación de las funcionalidades requeridas. Se definen formalmente sus requisitos, se efectúa el análisis de los casos de uso y también el diseño de la solución, así como su implementación, indicando además su modo de funcionamiento.
- *Capítulo 8 (Conclusiones)*. En el último capítulo se muestran las conclusiones finales del proyecto y posibles caminos de mejora del mismo en diversos ámbitos.

Un vez introducido el proyecto, en el capítulo siguiente se procede a profundizar en el conocimiento de los Sistemas de Información Geográfica.

Capítulo 2

Sistemas de Información Geográfica

En el presente capítulo se efectuará una **introducción a los SIG**, los **Sistemas de Información Geográfica**.

Se comenzará definiendo **qué es un SIG** (apartado 2.1), mostrando definiciones de varias fuentes. A continuación se indicarán brevemente las **funciones básicas** de un SIG (punto 2.2). Posteriormente se apuntarán los **componentes** que lo forman (apartado 2.3).

En el apartado 2.4 se indicarán **áreas de aplicación** de los SIG. Posteriormente, en el punto 2.5, se hablará de un tipo de sistema que mantiene una cierta relación con los SIG, los **sistemas CAD¹** (punto 2.5).

Para finalizar, en el apartado 2.6 se introducirá al lector en la problemática de la representación digital de la información, indicando los dos principales formatos, el **raster** (2.6.1) y el **vectorial** (2.6.2), para a continuación compararlos en el punto 2.6.3.

2.1 Qué es un SIG

Un Sistema de Información Geográfica (*GIS²* en inglés) se podría definir como:

- *Una base de datos computarizada que contiene información espacial* [1].
- *Una tecnología informática para gestionar y analizar información espacial* [1].
- *Un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos* [1].
- *Un sistema 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 (NCGIA³)* [1].
- *Un conjunto de equipos informáticos, de programas, de datos geográficos y técnicos organizados para recoger, almacenar, actualizar, manipular, analizar y presentar eficientemente todas las formas de información georreferenciada* [2].
- *Es un sistema para la captura, almacenamiento, comprobación, integración, manipulación, análisis y visualización de datos georreferenciados, normalmente gracias a sistemas de base de datos y software aplicado* [3].

Como se observa, en algunas de estas definiciones se hace hincapié en el aspecto informático, y siempre en el espacial o geográfico. En esencia, un SIG se puede considerar como una tecnología aplicada a la resolución de problemas territoriales [1].

¹ *Computer Aided Design* (Diseño Asistido por Computador).

² *Geographical Information System*.

³ *Nacional Center for Geographic Information and Analysis (USA)*.

Los datos contenidos en un sistema de este tipo están referenciados geográficamente, es decir, tienen asociada una posición geográfica con coordenadas del mundo real, y además permiten efectuar análisis con la ayuda de una base de datos y de *software* asociado.

Se indican a continuación las funciones básicas de este tipo de sistemas.

2.2 Funciones básicas de un SIG

Una clasificación posible de las funciones de un SIG es la siguiente ([1]):

- Funciones para la entrada de información. Son las funciones que permiten la conversión de la información geográfica del formato real analógico al formato digital, sin pérdida de información esencial, incluyendo los procedimientos de eliminación de errores, y la digitalización.
- Funciones para la salida de información. Son las funciones que permiten mostrar al usuario los datos introducidos y análisis de los mismos. Pueden hacerlo de forma variada (gráficos, mapas, tablas), y en soportes diferentes (papel, pantalla, etc.).
- Funciones de gestión de la información espacial. Son las funciones relativas a la extracción de la base del subconjunto de datos que interesa en un momento puntual.

Funciones analíticas. Son las funciones que aumentan el conocimiento derivado de los datos.

Una vez indicadas las funciones básicas de un SIG, se comentan brevemente los componentes que las hacen posibles.

2.3 Componentes de un SIG

Los componentes básicos de un SIG son [3][4][5]:

- Hardware: Las máquinas que contienen el gestor de base de datos, las aplicaciones con la interfaz gráfica, los periféricos (pantallas, *plotters*, teclados, etc.) los equipos que obtienen información geográfica, etc.
- Software: Los programas SIG proveen las herramientas y funcionalidades necesarias para almacenar, analizar y mostrar información geográfica. Sus componentes principales son:
 - *Sistema gestor de base de datos*. Guarda los datos geográficos y descriptivos.
 - *Interfaz gráfica*. *Software* que el usuario usa para acceder a las herramientas.
 - *Herramientas para la captura de la información*.
 - *Herramientas para el análisis, búsqueda y visualización de los datos geográficos*.
- Datos geográficos y descriptivos. Los datos geográficos y los alfanuméricos (o descriptivos) pueden obtenerse por recursos propios o a través de proveedores externos u organismos oficiales (como el ICC¹, ver apartado 3.6), etc.
- Personas. Es necesario personal experto que mantenga la información actualizada, que pueda efectuar desarrollos y aplicaciones sobre los datos de que se disponen.
- Reglas de negocio. Cada organización, proyecto o problema a resolver, requiere de unas reglas, de un comportamiento que también se debe reflejar en el SIG. Por ejemplo, en el presente trabajo, se ha de efectuar un prototipo de una agencia de taxis. Como se verá en los capítulos 6 y 7, se deberán considerar acciones como *efectuar una llamada para pedir un taxi*, que requerirá entre otras cosas recibir la llamada y saber proyectarla sobre un mapa, para poder luego actuar en consecuencia.

¹ *Institut Cartogràfic de Catalunya* (ver apartado 3.6.1).

Se indican a continuación algunos de los tipos de aplicaciones de los SIG.

2.4 Aplicaciones de un SIG

Las aplicaciones de los SIG son enormes porque el interés en el manejo de la información geográfica es aplicable en numerosos ámbitos. A modo de ejemplo se indican algunos ([7][8][1]):

- Recursos naturales y agricultura. Integración de datos útiles orientados a la consecución de una mayor productividad (ubicación de pozos de agua, accidentes geográficos, áreas de cultivo, etc.), rutas de migración, ríos, actuación frente a emergencias –incendios- etc.
- Gas, electricidad, infraestructuras urbanas. Localización y gestión de averías, etc.
- Construcción. Localización exacta de líneas de metro, tuberías, etc.
- Localización geográfica. Gestión de personas (móviles), logística (flotas de camiones), transporte, etc. [9][10].
- Seguridad basada en localización geográfica. Localización de personas (excursionistas, etc.)
- Gestión del tráfico. Radares, carreteras, peajes, rutas, etc.
- Telecomunicaciones. Redes de comunicaciones, elementos de la misma, cobertura, etc.
- Agua. Gestión de la red, localización de averías, áreas de abastecimiento, etc. [9][11].

Algunos **casos de éxito** de la tecnología SIG se pueden encontrar en [1][12][13][14][15][16].

A continuación se comenta un tipo de sistema que tienen relación con los SIG, los sistemas *CAD*. Se indican sus similitudes y diferencias, así como sus ámbitos de aplicación.

2.5 Sistemas *CAD*

En los años 80 se dio un impulso importante a los SIG, en parte gracias a la mayor potencia del *hardware*. Pero también fue importante la aparición de las herramientas *CAD*, que hoy día pueden considerarse un complemento a los SIG.

El **diseño asistido por computador** consiste básicamente en una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Permite diseñar en dos o tres dimensiones para obtener un modelo numérico de uno o varios objetos.

La base de datos asocia a cada entidad una serie de propiedades como color, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, etc., que permiten manejar la información de forma lógica. Además pueden asociarse a las entidades otro tipo de propiedades como el coste, el material, etc., que permiten enlazar el *CAD* a los sistemas de gestión y producción [17].

En definitiva, un *CAD* hace especial énfasis en la interactividad en el manejo de objetos gráficos.

Un SIG, sin embargo, permite integrar datos georreferenciados, búsqueda espacial y análisis de datos, además del manejo de atributos asociados a tareas de la que un sistema *CAD* carece. De hecho, muchos autores consideran que lo más característico de un SIG es su capacidad de análisis, de generar nueva información a partir de un conjunto previo de datos [1].

Se muestran de manera esquemática similitudes y las diferencias entre los sistemas SIG y los *CAD*. [8][2]:

Similitudes

- Ambos sistemas trabajan con sistemas de coordenadas para situar los elementos en el espacio.
- Ambos sistemas trabajan con objetos gráficos.
- Ambos sistemas trabajan con información alfanumérica.

- Ambos sistemas tienen capacidad de análisis, aunque en los sistemas *CAD* ésta es muy limitada.

Diferencias

Se indican a continuación algunas diferencias entre los dos sistemas. Cada fila de la Tabla 2 habla de las diferencias en relación a un solo concepto. La primera columna hace referencia a los SIG, mientras que la segunda lo hace a los sistemas *CAD*.

SIG	CAD
Trabajan con objetos gráficos y con características descriptivas de esos objetos.	Trabajan con objetos gráficos, pero no con características descriptivas.
Permiten análisis complejos de la información.	No permiten análisis complejos.
Trabajan con datos georreferenciados y en ese sentido reflejan la realidad.	En ellos, los objetos no están georreferenciados. No tienen porqué reflejar la realidad.
Relacionan datos espaciales con información geográfica.	No pueden efectuar esa relación.
Contienen un cierto margen de error por el uso de mapas y de proyecciones en plano, pero éste es mensurable.	Efectúan diseño de objetos con exactitud sin referencia geográfica implícita.
Manejan un gran volumen de información.	Manejan menos información.
Permiten consultas complejas a la base de datos.	Pueden enlazarse con una base de datos, pero las consultas son más pobres.

Tabla 2. Comparación SIG-CAD

Otro tipo de sistemas son: las bases de datos geográficas, las herramientas de cartografía de escritorio (*desktop mapping*), la teledetección, y la cartografía automática, pero no son objeto del presente documento.

A continuación se introducen los formatos de representación de los SIG.

2.6 Representación de la información

En este apartado se hablará de cómo representar la información en un SIG. Ésta es uno de los elementos más importantes, siendo conveniente conocer las técnicas de representación digitalizada de la información geográfica.

Para ello, se comentarán los **formatos** más importantes de **representación** de los datos geográficos, el formato **raster** (apartado 2.6.1) y el **vectorial** (punto 2.6.2). Finalmente, se efectuará una comparación entre ellos en el apartado 2.6.3.

Una etapa importante en el proceso de creación de un SIG es la elección del modelo de datos. Es necesario convertir la información del mundo real en un formato entendible por el *software* elegido.

Existen dos maneras básicas de guardar esa información: el formato *raster* y el vectorial; se comentan a continuación.

2.6.1 Modelo *raster*

El modelo *raster* se caracteriza por la utilización de una trama de celdas o píxels¹ en la que cada una de ellas tiene una única propiedad espacial. Es esta propiedad la que resulta de interés en el modelo, más que los límites exactos del elemento [18].

¹ Proveniente del inglés *pixel* (*Picture element*).

En el modelo *raster*, el terreno, representado por la Figura 1-a, es discretizado en pequeños rectángulos o cuadrados, como se muestra en la Figura 1-b, de forma que el tamaño que tienen estos elementos determina la resolución [19]. Es decir, el tamaño de la celda o píxel determina la escala de la imagen, de tal forma que cuanto menor sea la celda, mayor será la resolución.

Cada celda contiene valores numéricos y atributos, pudiendo representar así entidades geográficas mediante mallas (conjuntos de celdas), como se observa en la Figura 1-c.

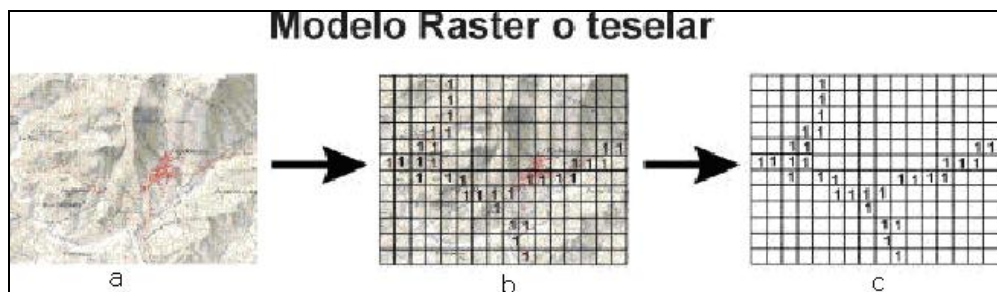


Figura 1. Modelo raster [18]

En este modelo, se registra el interior y los límites no quedan recogidos de forma explícita, sino que se han de suponer de la delimitación de las celdas (están implícitamente representados [1]). Es decir, las relaciones topológicas entre las entidades geográficas están implícitamente definidas por la disposición de las celdas en la malla.

La información se estructura en capas, siendo cada una referida a un atributo, ya que cada celda corresponde a un dato numérico. De esta forma se pueden tener diversos atributos asociados a la misma celda.

La precisión del formato *raster* se encuentra limitada conceptualmente, ya que el píxel es la unidad mínima de referenciación. Tener una gran precisión en este formato requiere guardar un gran volumen de información. Para tener una precisión adecuada al problema a resolver, normalmente es necesario llegar a un compromiso [19] entre:

- el volumen a almacenar. Existen técnicas de minimización como *run-length encoding*¹, *quadrees*, *octree*², etc.
- el tiempo de acceso a la información [19].

Se explica a continuación el modelo vectorial.

2.6.2 Modelo vectorial

En el modelo vectorial, se representan los objetos espaciales codificando, de modo explícito, sus 'fronteras' (el límite o perímetro que separa el objeto del entorno) [1]. Así, las relaciones existentes entre los objetos quedan explícitamente definidas. Es un sistema mediante el cuál esas entidades se definen por las coordenadas de sus bordes.

El modelo vectorial se basa en tres elementos [19], que se muestran visualmente en la Figura 2:

- **Nodo.** Unidad básica para representar entidades con posición pero sin dimensión (al menos en la escala escogida). Se representa mediante un par de coordenadas.
- **Línea o arco.** Representa entidades de una dimensión. Se representa mediante las coordenadas de sus vértices.

¹ Agrupación de valores. Ej: '000011100', usando este método se guardarían como '403120' (cuatro ceros, tres unos ...).

² Estructura de datos jerárquica basada en el principio de descomposición recursiva del espacio en cuadrantes y octantes (*octree*), resultando una estructura en árbol. Reduce el espacio de almacenamiento y el tiempo de acceso [18].

- Polígono o área. Representa las entidades bidimensionales y se representa mediante segmentos lineales que se cortan en vértices, las coordenadas de los cuales se registran.

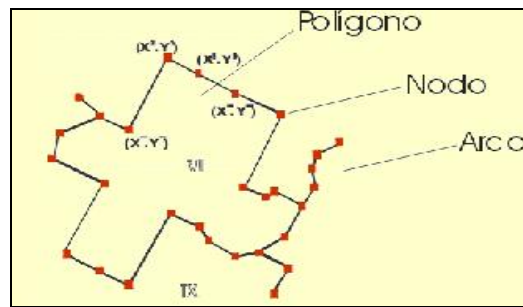


Figura 2. Nodo, línea y polígono [19]

Si se admite que un punto es una línea de longitud cero, se podría decir que el elemento fundamental es el segmento lineal.

En el modelo vectorial, el compromiso al que es necesario llegar se encuentra entre la eficiencia del proceso y la modelización precisa de la realidad. En el modelo vectorial, los procedimientos de análisis son más laboriosos, aunque también más precisos.

Los atributos espaciales pueden estar relacionados directamente por medio de un sistema de coordenadas, y los no espaciales en una base de datos, relacionada con la base de datos cartográficas.

En la Figura 3 se representa el terreno real (a), en (b) la representación vectorial sobre ese terreno, la cual estaría formada por un cierto número de puntos (o nodos) y líneas, y en (c) la representación en sí, que debería formar parte de la base de datos cartográfica.

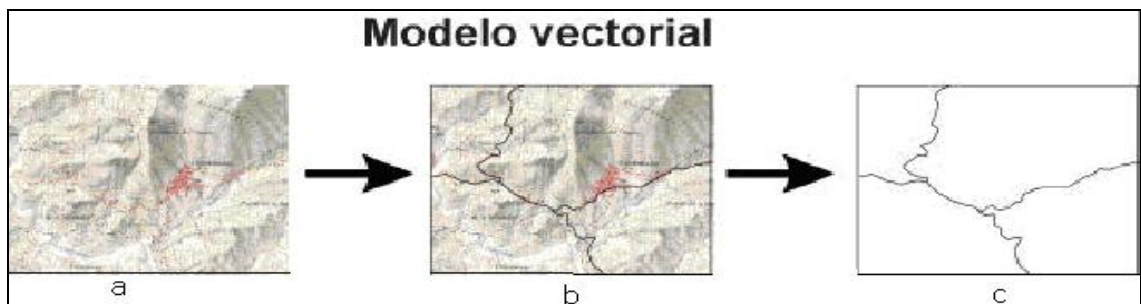


Figura 3. Modelo vectorial [18]

Otros formatos de representación de los datos geográficos son los árboles cuaternarios [1], los Modelos Digitales del Terreno [1], y los SIG orientados a objeto [20][21][22][23], pero no son objeto del presente trabajo.

2.6.3 Comparativa entre los modelos *raster* y vectorial

En los últimos años esta comparación ha perdido vigencia, pues los SIG hoy día combinan las cualidades de los dos modelos. Aun así, es posible que sea necesario este conocimiento para adquirir, usar o escoger sistemas de este tipo.

En general, el modelo vectorial es más adecuado para la realización de gráficos y mapas precisos, tiene una organización de datos compleja, necesitando cálculos complicados. Por consiguiente, exige disponer de aparatos complejos para la realización de gráficos [1].

El modelo *raster* tiene una organización muy simple de los datos, lo que facilita el análisis. Se puede manejar con dispositivos baratos. Su principal inconveniente es el gran volumen de almacenamiento que requiere y que no reconoce explícitamente la existencia de objetos geográficos [1].

Se muestra la en la Tabla 3 una comparativa entre los dos formatos principales comentados [18]. En la primera columna se indica el concepto de la comparación, y en la segunda y tercera los comentarios para cada formato.

	Raster	Vectorial
Estructura de datos	Es simple y sencilla de comprender.	Es compacta y permite mayor capacidad de análisis, aunque con cálculos más complejos.
Introducción de datos	Se efectúa a partir de imágenes de satélites, barridos digitales. La introducción directa es dificultosa.	Se efectúa a partir de pantallas y mesas digitalizadoras.
Almacenamiento	Tiene necesidades de espacio considerables.	Su necesidad de espacio es menor.
Gestión de datos	No es posible el acceso a objetos como tal (se guardan <i>píxeles</i>).	Permite consultas a nivel de objeto o grupos de objetos.
Representación topológica	En ocasiones es dificultosa.	Es eficiente.
Integración de imágenes satélites	Es eficiente.	No aplica.
Análisis de redes	Lo dificulta.	Mayor capacidad de análisis.
Análisis poligonal	Lo favorece (composición de mapas, etc.).	Requiere mayor complejidad en cuanto a cálculos geométricos y topológicos.
Análisis estadístico	Lo facilita.	También requiere mayor complejidad.
Generación de mapas	No aplica.	Mayor capacidad de generación.

Tabla 3. Comparación raster-vectorial

En el Capítulo 2 se han introducido los SIG, se han definido en el apartado 2.1, se han mostrado sus funciones básicas en el punto 2.2 y se ha hablado de los componentes que lo forman en el 2.3. Se han mostrado áreas de aplicación así como proyectos SIG reales en el punto 2.4, y se han comparado con los sistemas *CAD*, en el apartado 2.5.

Por último, en el punto 2.6 se ha profundizado en el conocimiento de las dos principales técnicas de almacenamiento de las imágenes en los SIG: el formato *raster* y el vectorial, efectuando una comparación de los dos modelos.

En el Capítulo 3 se introducirán conceptos que servirán de ayuda para entender el funcionamiento de los sistemas SIG, sobretodo en relación a su capacidad para expresar en un plano elementos georreferenciados. Este es el objetivo de la Cartografía, como se verá a continuación.

Capítulo 3

Introducción a la Cartografía

En el presente capítulo se efectúa una introducción a los conceptos básicos de la Cartografía.

Los SIG almacenan y usan coordenadas -de diversos tipos, como se verá- que permiten localizar puntos sobre un mapa. Este mapa puede generarse mediante el proceso cartográfico, que indica de qué manera efectuar proyecciones de grandes porciones de la Tierra sobre un plano. La justificación de este proceso es que la Tierra no es plana y necesita de un proceso no trivial para obtener un plano sobre el que los SIG puedan trabajar.

Se explicarán a continuación los conceptos cartográficos necesarios comenzando por la **definición de Cartografía** en el apartado 3.1 y de otros conceptos básicos.

La Cartografía necesita partir de un modelo de referencia estable que permita posar puntos del relieve sobre él, para posteriormente proyectarlos al plano. La **Geodesia** permite hacerlo y por ello se explicará también este concepto en el apartado 3.2.

Posteriormente se explicará qué es el **proceso cartográfico** en el punto 3.3, dónde se comentan las posibles formas de proyectar, sobre un plano, puntos en el espacio a través de un objeto matemático que proporciona la ciencia geodésica.

En el apartado 3.4 se comentarán varios tipos de **proyecciones** posibles, incidiendo en las más usadas. Destaca la **proyección UTM**, la más extendida hoy día, y de la que se comentará también su sistema de coordenadas asociado (apartado 3.5).

Por último, se hablará de la obtención de cartografía (apartado 3.6). Se hablará sobre el **Institut Cartogràfic de Catalunya** (ICC), entidad que proporciona abundantes recursos oficiales de interés para el diseño de SIG. Se hará hincapié en las tareas que lleva a cabo, en los servicios y productos que ofrece (apartados 3.6.1 a 3.6.4) y los formatos de fichero básicos que usa (3.6.5). Por último, en el apartado 3.6.6 se indican brevemente otras fuentes de cartografía.

3.1 Qué es la Cartografía

La Cartografía es la ciencia que trata la representación de la Tierra sobre un mapa.

Su objetivo final es representar en un plano una parte más o menos extensa de la superficie terrestre. Para ello estudia los *sistemas de proyección* (se comentarán en el punto 3.4) más adecuados para definir de forma biunívoca una correspondencia matemática entre los puntos de un *elipsoide* y sus transformados en el plano [24].

El *elipsoide*, como se explicará más adelante, es una superficie de referencia aproximada de la forma real de la Tierra. La ciencia geodésica resuelve esta aproximación, que estudia su forma y sus dimensiones [25].

Se indican a continuación algunas definiciones de conceptos básicos relacionados con las coordenadas geográficas, que aparecerán en explicaciones posteriores sobre proyecciones.

3.1.1 Coordenadas geográficas

Los conceptos básicos que se definen y que permiten situar un punto en la superficie de la Tierra son: *meridiano*, *paralelo*, *longitud*, *latitud* y *acimut*.

Meridiano

Los meridianos son las líneas de intersección de los infinitos planos que contienen el eje de la Tierra con la superficie terrestre [26]. Se muestran en la imagen (a) de la Figura 4 como líneas verticales.

Existe un meridiano especial, el *meridiano de Greenwich*, que se toma como origen de meridianos para designar una posición geográfica. Éste divide la Tierra en dos zonas: este y oeste.

Paralelo

Los paralelos son las líneas de intersección de los infinitos planos perpendiculares al eje terrestre con la superficie de la Tierra [26]. Se muestran en la imagen (b) de la Figura 4 como líneas horizontales.

Al paralelo que se encuentra a mayor distancia del eje de la Tierra se le denomina Ecuador, y divide la Tierra en hemisferio norte y sur. También se usa para designar una posición geográfica.

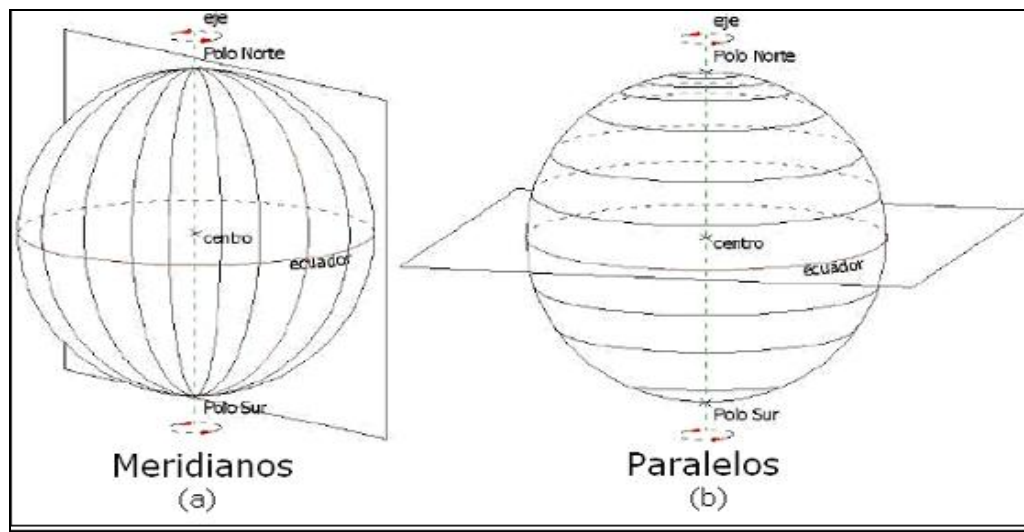


Figura 4. Meridianos(a) y paralelos (b) terrestres [26].

Longitud

La longitud de un punto es el ángulo que forman el plano meridiano que pasa por el mismo y el meridiano origen [26] (ángulo *OAB* en la imagen (a) de la Figura 5).

Su rango de valores es de 0° a 180° hacia el este, y también hacia el oeste, siendo necesaria esta indicación. Por ejemplo, $17^\circ 15' 23''$ O(este) o $17^\circ 15' 23''$ E(ste).

Latitud

La latitud de un punto es el ángulo que forman el plano que pasa por el punto y el centro de la Tierra con el plano del Ecuador [26] (ángulo *OAP* en la imagen (b) de la Figura 5).

Su rango de valores es de 0° a 90° hacia el norte, y también hacia el sur, siendo necesaria esta indicación. Por ejemplo, $7^\circ 5' 2''$ N(orte) o $10^\circ 9' 3''$ S(ur).

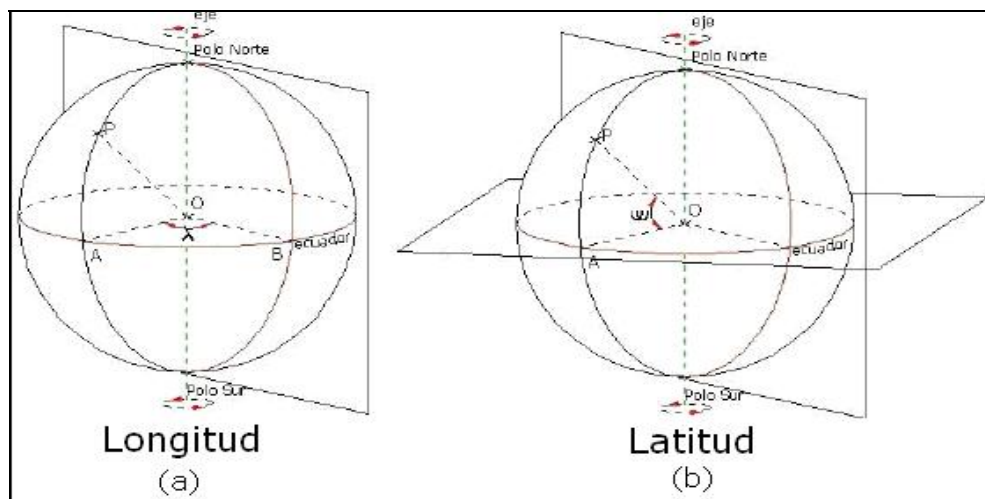


Figura 5. Longitud (a) y latitud (b) terrestre [26].

Acimut

El acimut de un punto es el ángulo entre el eje de la Tierra que pasa por el polo norte y la línea que pasa por el centro y el punto mismo proyectada sobre el horizonte, en el sentido de las agujas del reloj [24][26][27][28]. Se observa en la Figura 6 como se proyecta el punto T sobre el B, formando un ángulo con el eje de la Tierra, en sentido Sur → Norte.

Según si se habla de norte magnético o geográfico, adquiere la denominación de acimut magnético o acimut geográfico respectivamente.

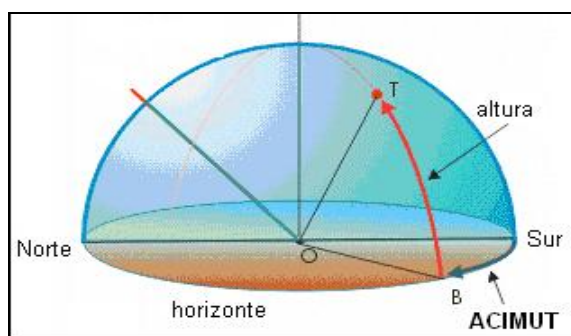


Figura 6. Acimut [28].

Una vez definidos estos conceptos, se introduce a continuación la ciencia geodésica.

3.2 Geodesia

La Geodesia estudia la forma, dimensiones y campo gravitatorio de la Tierra [25]. Una de sus mayores utilidades es el establecimiento de una red de puntos (*vértices geodésicos*) distribuidos por la superficie terrestre, permitiendo cartografiar territorios extensos.

Para referenciar estos puntos, es necesario establecer un modelo de representación de la superficie terrestre. Éste es una superficie denominada *elipsoide* (*elipsoide de referencia*, *elipsoide de revolución*).

A continuación se comentan los conceptos geodésicos de *geoide*, *elipsoide* y *datum*, importantes para describir posteriormente el proceso cartográfico, explicado en el apartado 3.3.

3.2.1 Geoide, elipsoide de referencia y Datum

Un **geoide** es la superficie teórica de la Tierra que une todos los puntos que tienen igual gravedad (es *equipotencial*) [26] [29]. Si se supone la superficie de los océanos en reposo (prolongándose bajo los continentes), representa la superficie de equilibrio que hace que la dirección de la gravedad sea siempre perpendicular en todos los lugares [25] [30], y su forma es la de un esferoide tridimensional.

En la Figura 7 se observa una representación de la diferencia entre la superficie terrestre (línea roja) y el geoide (línea azul). Se puede ver cómo para cada punto de la superficie terrestre hay una distancia diferente desde el centro de la Tierra al geoide.

Es necesario obtener una superficie de referencia con una definición matemática accesible, que permita efectuar cálculos para realizar la proyección de los puntos del relieve sobre dicha superficie. Esta superficie no puede ser el geoide, ya que es irregular y no tiene una definición matemática. La desigual distribución de las masas continentales, así como la densidad variable de los materiales que componen el planeta, hacen que el geoide no sea una superficie regular.

La superficie escogida es un **elipsoide**. Un elipsoide es una simplificación del geoide y se define de manera matemática como un objeto que tiene como características principales dos radios (mayor $-a-$ y menor $-b-$, representados en la Figura 7) y un aplastamiento ($1/f = 1 - (b/a)$).

Un elipsoide genérico¹ tendría en cuenta factores como:

- que el centro gravitatorio terrestre coincida con el centro del elipsoide.
- que el plano definido por el Ecuador terrestre coincida con el del elipsoide.
- que la suma de los cuadrados de las alturas geoidales (diferencias entre geoide y elipsoide) sea mínima.

En la práctica, cada país usa definiciones de elipsoides locales, que representan aproximaciones más ajustadas a las zonas geográficas concretas donde se encuentran. Este hecho crea dificultades para estudios en que participen varios países. Por ejemplo, se indican a continuación los parámetros del elipsoide de *Hayford*, y se comparan con el *WGS84* (entre paréntesis) [25]:

- Semieje mayor: 6.378.388,000 (6.378.137,000)
- Semieje menor: 6.356.911,946 (6.356.752,314)
- Aplanamiento: 297,000 (298,25722)
- Excentricidad: 0,081992 (0,081819)

Se observa en la Figura 7 cómo existen zonas del elipsoide que sobresalen del geoide (marcadas en color verde –“áreas sobre el geoide”-) y otras en que es al revés (“áreas bajo el geoide”).

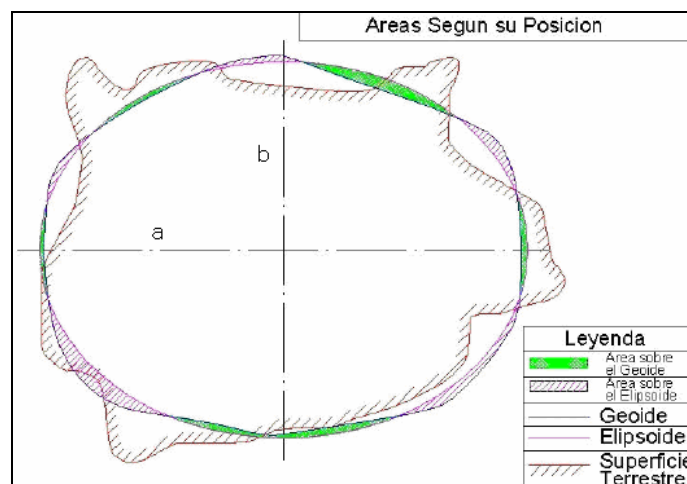


Figura 7. Geoide, elipsoide y superficie terrestre [25].

¹ Este elipsoide se denomina a menudo elipsoide *de revolución*, dado que es el resultado de revolucionar una elipse sobre su eje

Para elaborar la cartografía de un lugar, es necesario aún el uso de otro concepto que aporte unos parámetros de referencia que relacionen un punto origen del geoide con el del elipsoide. Este concepto es el *datum*.

Un *datum* se compone de:

- un elipsoide
- un punto (llamado *fundamental*) en el que la vertical del elipsoide y el geoide coinciden (y las superficies son tangentes). Éste se define por sus coordenadas geográficas de latitud, longitud y el acimut de una dirección con origen en el punto fundamental.

Un *datum* es la superficie de referencia para el cálculo y determinación de coordenadas. Define un origen y situación de un sistema de coordenadas válido para una determinada zona de la Tierra. Existen un gran número de *datum*; por ejemplo, en Europa se usa el *European 50*, en Norteamérica el *Norte América 1927*, etc.

Una vez se han explicado los conceptos geodésicos básicos, a continuación se habla del proceso cartográfico.

3.3 El proceso cartográfico

Para que un mapa represente fielmente una porción de la superficie terrestre, son necesarias las fases [24] que se explican a continuación, y que se muestran de manera gráfica en la Figura 8:

- Fase de reducción. A partir de las medidas obtenidas, se genera un *elipsoide de revolución* que se toma como elipsoide de referencia. Esta fase consta de:
 - Toma de medidas en la superficie terrestre.
 - Corrección de esas medidas y traslado de las mismas al geoide (ver apartado 3.2.1).
 - Traslación de las medidas del geoide al elipsoide de revolución (ver apartado 3.2.1).
- Fase de proyección: Se establece la correspondencia entre las magnitudes del elipsoide y sus homólogas al plano. Consta de:
 - Definición de la correspondencia entre las medidas del elipsoide y sus homólogas en el plano.
 - Confección del plano.

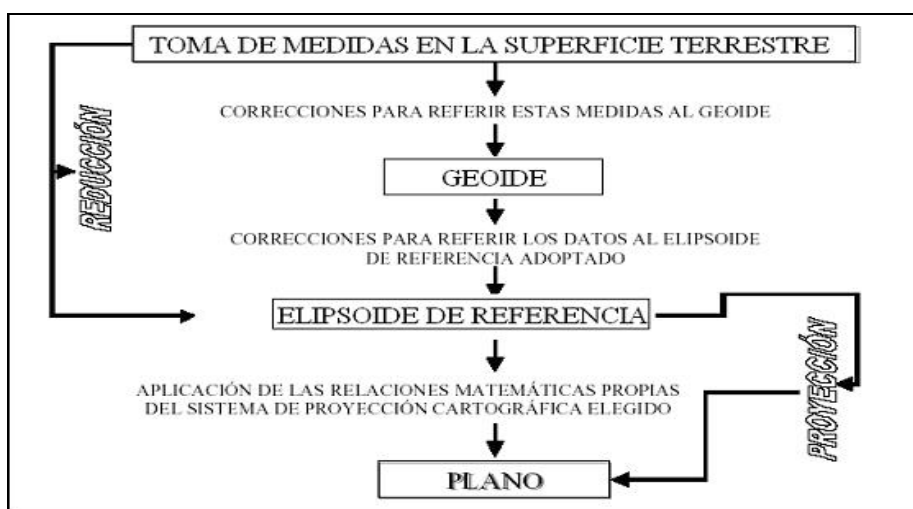


Figura 8. Fases del trabajo cartográfico [24].

La parte del proceso correspondiente a la reducción ya se ha comentado, y se representa en la parte superior de la Figura 8. Se muestra ahora el proceso de proyección, reflejado en la parte inferior de la misma.

3.4 Proyecciones cartográficas

Una proyección cartográfica es una representación plana, consecuencia de traspasar puntos del elipsoide al plano.

Esta transformación no puede evitar deformaciones, diferencias en la medición de la superficie terrestre frente a la del elipsoide, denominadas **anamorfosis**. La anamorfosis puede ser [24]:

- Lineal: Es el cociente entre la longitud medida en el terreno y su homóloga en la proyección.
- Superficial: Es el cociente entre la superficie medida en el terreno y su homóloga en la proyección.
- Angular: Es el cociente entre un ángulo medido en el terreno y su homólogo en la proyección.

En los tres casos, dado que se trata de cocientes, cuánto más tiendan a 1, menos deformación.

Se muestra a continuación una clasificación de proyecciones existentes **en función de la variable que conservan tras la proyección** [26]

- Planas. Si la superficie a representar es pequeña y la esfericidad terrestre no va a influir en la representación cartográfica, tiene sentido una proyección desde arriba. Se aplican en Topografía¹.
- Geodésicas
 - Conformes. Conservan los ángulos.
 - Equivalentes. Conservan las distancias.
 - Afiláticas. No conservan ni los ángulos ni las distancias.

Otra clasificación posible depende de la **figura geométrica** sobre la que se proyecta. En la Figura 9 se muestra un esquema de algunos tipos existentes [24], para a continuación profundizar en los que más interesan para el presente trabajo, las proyecciones cilíndricas.

<u>Cilíndrica</u>	<u>Cónica</u>
<ul style="list-style-type: none"> ○ Regular <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Equirectangular</u> ▪ <u>De Mercator</u> ▪ <u>Equiárea de Lambert</u> ○ Transversa <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>De Mercator</u> ▪ <u>De Cassini</u> ○ Oblicua <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>De Mercator</u> ○ <u>Pseudocilíndrica</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ○ simple o equidistante ○ <u>conforme de Lambert</u> ○ <u>equiárea de Albers</u> ○ <u>equiárea de Lambert</u> ○ <u>poli-cónica</u>
	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Acimutal o planar.</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Gnomónica ○ Estereográfica ○ Ortográfica

Figura 9. Proyecciones según geometría

Se explican brevemente a continuación las proyecciones cilíndricas.

¹ La Topografía centra su estudio en superficies de extensión limitada, de manera que es posible prescindir de la esfericidad terrestre sin cometer errores apreciables. Para trabajar con grandes superficies es necesario recurrir a la Geodesia y a la Cartografía.

3.4.1 Proyecciones cilíndricas

Como se verá en mayor profundidad en el apartado 3.5, si se coloca un cilindro tangente a la Tierra, y se proyectan los puntos sobre el cilindro, al desarrollar o desplegar éste, se obtiene un plano. Según la colocación del cilindro, se obtienen las siguientes variantes de esta proyección:

- **Regulares.** El cilindro es tangente en el Ecuador. Son sencillas de construir, y pueden adaptarse para ser *equidistantes*¹, *equiáreas*² o *conformes*³.
- **Transversas.** El cilindro es tangente al meridiano central (variación de 90° respecto a anterior).
 - **De Mercator:** Es el origen de la **proyección UTM** (*Universal Transverse Mercator*) actual, que se explica en el apartado 3.5.
- **Otras:** oblicuas, pseudocilíndricas [24] [31].

Una vez vistas las proyecciones cilíndricas, se explican brevemente las cónicas.

3.4.2 Proyecciones cónicas

En este caso la proyección se efectúa sobre un cono tangente a la Tierra. En la Figura 10 se observa la situación del cono en la imagen (a), y en la imagen (b) el resultado de desplegarlo en un plano (corresponde a la proyección equiárea de Albers):

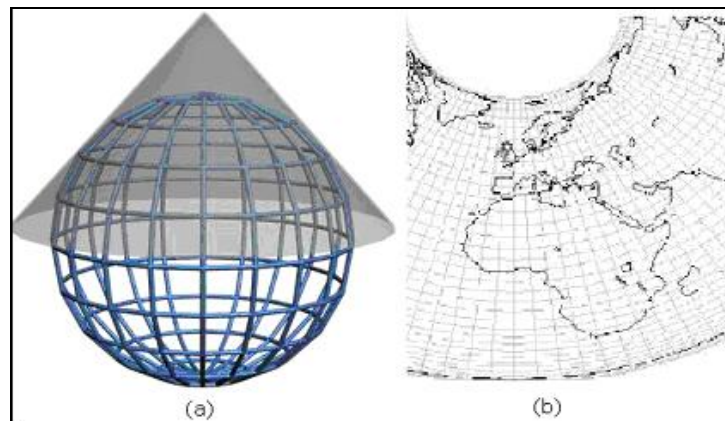


Figura 10. Proyección cónica. Situación del cono y desarrollo en plano [24][31].

No son muy utilizadas ya que la zona de precisión que abarcan es pequeña.

Algunos tipos de proyecciones cónicas son:

- **Simple o equidistante.** Conserva las distancias (“equidistante”).
- **Conforme de Lambert.** Conserva los ángulos, por eso se denomina “conforme”.
- **Equiáreas de Albers y de Lambert.** Conservan superficies, por eso se denomina “equiárea”.

Se muestran seguidamente las proyecciones planares.

3.4.3 Proyecciones planares o acimutales

¹ Se conservan las distancias (no hay anamorfosis lineal).

² Se conservan las superficies (no hay anamorfosis superficial).

³ Se conservan los ángulos (no hay anamorfosis angular).

En este caso se coloca un plano tangente a la Tierra y se proyecta la imagen desde un punto luminoso. Según dónde se encuentre éste, se tienen los diversos tipos de proyecciones planares:

- Gnomónica. El punto está situado en el interior de la Tierra.
- Estereográfica. El punto se sitúa en el punto de la Tierra más distante al plano.
- Ortográfica. No existe un punto, sino que los haces de luz son paralelos e inciden perpendicularmente en el plano.

Para el presente trabajo, se utilizará la proyección *UTM*, la más extendida hoy día y que se explica a continuación.

3.5 Proyección y coordenadas *UTM*

Se comenta a continuación en el sistema de proyección más extendido actualmente: el sistema *UTM*, *Universal Transverse Mercator*.

El sistema *UTM*, *Universal Transverse Mercator*, es un sistema de proyección cartográfica muy extendido, sobre todo a partir de su uso por el servicio de defensa de EEUU en la década de los 40.

La proyección *UTM* proviene de la proyección *transversa de Mercator de Lambert* del año 1772 [24], fue modificada posteriormente por *Gauss* en 1822. En ella tanto los meridianos como los paralelos son líneas rectas y se cortan perpendicularmente. Los meridianos mantienen la distancia entre ellos, pero entre los paralelos la distancia aumenta a medida que un observador se aleja del Ecuador. Se puede observar todo esto en la Figura 11, donde el cilindro que rodea la Tierra (imagen (a)) se despliega, obteniendo el plano de la imagen (b):

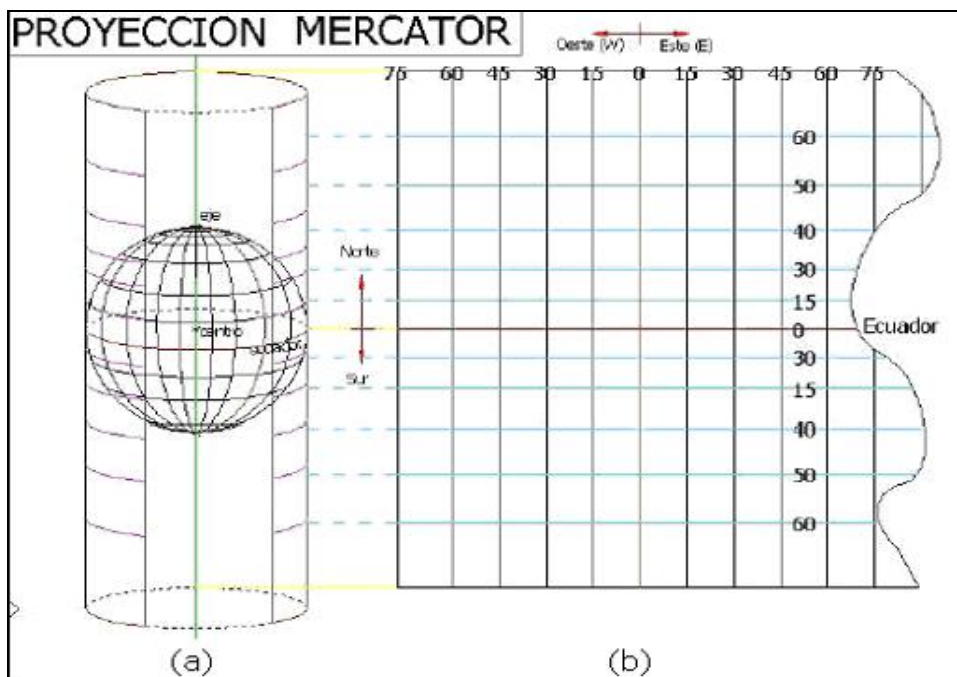


Figura 11. Proyección de Mercator. Posición cilindro –(a)- y desarrollo en plano –(b)-[26].

Si en la proyección de Mercator el cilindro se sitúa de manera tangente al elipsoide en el Ecuador, en la proyección *UTM* la posición del cilindro es transversal respecto al eje de la Tierra. Se puede

observar esta situación en la Figura 12. Se generan un conjunto de áreas (*husos*), utilizando cilindros tangentes al meridiano central de cada una; los husos se explicarán con más detalle en el punto 3.5.1.

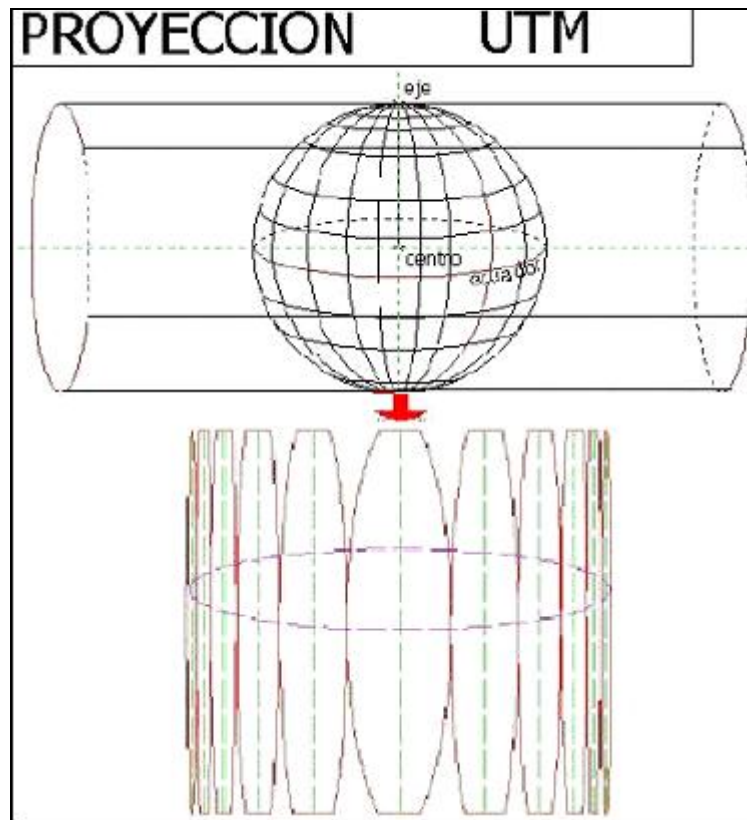


Figura 12. Proyección UTM [26].

Para definir la proyección UTM se necesita:

- Elegir un elipsoide de referencia. En 1930 la Asociación Internacional de Geodesia recomendó la utilización del Elipsoide Internacional de *Hayford*, cuyas características son: semieje mayor igual a 6378388.0, semieje menor igual a 6356911,94613 y factor de aplastamiento 1/197.
- Elegir un datum. A Cataluña le corresponde el datum de Europa Occidental (*datum Postdam*¹).
- Elegir un sistema de representación plano conforme (que conserve ángulos, como el **sistema de Gauss**). Se divide el globo en 60 husos iguales paralelos a los meridianos de 6° de longitud, aplicando a cada huso un cilindro secante al meridiano. Caso de que no se aplicara un cilindro para cada huso, las deformaciones serían mucho mayores, debido a la proyección de cada punto en el cilindro a medida que se aleja el punto del meridiano. Ocurre lo mismo para altas latitudes, por lo que a partir de las latitudes 80° Norte y Sur, se usa normalmente un sistema diferente, el *UPS*² (*Universal Polar Stereographic*).

Por tanto, el sistema *UTM* conserva los ángulos pero distorsiona todas las superficies sobre los objetos originales (anamorfosis superficial, ver punto 3.4), así como las distancias existentes.

Se comenta a continuación cómo se establece el sistema de coordenadas *UTM*.

3.5.1 Coordenadas

¹ Datum Potsdam. Ubicado en las proximidades de Postdam (Alemania). También denominado ED50 por *European Datum, 1950*

² Complementa la proyección UTM en las latitudes polares. Usa proyección estereográfica.

Las coordenadas *UTM* son las que permiten localizar un punto de la superficie terrestre en un mapa construido mediante la proyección *UTM* y viceversa, es decir, localizar un punto físicamente a partir de ese mapa.

Como se ha visto, con la proyección *UTM* se considera la superficie de la Tierra definida por **husos** de 6° en longitud (ver Figura 13, son franjas verticales), numerados del 1 al 60 y partiendo del antemeridiano (180° Este) de Greenwich y contados de este a oeste.

Las coordenadas *UTM* son coordenadas cartesianas correspondientes al plano que resulta al hacer la transformación de los puntos del elipsoide sobre la superficie del cilindro (proyección). De esta manera se obtiene una relación biunívoca entre las coordenadas geográficas (latitud y longitud, referidas al elipsoide) y las coordenadas *UTM* (cartesianas) referidas al plano transformado [24].

Los husos se dividen en **zonas** de 8° de latitud desde los 80°30' de latitud Norte hasta los 80°30' de latitud Sur. Estas zonas se indican con letras mayúsculas, partiendo de la *C* hasta la *X*, existiendo 10 zonas para cada hemisferio en cada huso.

En la Figura 13 se observa la división en husos y zonas en el sistema *UTM*. Cataluña se encuentra en el huso 31, zona *T*.

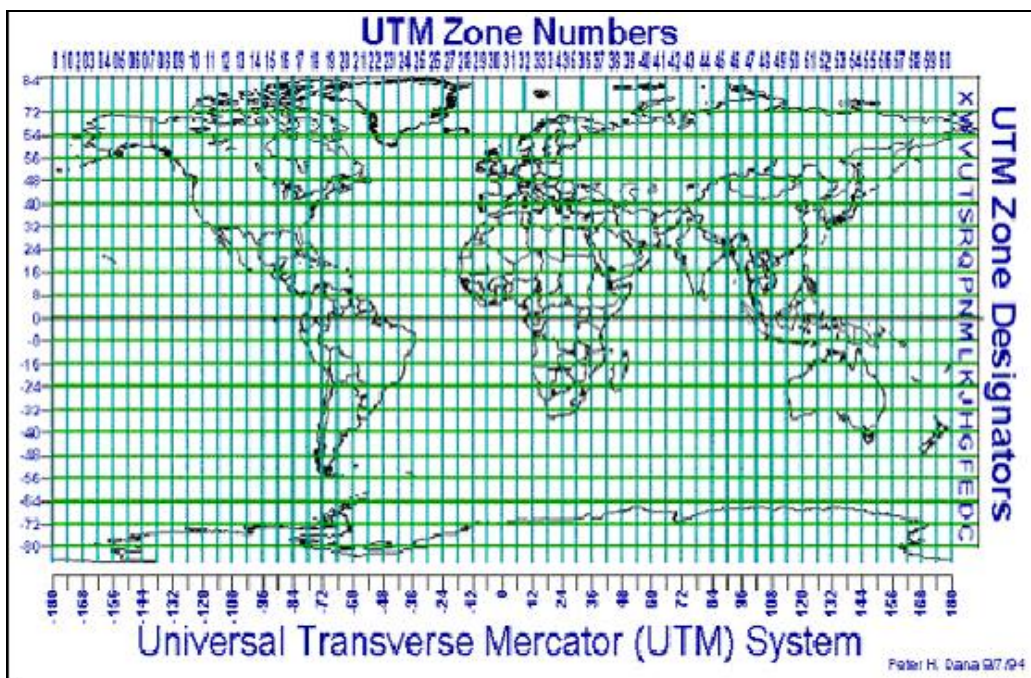


Figura 13. División en husos y zonas UTM [26].

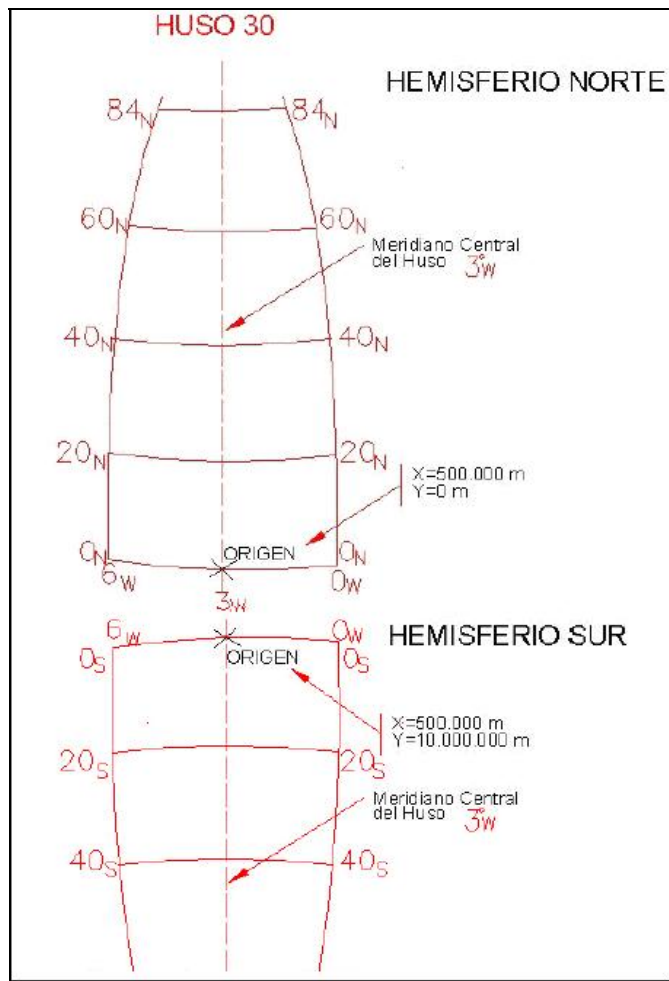


Figura 14. Huso coordenadas origen

Es importante resaltar que **los husos se generan con cilindros diferentes**, siendo cada uno de los cilindros empleados tangente al meridiano central de cada huso. Esto implica que cada zona geográfica comprendida en cada huso queda bajo un sistema de coordenadas distinto.

Una vez definidos el huso y la zona, es necesario establecer el origen de las coordenadas. Éste es distinto para cada huso. Para comentar la forma de hacerlo, se escoge como ejemplo el huso 30 [26], que se muestra en la Figura 14.

Para el hemisferio norte (parte superior de la figura), a la intersección del meridiano central con el Ecuador, se le da un valor en su eje de abscisas (x) de 500.000 m; a la componente ordenada (y) se le da un valor 0. Así se evita que se generen coordenadas negativas en el sistema (hacia las x negativas, se parte de 500.000, hacia las y negativas se utilizaría otro origen, el del hemisferio sur).

En el hemisferio sur (parte inferior de la figura), el origen de coordenadas es $x = 500.000$ m e $y = 10.000.000$ m. Tampoco se tendrán coordenadas negativas, ya que en el sentido de las y negativas, no se pasará de 0 y el caso de las x es el mismo que en el hemisferio norte.

Una vez que se dispone del origen de coordenadas, se pueden concretar los componentes necesarios para ubicar un punto:

- unidad de medida (metro o kilómetro, por ejemplo).
- coordenadas x e y
- Huso, zona
- *Datum*.

Por ejemplo [24]:

- $x=386.143$ m, $y=4.580.137$ m
- huso 30, zona T
- *datum ED50*

Algunas **ventajas** de la proyección *UTM* son:

- Conserva los ángulos (es "conforme").
- No distorsiona las superficies por debajo de los 80° de latitud.
- Es posible designar un punto fácilmente.
- Es fácil localizar un punto.
- Su empleo es universal.

Como principal **inconveniente**, son de resaltar las deformaciones introducidas por la proyección.

A continuación se comenta brevemente la fuente de información cartográfica más importante en Cataluña y de la que se extraerán mapas y herramientas para el presente trabajo: el ICC.

3.6 Obtención de cartografía

En el presente apartado se hablará del ICC, indicando en el punto 3.6.2 las tareas que lleva a cabo, los servicios y productos que ofrece -en los apartados 3.6.3 a 3.6.4 respectivamente-, y los formatos de fichero básicos que usa en el punto 3.6.5.

Por último, en el apartado 3.6.6 se indican brevemente otras fuentes de cartografía existentes.

3.6.1 El ICC

El *Institut Cartogràfic de Catalunya* (ICC [32]) es una entidad pública de la *Generalitat de Catalunya* adscrita al *Departament de Política Territorial i Obres Públiques*.

Inaugurado en 1982, su finalidad es llevar a cabo los estudios y la producción cartográfica y geológica de Cataluña, y se preocupa de disponer de una cartografía de calidad que permita el soporte a actuaciones territoriales.

El sistema de referencia geodésico usado por el ICC es el oficial vigente ED50 (*European Datum 1950*), constituido por el elipsoide internacional (Hayford, 1924) y el Potsdam (Torre de *Helmert*).

El sistema de representación que utiliza es la proyección conforme *UTM* (ver 3.5).

3.6.2 Tareas del ICC

Algunas tareas importantes del ICC son:

- Junto con el Instituto Geográfico Nacional, el ICC tiene la responsabilidad en la definición e implementación del SPGIC¹.
- Ofrece bases cartográficas a diversas escalas.
- Desarrolla herramientas para la captura automática de datos, conversores, etc.
- Efectúa generación e integración de bases de datos cartográficas para SIG.
- Contiene la Cartoteca de Cataluña.
- Delimita el territorio catalán.
- Elabora cartografía vial necesaria para la realización de proyectos de carreteras y obras públicas en Cataluña.

Se indican ahora algunos de los servicios que ofrece.

3.6.3 Servicios que ofrece el ICC

De manera genérica, se muestran a continuación algunos servicios que ofrece el ICC. Por ejemplo, ofrece productos y servicios por encargo en los ámbitos siguientes:

- Sistemas relacionados con SIG (gestión y análisis catastral, control de flotas, etc.).
- Conocimiento aplicado: catastro, sistemas de localización basados en móvil (*LBS*²), etc.
- Sistemas de captura de datos (vuelos fotogramétricos, captura terrestre, etc.).
- Sistemas de posicionamiento: SPGIC, redes geodésicas, posicionamiento en tiempo real, etc.
- Bases de datos cartográficas, cartografía topográfica a varias escalas.
- Cartografía de imagen: ortofotos³.
- Fotogrametría⁴.

Otros servicios o información que ofrece son:

- GeoFons: observaciones de la red de estaciones permanentes *GPS*⁵; geoide, transformaciones de *datum*, etc.
- Calculadoras geodésicas: transformación de coordenadas *GPS* al sistema de referencia oficial (*WGS84*⁶ a *ED50* –ver apartado 3.5 -) y viceversa.
- MapServer: consulta en línea de información geográfica (catálogos de cartografía, de toponimia, vértices geodésicos).
- Fondos cartográfico, bibliográfico, fotográfico y documental.

Seguidamente se indican algunos de los productos digitales que contiene y están accesibles.

3.6.4 Productos digitales que ofrece el ICC

¹ Sistema de Posicionamiento Integrado de Cataluña. Es un conjunto de estaciones geodésicas, que permiten la determinación de las coordenadas en Cataluña, con ayuda del *GPS*.

² *Location Based Services*.

³ Fotografía aérea vertical rectificadas geométricamente para mantener una escala uniforme en toda la superficie de la imagen [32].

⁴ Conjunto de técnicas y métodos que se utilizan para obtener medidas reales del terreno y para elaborar mapas y planos a partir de fotografías aéreas [33].

⁵ *Global Positioning System*, o Sistema de Posicionamiento Global.

⁶ *World Geodetic System 1984*. Sistema de referencia cuyas coordenadas son popularmente conocidas como "coordenadas GPS".

De manera más concreta, se muestra en la Figura 15 un resumen visual del catálogo de productos digitales del ICC [34]. En ella, se indica el producto, la escala en la que se ofrece, así como el formato de distribución, como datos de mayor interés.

BASES Y CARTOGRAFIA DIGITAL				
DATOS GENERALES				
Producto	Escala	Capas/Resolución	Formato de distribución	Unidad
Base topográfica	1:5000	D completo	DGN-DXF-EXPORT	Hoja
		rasterizado a 160 dpi	GEOTIFF, MrSID	Hoja
Cartografía topográfica	1:10000	rasterizado a 160 dpi	GEOTIFF, MrSID	Hoja
Base topográfica	1:25000	rasterizado a 160 dpi	GEOTIFF	área escogida
		simbolización autom.	PDF	área escogida
Base topográfica	1:50000	completo	DGN-DXF-EXPORT	Hoja
Base topográfica	1:250000	completo	DGN-DXF-EXPORT	Catalunya
Ortofotomágenes digitales	1:5000	b/n	GEOTIFF, MrSID	Hoja
		color	GEOTIFF, MrSID	Hoja
Ortofotomágenes digitales	1:25000	infrarrojo color	GEOTIFF, MrSID	Hoja
		color	GEOTIFF, MrSID	Hoja
Base municipal	1:50000	completo	DGN-DXF-EXPORT	Catalunya
Base municipal	1:250000	completo	DGN-DXF-EXPORT	Catalunya
Base municipal	1:1000000	completo	DGN-DXF-EXPORT	Catalunya
Modelo elevación terreno	-	30 x 30 m	ASCII	km2
		100 x 100 m	ASCII	Catalunya

Figura 15. Catálogo de bases, extraído del ICC [34].

En estos productos, la cartografía topográfica rasterizada y las ortomágenes están georreferenciadas. Los formatos de distribución destacables de las bases son:

- *DGN*, *DXF* y *EXPORT* (corresponden al modelo vectorial -ver 2.6.2-)
- *GEOTIFF* y *MrSID* (corresponden al modelo *raster* -ver 2.6.1-)
- *ASCII* (corresponden al modelo de elevación del terreno, no tratado en el presente trabajo)

Estos formatos, y otros, se comentan brevemente en el apartado siguiente.

Aunque el catálogo anterior es el que resulta de interés para el presente trabajo, el ICC ofrece otra tipología de productos -con formatos de distribución nativos de la institución- que pueden resultar de interés, son de pago y se encuentran en [35].

Una vez vistos los productos, se comentan los formatos de ficheros básicos en qué el ICC los ofrece.

3.6.5 Formatos de fichero

En la Tabla 4 se muestran los formatos que aparecían en la Figura 15, y que son de interés para el presente trabajo. En la primera columna se indica el modelo al que pertenece (ver 2.6), en la segunda el formato y en la tercera algunas características de interés.

Modelo	Formato	Características
Vectorial	<i>DGN</i> (<i>MicroStation Design File</i>)	Propiedad de <i>Bentley Systems</i> [36][37]. Es un formato similar al <i>DWG</i> de <i>AUTOCAD</i> [38][39]

	<i>DXF (Drawing Exchange Format)</i>	Propiedad de <i>AutoDesk</i> [38][40]. Es un formato de intercambio de datos vectoriales.
	<i>EXPORT</i>	Propiedad de <i>ESRI</i> [41][42]. Es un formato de intercambio de imágenes de <i>ARCINFO</i> ¹ [43]
Raster	<i>GeoTIFF</i>	Es un formato estándar de metadatos que contiene una imagen <i>TIFF</i> ² con información georreferenciada [44].
	<i>MrSID (Multi-resolution Seamless Image Database)</i>	Propiedad de <i>LizardTech</i> [45] <i>MrSID</i> es el software de compresión <i>wavelet</i> ³ para generar el formato <i>SID</i> [46][47].
	Otros	Formatos <i>TIFF</i> [48], <i>JPG/JPEG</i> [49], <i>GIF</i> [50].

Tabla 4. Formatos de productos digitales ofrecidos por el ICC.

Por último, se apuntan brevemente otras fuentes de información cartográfica.

3.6.6 Otras fuentes

Otras posibles fuentes de información cartográfica, de las muchas que existen, son:

- La Dirección General del Catastro [51]. Ofrece cartografía catastral urbana y rústica, ortofotografía digital y en papel.
- Instituto Cartográfico Valenciano [52]. Trabaja en proyectos relacionados con SIG, ofrece ortofotomapas, series, etc.
- *TeleAtlas* [53]. Es líder europeo en creación de cartografía digital.

En el Capítulo 3 se ha efectuado una introducción a la Cartografía, y se ha explicado el proceso que se sigue para, partiendo de un punto situado en la superficie de la Tierra, poder obtener otro situado en un plano o mapa que sigue manteniendo una relación lógica con otros puntos que le rodean. A esto se le llamaba el proceso cartográfico, y se explicó en el punto 3.3.

Se han visto varias formas de proyectar esos puntos en el apartado 3.4, y se ha indicado que la más utilizada es la proyección *UTM*, explicada en el punto 3.5.

Por último, en el apartado 3.6, se ha hablado de la obtención de información cartográfica y de algunos de los formatos en los que se usa, orientando este conocimiento hacia el ICC.

Seguidamente, en el Capítulo 4 se hablará sobre *GPS (Global Positioning System)*, un sistema de posicionamiento a nivel global, que guarda relación con algunos de los conceptos geodésicos mencionados hasta el momento y que será de utilidad en la parte práctica del presente trabajo.

¹ *ARCINFO* es un SIG y su fabricante es *ESRI*, líder mundial.

² *Tagged Image File Format*. Formato de archivos de imágenes con etiquetas. Además de la imagen guarda etiquetas (*tags*) para su posterior tratamiento, conteniendo informaciones varias, como el tipo de compresión [48].

³ La compresión *wavelet* de imágenes funciona descomponiendo la imagen en un conjunto de expresiones matemáticas que el receptor podrá descodificar. Cuando el usuario visualiza la imagen, el formato solamente descomprime selectivamente la parte necesaria que pide el usuario y la cantidad de datos necesarios a la escala requerida. La compresión *wavelet* se basa también en que el nivel de detalles de una imagen no es constante, siendo mayor en algunas partes (por ejemplo, el centro urbano) y menor en otras (por ejemplo, los bosques).

Capítulo 4

GPS

En este capítulo se habla de *GPS*, el sistema de posicionamiento a nivel global más extendido, y que se usará más adelante en la parte práctica de este trabajo.

En primer lugar, en el apartado 4.1, se comentará cómo surgió este sistema y porqué. Se comentará qué relación guarda con los conceptos geodésicos explicados y se explicará su funcionamiento básico. En el punto 4.2 se mostrará la arquitectura de segmentos que lo forman y en el apartado 4.3 se mostrará cómo están formadas las tramas de datos en la comunicación del sistema.

4.1 El sistema *GPS*. Funcionamiento básico

El sistema *GPS* fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos como un sistema de navegación de precisión con fines militares [25]. En 1965 entró en funcionamiento el primer sistema de navegación basado en satélites (*TRANSIT*). Debía abarcar todo el planeta y ser insensible a las condiciones atmosféricas. Estaba compuesto por seis satélites con los que se conseguía una cobertura mundial pero no constante.

Debido a los problemas con este sistema y en respuesta en parte por la competencia de un sistema similar controlado por la antigua *URSS* (*TSICADA*), se concibió un nuevo sistema formado por 24 satélites que diera cobertura global y continua: el sistema **NAVSTAR¹ GPS**.

Como consecuencia de la existencia de *datum* propios en cada territorio (ver apartados 3.2.1 y 3.5), se tuvo la necesidad de crear un *datum* universal con cobertura en toda la superficie terrestre [26]. Para ello fue creado el *WGS* (*World Geodetic System* o Sistema Geodésico Mundial), cuyo primer sistema fue *WGS74*. Actualmente el sistema vigente es *WGS84*², cuyas características principales son (ver apartado 3.2.1):

- Semieje mayor: 6.378.137,000 m.
- Semieje menor: 6.356.752,314 m.
- Aplanamiento: 298,25722
- Excentricidad: 0,081819

El sistema *GPS* se sirve del *datum WGS84* para establecer las coordenadas de un receptor, y su proceso general de funcionamiento a la hora de establecer la posición del mismo es el siguiente [54].

El sistema *GPS* funciona mediante una red de satélites que se encuentran orbitando alrededor de la Tierra, como se observa en la Figura 16 (b). Cuando se desea determinar la posición de un receptor, éste localiza como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos, situación que se ve representada en la Figura 16 (a). A partir de estas señales, el receptor sincroniza el reloj del *GPS* y calcula el retraso de las señales, mediante la cual puede obtener la distancia al satélite.

¹ *NAVigation SysTem And Ranging*.

² Es empleada en métodos de captura de datos topográficos y sobre todo en navegación marítima y aérea. Es por ello usual encontrar en cartografía la correspondencia entre el *datum WGS84* y el *ED50*.

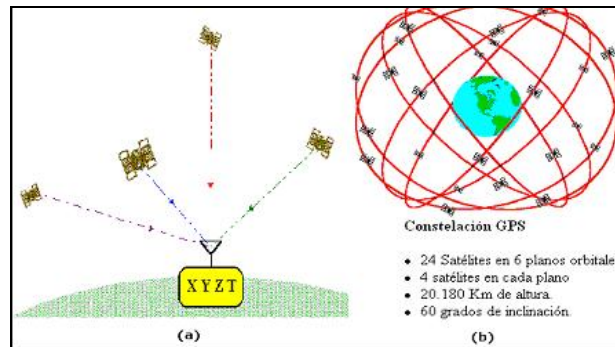


Figura 16. Representación en (a) de la obtención de coordenadas gracias a las señales de los satélites. En (b), representación de los 24 satélites del segmento espacial [55].

Por triangulación se calcula la posición en que éste se encuentra. Conocidas las distancias, se determina la posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo, además, las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición. Más concretamente, cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de una esfera con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor. Obteniendo información de dos satélites se obtiene que el receptor se encuentra sobre la circunferencia que resulta cuando se intersectan las dos esferas.

Si se adquiere la misma información de un tercer satélite, la nueva esfera sólo corta el círculo anterior en dos puntos. Uno de ellos se puede descartar porque ofrece una posición absurda. De esta manera ya se tiene la posición en tres dimensiones (3-D). Esta situación se observa en la Figura 17. Sin embargo, dado que el reloj que incorporan los receptores *GPS* no está sincronizado con los relojes atómicos de los satélites, los dos puntos determinados no son precisos.

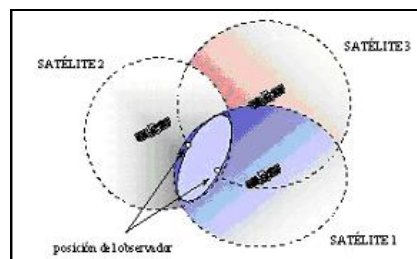


Figura 17. Localización de la posición mediante tres satélites [56].

Teniendo información de un cuarto satélite, se elimina este inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores *GPS* y los relojes de los satélites. Y es en este momento cuando el receptor *GPS* puede determinar una posición 3D exacta (latitud, longitud y altitud). Al no estar sincronizados los relojes entre el receptor y los satélites, la intersección de las cuatro esferas con centro en estos satélites es un cierto volumen en lugar de un punto. La corrección consiste en ajustar la hora del receptor de tal forma que este volumen se transforme en un punto.

Las aplicaciones *GPS* se orientan principalmente a sistemas de navegación, aplicaciones cartográficas (topografía, geodesia, SIG), sistemas de sincronización, aplicaciones militares y espaciales, etc. Pero sobre todo a los sistemas de navegación terrestre, con cientos de millones de vehículos potenciales. En este mercado las aplicaciones a desarrollar tienen que ver con la gestión de flotas, sistemas de navegación, etc., entre otros.

En el siguiente apartado se profundiza en la arquitectura general del sistema *GPS*.

4.2 Arquitectura del sistema *GPS*

El sistema *GPS* funciona mediante señales codificadas provenientes de los satélites que pueden ser procesadas por receptores *GPS*, permitiendo calcular su posición, velocidad y tiempo. Se utilizan cuatro señales para el cálculo de posiciones en tres dimensiones y del ajuste del reloj del receptor. La Figura 16 (a) refleja esta situación.

El sistema *GPS* consta de tres segmentos [55][57]: el segmento espacial (la red de satélites), el segmento de control (red de estaciones) y el de usuario, formado por éstos y los receptores.

4.2.1 El segmento espacial

El segmento espacial está formado por los satélites *GPS* que mandan señales de radio desde el espacio. Nominalmente la constelación consiste en 24 satélites que orbitan alrededor de la tierra en 12 horas, pero en un momento dado puede haber alguno más (por sustitución de otro, por ejemplo). Estos satélites están representados en la Figura 16 (b).

Los satélites están situados a 20.180 Km. de altura desplazándose a una velocidad de 14.500 Km./h. Las órbitas son casi circulares y se repite el mismo recorrido sobre la superficie terrestre (mientras la Tierra rota a su vez sobre si misma), de forma que en un período de casi 24 horas, un satélite vuelve a pasar sobre el mismo punto de la Tierra. Los satélites quedan situados sobre 6 planos orbitales (con un mínimo de 4 satélites cada uno) espaciados equidistantes a 60 grados e inclinados unos 15 grados respecto al plano ecuatorial. Esta disposición permite que desde cualquier punto de la superficie terrestre sean visibles entre cinco y ocho satélites.

Se comenta a continuación el segmento de control.

4.2.2 El segmento de control

El segmento de control consiste en un sistema estaciones de seguimiento localizadas alrededor del mundo. En la Figura 18 se observa la localización de estas estaciones (en rojo).



Figura 18. Red de control GPS [55].

Las estaciones de control miden las señales procedentes de los satélites y son incorporadas en modelos orbitales para cada satélite. Estos modelos calculan datos de ajuste de órbita (*efemérides*) y correcciones de los relojes de cada satélite. La estación maestra (situada en *Colorado Spring, Texas*) envía las efemérides y correcciones de reloj a cada satélite. Cada satélite envía posteriormente subconjuntos de estas informaciones a los receptores de *GPS* mediante señales de radio. El sentido de estas comunicaciones están representados en la Figura 19 (a).

Por último, se comenta el segmento de usuario seguidamente.

4.2.3 El segmento de usuario

El segmento de usuario lo forman los receptores y la comunidad de usuarios. Los receptores convierten las señales recibidas de los satélites en posición, velocidad y tiempo estimados. Se requieren cuatro satélites para el cálculo de la posición en cuatro dimensiones X, Y, Z y tiempo. Los receptores son utilizados para navegación (aérea, terrestre, etc. ver Figura 19 (b)), posicionamiento, estimaciones temporales y otras investigaciones.

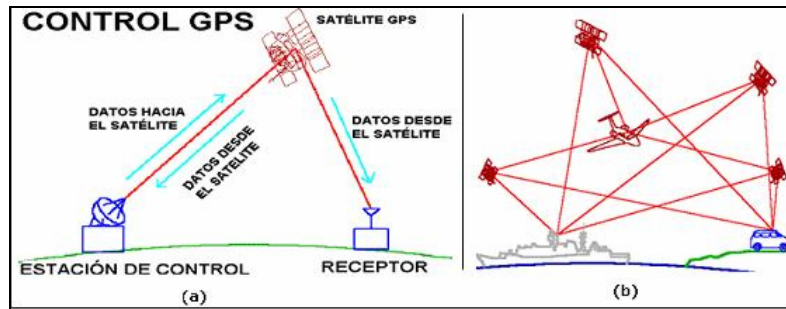


Figura 19. Comunicación en el segmento de control –a-. En (b), representación de la comunicación a los receptores GPS para distintos tipos de navegación [55].

A continuación se describen los datos relacionados con la comunicación en GPS.

4.3 Datos del sistema GPS

Los mensajes GPS consisten en unas tramas de datos que marcan el tiempo de transmisión de cada parte del mensaje en el momento en que son transmitidas. Una trama de datos ocupa 1500 bits divididos en partes de 300. Las tramas se transmiten cada 30 segundos (50 bit/s). Tres partes de 6 segundos contienen datos orbitales y temporales. En la Figura 20 se muestra el formato de la trama.

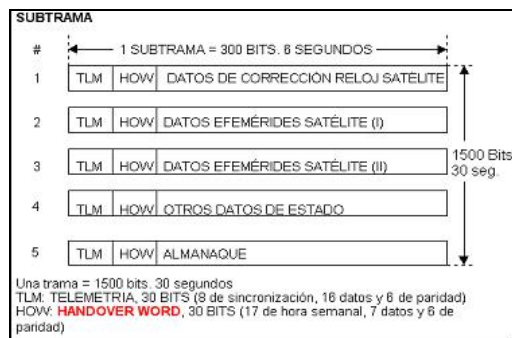


Figura 20. Trama GPS [55].

Las correcciones del reloj son transmitidas en la primera parte (el número de trama se indica a la izquierda de la Figura 20) y en la segunda y tercera se transmiten datos de información orbital (efemérides). La cuarta trama contiene información del estado del satélite y otros parámetros de navegación y la quinta se usa para transmitir el almanaque¹ de un satélite. Cada 12 minutos y medio se retransmite toda la información completando 25 tramas completas.

Los datos de reloj (trama 1 de la Figura 20) describen la relación entre el reloj de satélite y del sistema GPS. Los datos de efemérides (tramas 2 y 3) definen de forma muy precisa la posición de un satélite en un instante dado. Normalmente los receptores renuevan su información de efemérides cada hora, pero pueden utilizar los datos de efemérides hasta 4 horas sin demasiado error. Los datos de efemérides se utilizan con un algoritmo que calcula la posición del satélite para cada instante dentro de la porción de órbita descrita en el conjunto de datos de efemérides.

Se ha explicado en este capítulo como el sistema GPS resuelve la cuestión de establecer la localización de un receptor que pueda comunicarse con la red de satélites GPS. En la parte práctica se usarán estos conocimientos para simular tramas GPS que generarán localizaciones de elementos de interés para el presente trabajo: taxis de la agencia a diseñar.

Seguidamente, en el Capítulo 5, se explicará el paquete de software con el que se efectuará la implementación de la parte práctica del presente trabajo: GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0.

¹ El almanaque es un conjunto de parámetros orbitales aproximados de todos los satélites. Describen la órbita de cada satélite para largos periodos de tiempo (pueden ser utilizados durante varios meses en la mayoría de los casos). Son enviados por cada satélite cada 12 minutos y medio (25 tramas de datos) como mínimo. El tiempo de adquisición de señal en el arranque de un receptor GPS puede ser mejorado significativamente si dispone del almanaque actualizado.

Capítulo 5

GEOMEDIA PROFESSIONAL

6.0

Hasta este punto, en el presente trabajo se ha efectuado una tarea de introducción a la base teórica de los SIG. En el Capítulo 2 se ha mostrado qué son los **SIG**, cuáles son sus funciones básicas, sus componentes, sus posibles aplicaciones y se han comparado con algunas tecnologías con las que se relacionan. También se han comentado los dos principales modelos de representación digital de imágenes: el modelo *raster* y el vectorial.

Posteriormente, en el Capítulo 3, se ha efectuado una introducción a la **Cartografía**. Se ha mostrado cómo el proceso de proyección de una porción de la Tierra en el plano permite a los SIG trabajar con datos georreferenciados (se denominaba a ese proceso el proceso cartográfico). Se han visto varios tipos de proyección, destacando la *UTM*, usada por numerosas organizaciones como el ICC, habiéndose también comentado sus objetivos y características, así como los productos digitales que ofrece.

En el Capítulo 4 se ha efectuado una introducción al sistema *GPS*. Se ha explicado su funcionamiento básico y se ha visto también su arquitectura básica. Asimismo se ha mostrado el contenido de las tramas GPS, elementos que servirán en la parte práctica para simular localizaciones.

En este capítulo, se habla de un SIG en particular, ***GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0***, de ***Intergraph*** [58] en su **versión 6.0**. Para usarlo, será necesario aplicar los conocimientos comentados en los capítulos anteriores.

Se comenzará describiendo algunas de las **características** generales del mismo en el apartado 5.1, para continuar introduciendo los **conceptos** más importantes para su correcta utilización de cara al presente trabajo en el punto 5.2.

Se explicarán posteriormente sus **funcionalidades** más importantes en el apartado 5.3 y el modelo de *metadatos* subyacente en el 5.4. Para finalizar, se efectuará una **comparativa** con otros SIG comerciales del mercado en el punto 5.5.

5.1 Características generales

GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 es un SIG. En el apartado 2.3, se mostraron los elementos que formaban un SIG. Se citan a continuación los destacables en relación a *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*, relacionándolos con lo comentado en ese apartado:

- *Sistema gestor de base de datos.* *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* soporta conexiones a varias tecnologías del mercado, como *MICROSOFT ACCESS* [59], *ORACLE* [60], *MICROSOFT SQLSERVER* [61], *ARCINFO* [43], entre otros.
- *Interfaz gráfica.* *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* dispone de herramientas gráficas para mostrar la información geográfica, *WYSIWYG*¹, visualización de mapas ...

¹ *What You See Is What You Get* ("lo que ve es lo que tiene")

- *Herramientas para la captura de la información.* Vectorización (ver 2.6.2), digitalización, imágenes de satélite (*raster*).
- *Herramientas para el análisis, búsqueda y visualización de los datos geográficos.* Permite creación de consultas para acceso a datos georeferenciados, atributos funcionales, mapas temáticos ...

Una vez se ha visto una primera referencia a las características de *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*, se definen a continuación algunos conceptos que resultarán de interés en explicaciones posteriores.

5.2 Conceptos

Algunos conceptos de interés que conviene entender para usar *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* [62]:

- Geoworkspace. Es el entorno en el cual se lleva a cabo todo el trabajo realizado. Contiene las conexiones a los *almacenes*, las *ventanas de mapa* y *de datos* (ver Figura 21), las *ventanas de composición* (contiene a las anteriores), las barras de herramientas, la información del *sistema de coordenadas* y las *consultas*.
- Almacén. Los almacenes son los grupos de datos del SIG (bases de datos *ORACLE*, *MICROSOFT ACCESS*, *ARCINFO* o *CAD*). A partir del establecimiento de conexiones con estos orígenes de datos, *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* puede acceder a la información almacenada, ya que la información está en los almacenes (no en el *geoworkspace*).
- Entidad. Las entidades son representaciones gráficas de elementos del mundo real. Se pueden representar como puntos, líneas, líneas poligonales, áreas, arcos, textos e imágenes.
- Clase de entidad. Define todos los atributos y tipos de dato asociados, de manera que resulta más fácil la gestión de las entidades (para establecer estilos, por ejemplo).
- Leyenda. Es el elemento que controla la información que aparece en la ventana de mapa (ver Figura 21).
- Consultas y consultas espaciales. Las consultas son preguntas, complejas o simples, que se pueden hacer al sistema. Las consultas espaciales relacionan y complementan operadores relacionales (*mayor que*, etc.) con operadores espaciales (*contiene*, *solapa*, etc.).
- Sistema de coordenadas. Los sistemas de coordenadas permiten relacionar la posición de las entidades en el espacio referenciado. La proyección permite situarlos en el plano, es decir, en la ventana de mapa. El sistema de coordenadas de un almacén no tiene porqué coincidir con el del *geoworkspace* ni con otros almacenes.

Seguidamente se explican con mayor amplitud algunas de las principales funcionalidades de *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*.

5.3 Funcionalidades

Se comentan a continuación algunas de las funcionalidades interesantes que se pueden llevar a cabo con el producto [62].

5.3.1 Sistemas de coordenadas

Cada clase de entidad en el almacén puede tener un sistema de coordenadas propio. Si el sistema de coordenadas del *geoworkspace* fuera diferente, podrían ser necesarias transformaciones mediante ficheros *.csf* o *coordinate system files* [62].

Los tipos de coordenadas con los que *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* trabaja son:

- geográfico. Expresa las coordenadas en forma de longitud y latitud (ver punto 3.1.1).
- proyectado. Expresa las coordenadas en forma de x (este) e y (norte). Se refiere a un plano de proyección con una relación con el esferoide conocida (ver punto 3.4).
- geocéntrico. Se refiere a un sistema de coordenadas cartesianas con centro en la Tierra, que expresa las coordenadas (X,Y,Z) como la posición de un punto específico con respecto a ese centro.

5.3.2 Almacenes

Como se ha comentado, en los **almacenes** (*warehouses*) se almacenan los datos del sistema. Pueden ser *de sólo lectura* o *de lectura y escritura*. Cada conexión a almacén puede usar un servidor de datos distinto. Algunos de ellos son: *MICROSOFT ACCESS*, *ARCINFO*, *ORACLE*, *MICROSOFT SQLSERVER*, *MAPINFO*.

Esos datos, georreferenciados, son recuperables mediante consultas, cuyos filtros pueden delimitar áreas geográficas. Son lo que se llama filtros espaciales, usados para obtener entidades localizadas. Los operadores espaciales hacen referencia a la superposición entre la zona definida y las entidades existentes (*totalmente dentro*, *sólo toca*) y se explicarán en 5.3.6.

En cuanto a la **exportación** de datos, *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* ofrece comandos para exportar datos a otros sistemas de tipo SIG o *CAD*. Son exportables las entidades y su geometría, siendo el sistema destino *ORACLE* (y en general formato ASCII accesible para sistemas de base de datos), *AutoCAD*, *MapInfo*, y otros.

5.3.3 Ventanas de mapa y de datos

Las **ventanas de mapa** permiten visualizar de manera gráfica los elementos que se incluyen en la leyenda. Pueden ser modificadas en la ventana de mapa propiedades como la escala de visualización, el estilo de presentación de las entidades, prioridades en la presentación de los objetos, etc.

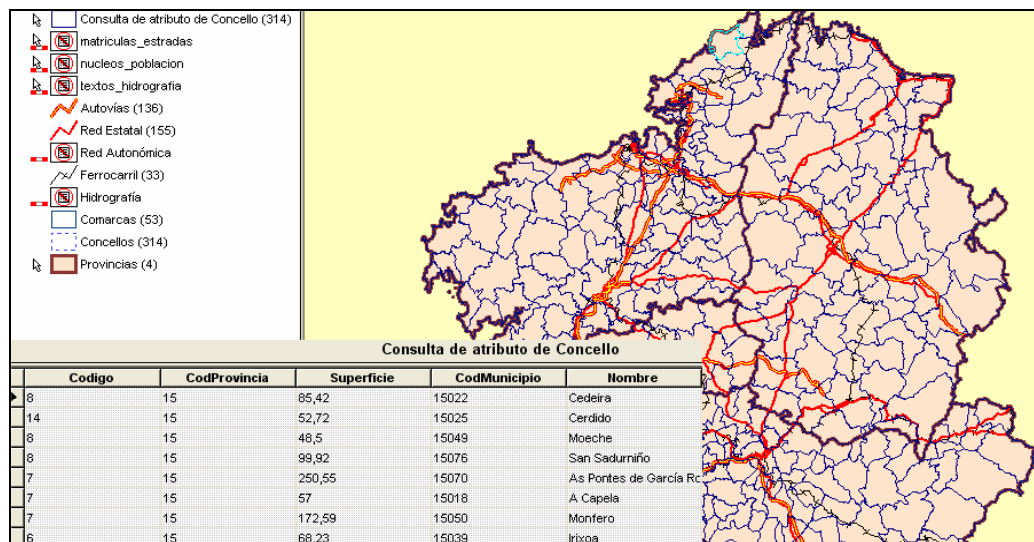


Figura 21. Leyenda, ventana mapa y de datos parcial (modificado desde [62]).

En la Figura 21 se pueden ver en la parte derecha autovías (carreteras más amarillentas) o delimitación de *concellos*¹ (líneas en azul) en un mapa de Galicia.

¹ Concejo, ayuntamiento o corporación municipal gallega.

Respecto de las **ventanas de datos**, contienen los atributos alfanuméricos de las clases de entidad o de las consultas. Se observa en la misma figura un fragmento de una ventana de datos en la parte inferior, que contiene datos de los *concellos* como la superficie o su nombre.

5.3.4 Entidades

Las entidades pueden ser [62]:

- de punto. Se representan por medio de un punto en un mapa. También pueden representar entidades que no se pueden visualizar mejor con la escala escogida (una ciudad vista mediante una escala muy grande, por ejemplo). Su aspecto es el de la imagen (a) de la Figura 22.
- lineales. Se representan mediante uno o más arcos o líneas. Por ejemplo para representar carreteras, ríos, etc. Corresponden a la imagen (b) de la Figura 22.
- de área. Se representan mediante zonas delimitadas, por ejemplo provincias. Su aspecto es el de la imagen (c) de la Figura 22.
- de imagen. Son las imágenes *raster* (imagen (f) de la Figura 22).
- compuestas. Entidades que pueden ser de punto, lineales o de área (imagen (d) de Figura 22)
- de texto. Son textos en un lugar de un mapa (imagen (e) de la Figura 22).



Figura 22. Leyenda, ventana mapa y de datos parcial (modificado desde [62]).

GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 ofrece funcionalidades para efectuar **digitalizaciones**. Se pueden digitalizar entidades de diferentes maneras, pero la que interesa para el presente trabajo es la digitalización directa en pantalla. Por ejemplo, el usuario puede servirse de una imagen *raster* que haga de guía, para digitalizar entidades que aparecen en la foto (como una calle, por ejemplo).

La herramienta denominada *SmartSnap* de *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* [62], permite efectuar las operaciones de digitalización fácilmente, completando las operaciones que el usuario tendría dificultad para llevar a cabo, como prolongar una entidad de línea sin desviaciones, cazar un vértice, cazar el punto medio de una línea, etc. No sólo permite cazados vectoriales, sino también *raster* (por ejemplo, el cazado de una esquina).

Otra importante funcionalidad relacionada con las entidades es la **importación** desde diversas fuentes de datos. El proceso de importación puede generar errores que han de ser corregidos. Esta situación se comenta en el apartado siguiente.

5.3.5 Captura y corrección de datos

GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 proporciona herramientas para efectuar **captura** de datos. Por ejemplo, es posible efectuar vectorizaciones a partir de imágenes *raster*, introducir datos de mapas escaneados, datos provenientes de *CAD*, heredados de otros SIG, etc.

Existe la posibilidad de que los datos introducidos o generados mediante *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* contengan errores en su geometría o en la conectividad espacial, si bien el proceso de digitalización del producto intenta minimizarlos. Los datos provenientes de archivos *CAD*, por ejemplo, incluyen a menudo gran cantidad de errores de conectividad. *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* incluye herramientas para solucionar estos **errores de conectividad y geometría**. A modo de ejemplo, se incluyen en la Figura 23 [62], ejemplos de errores geométricos. El resto, además de los posibles errores debidos a la conectividad, pueden encontrarse en el propio manual.






Error	Definición
Retroceso y Punto duplicado	Un límite de área, un agujero o una geometría lineal que invierte temporalmente la dirección de modo que se dobla sobre sí y continúa en la dirección original sin crear una cara. Aquí se incluyen condiciones de vértices consecutivos que se repiten. 
Lazo	La geometría de un límite de área o un agujero tiene una intersección consigo misma. 
Área sin cerrar	Un límite de área o un agujero que no se cierra sobre sí mismo, es decir, que el último vértice no es igual que el primero. 
Agujero no contenido	Un agujero que no está contenido en los límites. 
Agujeros superpuestos	Agujeros que se superponen dentro de los límites. 

Figura 23. Algunos errores respecto de la geometría de los datos [62].

Se comentan seguidamente algunas posibilidades que ofrece el análisis de los datos en *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*.

5.3.6 Análisis

Los análisis de datos en *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* se efectúan sobre todo a partir de la implementación de **consultas**, establecimiento de **relaciones** y del análisis de la **geometría**. Las consultas se pueden dividir en dos grupos: consultas de filtros **de atributos** y consultas **espaciales**.

Respecto de las primeras, son las que devuelven entidades que cumplen filtros establecidos para ciertos atributos. Por ejemplo, si se vuelve al ejemplo de la Figura 21, podría plantearse la pregunta de cuántos *concellos* superan los 10.000 habitantes.

Las consultas espaciales se podrían definir como consultas que obtienen entidades que mantienen una relación espacial con otras. Por ejemplo, siguiendo con el mapa de la Figura 21, podría plantearse cuáles son los *concellos* que limitan con el de *Cedeira*. El sistema ha de saber aplicar ciertos operadores, llamados espaciales. Algunos de estos operadores se indican a continuación (para ver la lista completa, ver [62]):

- *Se tocan*. Devuelve entidades que tocan a otras (tienen algún punto en común).
- *Contiene*. Devuelve entidades que cubren a otras.
- *Contienen completamente*. Devuelve entidades que contienen a otras.
- *Son espacialmente iguales*. Devuelve entidades que ocupan el mismo espacio y se encuentran en el mismo lugar.

Comentar además que existen consultas nativas, dependientes del sistema gestor de base de datos usado, pudiendo aprovechar toda su potencia. En el caso de *ORACLE* por ejemplo, son algunas de ellas las siguientes: *están separadas*, *están superpuestas con límites separados*, *igual*, *cubierto por*, *contiene*, *cualquier relación*, etc. (para más información, ver [62]).

En un análisis espacial, además de los tipos de consulta comentados, se pueden establecer zonas de influencia alrededor de entidades. Se define el concepto de **zona de influencia** como una región

situada en torno a una o varias entidades que permite seleccionarlas por el hecho de encontrarse dentro de ella.

Las zonas de influencia pueden tener formas variadas. Se muestran seguidamente, en la Figura 24, algunos tipos de zonas de influencia alrededor de geometrías diferentes (columnas punto, línea, área) e indicando de manera distinta las zonas de influencia; en la primera fila se indica distancia sin más (en pies, en metros ...), en la segunda y tercera se indica N:M ("desde una distancia N hasta M").










Distancia	Punto	Línea	Área
10			
0:10			
5:10			

Figura 24. Algunos tipos de zonas de influencia [62].

Respecto de las **relaciones**, es un concepto similar al de una relación en una base de datos. La relación se establece entre dos clases de entidad ligadas por un atributo.

El **análisis de la geometría** permite calcular estadísticas geométricas de cada ocurrencia de entidad de una clase de entidades seleccionada o consulta y visualiza la salida como una consulta, que se puede mostrar en una ventana de mapa o de datos.

Por último se comenta brevemente las posibilidades de *customización* que ofrece *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* vía programación de extensiones y que permiten un aumento de la funcionalidad.

5.3.7 Programación

GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 permite ejecutar aplicaciones, ya que puede comportarse como un servidor de automatización del modelo *COM¹* de *MICROSOFT* [64].

Así, es posible mediante una herramienta de desarrollo, acceder a objetos propios de las aplicaciones de la plataforma *MICROSOFT WINDOWS* (*Document, Toolbar, ...*) y, lo que resulta más interesante, a objetos propios del *geoworkspace* creado, como la leyenda, la ventana de datos o de mapa, etc. La más extendida de las herramientas para este propósito es *VISUAL BASIC* [65].

El acceso del cliente al servidor puede efectuarse de diversas formas, destacando la creación de **comandos**, que se integran en el *geoworkspace*, ampliando la funcionalidad del mismo.

A continuación se explica el modelo de *metadatos* de *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*.

5.4 Modelo de *metadatos*

GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 utiliza un esquema de *metadatos*. El modelo de *metadatos* es el modelo de datos subyacente que asocia referencias geográficas a las clases de entidad y que, por tanto, permite efectuar operaciones relacionadas con la geometría de las entidades.

El modelo de *metadatos* de los dos sistemas de base de datos que son candidatos a ser escogidos (*MICROSOFT ACCESS* y *ORACLE*) es muy similar (se hablará de esta elección en el punto 6.2.1). Las tablas de mayor interés que forman parte del esquema de *metadatos* son:

¹ *Component Object Model*

- *ATTRIBUTEPROPERTIES*. Describe los tipos de atributos para los campos de *FIELDLOOKUP*.
- *FIELDLOOKUP*. Proporciona un identificador único para cada columna de cada tabla (de una clases de entidad).
- *GEOMETRYPROPERTIES*. Almacena el tipo de geometría (línea, punto, etc.) para las clases de entidad (ver apartado 5.3.4).
- *GALIASTABLE*. Determina los nombres utilizados por otras tablas de *metadatos*. Debe existir siempre, ya que con ella se referencia a todas las demás.
- *GCOORDSYSTEM*. Almacena definiciones de sistemas de coordenadas. Si no está presente no habrá transformaciones de sistemas de coordenadas y se utilizará el sistema de coordenadas del *geoworkspace* (ver apartado 5.3.1).
- *GFEATURES/GFEATURESBASE*. La primera es una vista de la segunda. Almacenan los nombres de las tablas de las aplicaciones, por ejemplo las de las clases de entidad.
- *GPARAMETERS*. Contiene pares de parámetros y valores que definen campos de geometría. Permite definir entradas para la coordenada Z, con lo que se consiguen geometrías tridimensionales.
- *MODIFIEDTABLES*. Contiene una lista de las tablas que se siguen en *MODIFICATIONLOG*.
- *MODIFICATIONLOG*. Traza las modificaciones realizadas en todas las clases de entidad.

Como se ha indicado, cada clase de entidad tendrá su propia tabla, que será referenciada en *GALIASTABLE*, y cuya definición se encontrará en *FIELDLOOKUP*, *ATTRIBUTEPROPERTIES*, etc., es decir, en el resto de las tablas del modelo de *metadatos*.

De esta forma, a medida que se crean y modifican clases de entidad, sistemas de coordenadas, etc. es decir, a medida que se modifican los objetos de un *geoworkspace*, el sistema guarda en el modelo de *metadatos* lo necesario para saber su definición, efectuar análisis, saber su posición, etc.

Una vez explicado el modelo de *metadatos* de *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*, se efectúa una pequeña comparación entre diferentes SIG existentes en el mercado.

5.5 Comparación

Para finalizar el capítulo, se efectúa una comparación de SIG existentes en el mercado para que el lector tenga una idea de las diferencias entre ellos.

Entre los paquetes escogidos se encuentra naturalmente *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* de *Intergraph*, junto a *ARCGIS* de *ESRI* [66], *MapInfo* [67], *IDRISI* de *Clark Labs* [68], *Manifold* [69] y *SMALLWORLD* [70] (*GE* [71]). La Tabla 5 muestra esta comparación, indicando en la primera columna el atributo de comparación, en la segunda el producto, y en la tercera la descripción..

Atributo	Producto	Descripción
Recursos para el aprendizaje	ESRI	Mantiene recursos educativos en formación [72]. <i>ARCGIS</i> contiene tutoriales para <i>ARCCATALOG</i> , <i>ARCMAP</i> , <i>ARCTOOLBOX</i>
	Intergraph	Además de los manuales del producto, mantiene también el recurso que se encuentra en [73].
	IDRISI	Incorpora varios tutoriales con conceptos generales de SIG y además <i>Clark Labs</i> mantiene trabajos y bibliografía asociada.
	Manifold	Proporciona manuales con conceptos genéricos de SIG y ejemplos paso a paso

	SmallWorld	Recursos en [70]
Almacenaje de datos y análisis	ESRI	<i>ARCGIS</i> guarda datos <i>raster</i> y vectorial. Necesita extensión especial para análisis <i>raster</i> . Además guarda en otros formatos propios (formato de cobertura [41], etc.)
	Intergraph	Guarda imágenes <i>raster</i> . El análisis es a partir de datos en formato vectorial.
	IDRISI	Soporta ambos, también para análisis (. <i>rst</i> para ficheros de imagen <i>-raster-</i> , <i>.vct</i> para formato vectorial).
	MapInfo	Usa formato vectorial cuando es posible, aunque también visualiza imágenes y efectúa algún análisis <i>raster</i> . Guarda en tablas (ficheros <i>.tab</i>).
	Manifold	Soporta datos <i>raster</i> y vectorial
Manejo de datos	SmallWorld	<i>Raster</i> y vectorial
	ESRI	Un proyecto o <i>workspace</i> (espacio de trabajo) se denomina <i>map</i> . Se acceden a los ficheros <i>.map</i> mediante <i>ArcMap</i> y se guardan con extensión <i>.mxd</i> .
	Intergraph	Se trabaja con el concepto de <i>geoworkspace</i> , como se ha visto.
	MapInfo	Trabaja con <i>workspace</i> (extensión <i>.wor</i>).
	Manifold	Trabaja con ficheros <i>.map</i> (<i>Manifold Project</i>). No mantiene enlaces a los datos, sino que los copia.
Licencias disponibles	SmallWorld	El modelo de datos está orientado a objetos.
	ESRI	De evaluación, individual (<i>single</i>), estudiantes, <i>site</i> (acceso web).
	Intergraph	De evaluación, gratis según acuerdo para estudiantes (por ejemplo, en la UOC [9]).
	IDRISI	<i>Single</i> , <i>site</i> , estudiante.
	MapInfo	De evaluación, <i>single</i> , <i>site</i> .

Tabla 5. Comparación de SIG existentes en el mercado.

GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 de *Intergraph* y *ARCGIS* de *ESRI* destacan ([74]) en la integración de datos sobre otros sistemas: puede importar datos desde la mayoría de formatos SIG. Sus herramientas de análisis espacial de datos son potentes y variadas, ofreciendo además otras de gran utilidad (trazados por lotes, etc.).

GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0 está implementado sobre una plataforma fácil de usar (*MICROSOFT WINDOWS*) y es líder del mercado de SIG, por detrás de *ESRI*. Probablemente permite una excesiva personalización del entorno, sobre todo comparado con otros sistemas, sin duda orientada a una fácil utilización por parte del usuario.

Las áreas de aplicación en las que más destaca *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*: redes eléctricas, gas, LBS¹, transportes, alcantarillado y distribución de agua y similares.

Una vez comentadas las posibilidades de *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*, en el capítulo siguiente se efectúa el diseño del SIG a crear.

¹ *Location Based Services* (Servicios Basados en Localización)

Capítulo 6

Diseño del SIG

En el capítulo anterior se ha introducido al lector en el *software* SIG en el que se implementa la parte práctica de este trabajo: *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*.

El presente capítulo tiene como objeto crear el SIG de la agencia de taxis, que debe contener los datos, las operaciones y la infraestructura necesaria para llevar a cabo las funcionalidades requeridas.

En primer lugar, en el apartado 6.1, se indicará el problema a resolver en relación a su ámbito real de aplicación, y se establecen las tareas básicas que se llevarán a cabo para llegar a una solución satisfactoria.

En el apartado 6.2 se efectuará propiamente el diseño del SIG. Se indicará en primer lugar el sistema de base de datos escogido y el porqué de su elección, en el punto 6.2.1. En el apartado 6.2.2 se mostrará cómo se ha creado el *geoworkspace*.

En el apartado 6.2.3 se indicarán las entidades externas que se han utilizado para establecer el contexto geográfico de la solución, y que se dividen en: la base municipal de Cataluña (punto 6.2.3.1) y en ortofotos de la ciudad de Barcelona (apartado 6.2.3.2).

Seguidamente, en el apartado 6.2.4 se establecerá el modelo de datos de las entidades creadas para el sistema y finalmente, en el punto 6.2.5 se mostrará cómo se han digitalizado las entidades anteriores.

6.1 Problema a resolver

El SIG a implementar debe resolver parte de lo que sería la gestión de una agencia de taxis, en lo relativo a la recepción de llamadas, asignación de taxis a las mismas y control de la localización de los vehículos.

No se considera necesario profundizar en las labores adicionales que una agencia de taxis real puede efectuar en el quehacer diario y, por ello, no se incluye ningún apartado que describa con exactitud todas sus posibles tareas. La justificación para ello es que se considera que las actividades a llevar a cabo son conocidas al nivel necesario por cualquier persona que haya podido usar un servicio de este tipo, ya que está ampliamente extendido y accesible hoy día.

La única cuestión que el lector puede echar de menos es un mayor conocimiento del sistema *GPS*, necesario para llevar a cabo una de las funcionalidades requeridas; éste ha sido explicado (capítulo 4).

Así, el problema a resolver en la parte práctica del presente trabajo se circunscribe a las siguientes tareas:

- Creación del *geoworkspace* y el entorno en el que se desarrollará. Se incluyen aquí tareas como:
 - Elección del sistema de base de datos escogido (punto 6.2.1).
 - Creación del *geoworkspace* (punto 6.2.2).
 - Inclusión de entidades desde fuentes externas (punto 6.2.3).
 - Definición del modelo de datos (punto 6.2.4).
 - Digitalización de entidades (punto 6.2.5).
- Creación de comandos que implementen las funcionalidades requeridas. La solución a estos comandos se lleva a cabo en el capítulo 7. Estas funcionalidades han de permitir:

- Efectuar una simulación de la llegada de tramas *GPS* que identifiquen cada taxi en la ciudad (apartados 7.2.2.3 y 7.4.4).
- Situar taxis en el SIG (apartados 7.2.2.4 y 7.4.4).
- Recoger llamadas de clientes y situarlas en el SIG (apartados 7.2.2.1 y 7.4.2).
- Ubicar el taxi más cercano a una llamada (puntos 7.2.2.2 y 7.4.3).

A continuación se muestra el diseño efectuado.

6.2 Diseño del *geoworkspace*

En primer lugar se indica el sistema de base de datos escogido y el porqué, para a continuación mostrar el diseño llevado a cabo para el SIG creado.

6.2.1 Elección del gestor de base de datos

Se ha evaluado la posibilidad de usar dos de los posibles sistemas que soporta *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*: *ORACLE* y *MICROSOFT ACCESS*. El sistema elegido ha sido ***MICROSOFT ACCESS***.

Si bien *ORACLE* es un sistema más potente y completo, *MICROSOFT ACCESS* ofrece una serie de ventajas que son interesantes para un trabajo como el actual. Se enumeran a continuación las razones que han llevado a esta decisión:

- *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* permite trabajar contra este sistema desde dentro del propio entorno, lo que hace más cómodo el trabajo relacionado con el manejo de las entidades.
- El modelo de *metadatos* es prácticamente el mismo que en *ORACLE*, por lo que en relación a este concepto no hay pérdida.
- No es objeto del presente trabajo efectuar un control de permisos en el acceso de los usuarios a la base de datos, cuestión propia de un sistema potente como *ORACLE*: se trata de un prototipo ampliable de un SIG y el usuario único es el propio autor.
- Se trata éste de un trabajo con un tiempo bastante limitado y llevado a cabo por una sola persona en un ordenador de sobremesa.

Una vez escogido el sistema de base de datos se efectúa a continuación la creación del prototipo y de sus entidades básicas.

6.2.2 Creación del prototipo

Se indican en este apartado las características iniciales del SIG creado. En la Tabla 6 se observan una serie de características (primera columna), y se indican los valores que han tomado en la creación del SIG, en la segunda; en la columna descripción, se apunta alguna cuestión de interés relacionada.

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>	<i>Descripción</i>
Nombre SIG	<i>PFC.gws</i>	Nombre del fichero del <i>geoworkspace</i>
Plantilla	<i>normalUTM31.gwt</i>	Nombre de la plantilla que permite crear el <i>geoworkspace</i> con un sistema de coordenadas <i>UTM</i> focalizado en la zona 31 (la correspondiente a Cataluña)
Tipo de sistema de coordenadas	Proyección	Ver apartados 3.4 y 3.5
Unidades almacenamiento	1 metro	

Sistema de proyección y zona	<i>UTM</i> , zona 31	Ver apartado 3.5
Datum geodésico y elipsoide	<i>European 1950 International</i>	Ver apartado 3.2.1
Escala nominal de mapa	1:50000 ¹	

Tabla 6. Características iniciales del SIG.

A continuación, se indican las entidades externas incluidas en el *geoworkspace*.

6.2.3 Entidades externas

En el presente apartado se comentará cómo se han incluido en el *geoworkspace* entidades externas, es decir, entidades derivadas de contenidos desde fuentes de información ya existentes. Estas entidades delimitan el contexto geográfico en el que el SIG se sitúa.

Los contenidos se han obtenido del ICC [34] y las entidades externas son: una base municipal de Cataluña (ver apartado siguiente) y dos ortofotos de la ciudad de Barcelona (en el apartado 6.2.3.2).

6.2.3.1. Base Municipal de Cataluña

Esta base se incluye para que sea la aproximación geográfica de partida al problema a resolver. Las características de su contenido se indica a continuación:

- La escala es 1:1000000.
- Su formato es *DGN Microstation 95²* (ver Tabla 4).
- Incluye información vectorial sobre límites de municipios, comarcas, provincias y la comunidad autónoma catalana, con información sobre capitales de municipios y comarcas (nombre y situación), además de otras entidades como enclaves³ o islas⁴.
- El sistema cartográfico de representación es la proyección *UTM* (ver apartado 3.5).

No resulta de interés para el presente trabajo el formato interno de este contenido del ICC, pero sí lo es la manera de integrarlo en *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*. Seguidamente se indica cómo se ha efectuado esta importación:

- **Creación de un archivo de coordenadas.** La información a introducir, como cualquier entidad geográfica, debe referirse a un sistema de coordenadas. Una de las formas posibles de crearlo es arrastrando el fichero *.dgn* a la utilidad *Definir archivo de sistema de coordenadas* [62], otra sería cambiar la extensión del archivo, convirtiéndose así en un fichero de coordenadas. El archivo resultante se llama **BaseCatDesdeDGN.csf**.
- **Creación de un archivo CAD.** *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* permite importar datos en formato *Microstation* a partir de conexiones *CAD*. Para ello, es necesario en primer lugar, definir un archivo de esquema *CAD* mediante la utilidad *Definir archivo de esquema de servidores CAD*. El archivo resultante se llama **BaseCat.csd**. Los pasos llevados a cabo para hacerlo se indican a continuación [62]:
 - Asociar el fichero *Microstation* al sistema de coordenadas creado anteriormente
 - Definir las clases de entidad. Este es el paso más importante, ya que en él se define cómo se traspa la información entre *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* y *Microstation*. Se indican a continuación las características de este proceso, en la Tabla 7:

¹ Escala en la que se manifiestan los estilos definidos de las entidades. Por ejemplo, el tamaño definido para un punto se verá más o menos grande si cambiamos la escala de visualización, pero en la escala nominal es justo el definido.

² El formato *Microstation* del *dgn* es *Microstation 95*, según indica el documento editado por el ICC. Este formato se asimila a la plantilla *MstnTemplate.csd* en la herramienta *Definir archivo de esquema de servidores CAD*, que corresponde a *Microstation V7* o inferior.

³ El enclave hace referencia a una parte de un municipio físicamente separada del grueso del mismo.

⁴ Una isla hace referencia a un enclave en el mar.

<i>Clase de entidad</i>	<i>Geometría</i>	<i>Criterio</i>	<i>Descripción</i>
Enclavament	Punto	<i>CellName='ENCL'</i>	Enclave
Illa	Punto	<i>CellName='ILLA'</i>	Isla
LimitMunCA	Línea	<i>ElementLevel=3</i>	Límite municipal coincidente con el de una comunidad autónoma
LimitMunCom	Línea	<i>ElementLevel=2</i>	Límite municipal coincidente con el comarcal
LimitMunEstados	Línea	<i>ElementLevel=4</i>	Límite municipal coincidente con el estatal
LimitMunGen	Línea	<i>ElementLevel=1</i>	Límite municipal (caso general)
LimitMunCosta	Línea	<i>ElementLevel=5</i>	Límite municipal coincidente con la costa
LocCapComarca	Punto	<i>CellName='CAPC'</i>	Localización de capital de comarca
LocCapCA¹	Punto	<i>CellName='CAPA'</i>	Localización de capital de comunidad
LocCapMunicipi	Punto	<i>CellName='CAPM'</i>	Localización de capital de municipio
NomComarca	Texto	<i>ElementLevel=28</i>	Nombre de comarca
NomMunicipiCapCA²	Texto	<i>ElementLevel=22</i>	Nombre de municipio que además es capital de comunidad
NomMunicipiCapCom	Texto	<i>ElementLevel=21</i>	Nombre de municipio que además es capital de comarca
NomMunicipiGen	Texto	<i>ElementLevel=20</i>	Nombre de municipio que además es capital del mismo
NomMunicipiNoCap	Texto	<i>ElementLevel=25</i>	Nombre de municipio (no es capital)

Tabla 7. Definición de clases de entidad provenientes de BaseCat.csd.

- o Crear una conexión CAD al archivo recién creado. Desde este momento, las entidades definidas están accesibles en *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*.
- o Agregar entradas de leyenda para las nuevas entidades.

Una vez efectuado este proceso, es necesario establecer rangos de visualización para evitar que en todo momento se vean todas las entidades, algo que hay que evitar, sobretudo en escalas más grandes. En la Figura 25, se observan los límites de la comunidad autónoma catalana y su división comarcal (imagen (a)). En la imagen (b), se indican las entradas de leyenda asociadas, habiendo establecido ya los rangos de visualización.

¹ Las entidades de localización y nombre de la comunidad autónoma catalana se eliminan del prototipo ya que apenas aportan información.

² Ver nota anterior.

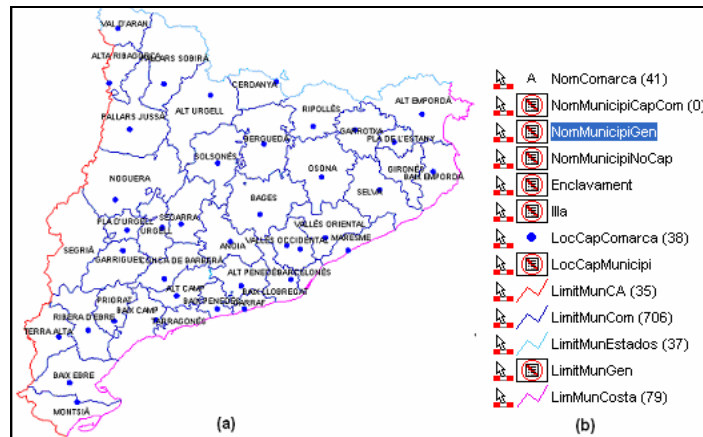


Figura 25. Entidades insertadas-a-, y entradas de leyenda asociada -b-.

Se indican a continuación en la Tabla 8 los rangos de visualización de las entidades anteriores. En la primera columna se indica la clase de entidad, en la segunda el rango establecido y en la tercera el estilo de visualización en el prototipo.

<i>Clase de entidad</i>	<i>Rango</i>	<i>Estilo</i>
Enclavament	1: 25.000.000	Punto amarillo de tamaño 5
Illa	1: 25.000.000	Punto azul claro de tamaño 5
LimitMunCA	1: 1000000000	Línea de color rojo con grosor 1
LimitMunCom	1: 1000000000	Línea de color azul con grosor 1
LimitMunEstados	1: 1000000000	Línea de color azul claro con grosor 1
LimitMunGen	1: 300000000	Línea de color verde con grosor 1
LimitMunCosta	1: 1000000000	Línea de color rosa con grosor 1
LocCapComarca	1: 1000000000	Punto azul de tamaño 5
LocCapMunicipi	1: 25.000.000	Punto naranja de tamaño 5
NomComarca	1: 1000000000	Texto color negro
NomMunicipiCapCom	1: 600000000	Texto color negro
NomMunicipiGen	1: 25.000.000	Texto color negro
NomMunicipiNoCap	1: 25.000.000	Texto color negro

Tabla 8. Definición de rangos de visualización para las entidades de la base municipal.

En la Figura 26 se observa el efecto del establecimiento de los rangos de visualización. En la imagen (a), se ve una zona del Alt Empordà. En la imagen (b), se observa la misma zona a una escala menor, en la que aparecen los nombres de los municipios, consecuencia de haber alcanzado el rango de visualización de la entidad referente a los mismos.

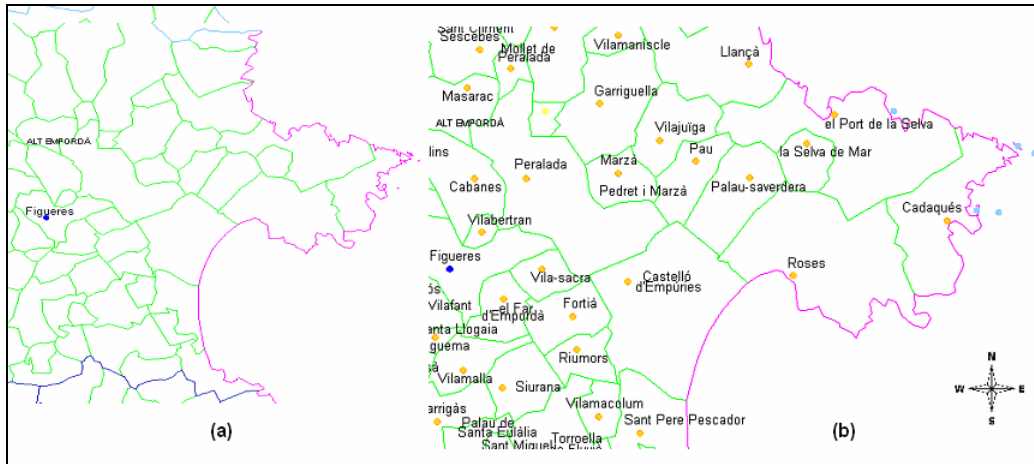


Figura 26. Efecto del rango de visualización establecido para los nombres de municipios.

Una vez explicada la inclusión de la base de datos municipal de Cataluña, se hace lo propio para la inclusión de ortofotos, que establecerán un ámbito geográfico más definido, en la ciudad de Barcelona.

6.2.3.2. Ortofotos de la ciudad de Barcelona

La parte práctica se encuentra focalizada en parte de la ciudad de Barcelona. En el presente apartado se indican las características de esta información y cómo se ha incluido en el prototipo. La razón para incluir ortofotos es dar más realismo al prototipo, pero sobretodo supone una ayuda en la digitalización de entidades, como se verá en el punto 6.2.5.

Se han incluido dos ortofotos contiguas de parte de la ciudad de Barcelona, provenientes del ICC. En la Figura 27 se muestra la relación visual existente entre las dos ortofotos una vez registradas, y la base de los límites municipales.

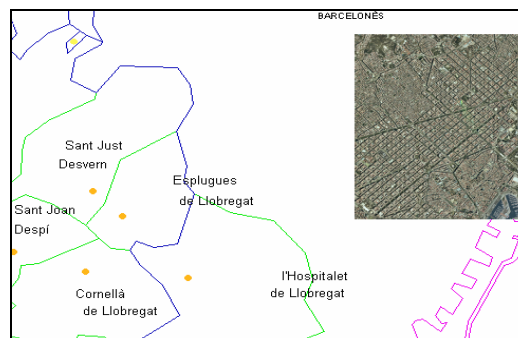


Figura 27. Situación de las ortofotos en relación a la base municipal.

Las ortofotos en el ICC forman parte de una malla, en la que cada una (salvo las más exteriores) está rodeada de otras de tamaño similar o igual. Cada foto descargable viene identificada básicamente por su escala, y las dos coordenadas de la malla. En el presente trabajo se han incluido dos ortofotos: orto**5mv40f289125**cor05 y orto**5mv40f289126**cor05. La parte marcada en negrita es la que interesa destacar aquí: "5m" significa "a escala 1:5000" y "f289126" significa "full 289-125". En la Figura 28 se observa una pequeña representación de la malla con las dos fotos incluidas.

	288	289	290
124			
125		X	
126		X	
127			

Figura 28. Ejemplo de parte de la malla de ortofotos del ICC.

Cada ortofoto se compone de dos ficheros: un fichero con extensión .sid y otro con extensión .sdw. Este último contiene la precisión y las coordenadas del punto superior izquierdo. El fichero .sid es el mapa en sí, en formato *MrSID* (ver apartado 3.6.5).

Para incluir las ortofotos hay que efectuar los pasos siguientes:

- Descargar las fotos del ICC.
- Identificar las entradas para el cálculo de coordenadas. Estos datos se pueden encontrar en el fichero *.sdw*, salvo el ancho y el alto, que se encuentran en el fichero de imagen.
- Calcular las coordenadas de los 3 puntos restantes de la foto [75]. En la Tabla 9 se muestra la información de entrada y la calculada (sombreada) para las dos ortofotos. En la primera columna aparece el atributo y en la segunda y tercera las dos fotos.

Atributo	f289126	f289125
Alto	4800	4800
Ancho	7200	7400
Precisión	0,5	0,5
X1	428600,25	428600,25
Y1	4583299,75	4585599,75
X2	432200,25	432300,25
Y2	4583299,75	4585599,75
X3	432200,25	432300,25
Y3	4580899,75	4583199,75
X4	428600,25	428600,25
Y4	4580899,75	4583199,75

Tabla 9. Coordenadas calculadas para las ortofotos.

- Registrar la foto en *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*. Para ello se efectúan los siguientes pasos:
 - Crear un almacén *ACCESS* nuevo con plantilla *normal.mdt*. Este almacén guardará los datos de las ortofotos.
 - Insertar imagen interactiva. Mediante esta opción de menú se inserta la imagen en la ventana de mapa, pero no está correctamente referenciada.
 - Registrar la imagen. El objetivo del registro es asociar los cuatro puntos que delimitan la imagen, con los puntos reales (los que se encuentran en la Tabla 9). Este proceso está descrito en [76].

Es importante resaltar que las dos ortofotos han de coincidir perfectamente; sino, es que los cálculos no han sido los correctos. Es posible que se solapen (como se observa en la figura siguiente, dónde se ven las dos líneas que marcan el límite de cada foto), pero igualmente deben coincidir. Se muestra en la Figura 29 cómo encajan las dos fotos a pequeña escala, observándose dos finas líneas que son los límites de cada una de las ortofotos, que se solapan:



Figura 29. Coincidencia de las dos ortofotos del prototipo.

Se indica a continuación en la Tabla 10, el rango de visualización para las dos entidades *raster* creadas (las ortofotos):

Clase de entidad	Rango
Bcn_f289125	1: 10.000.000
Bcn_f289126	1: 10.000.000

Tabla 10. Definición de rangos de visualización para las entidades raster.

Hasta el momento se tienen entidades provenientes del exterior, en concreto del ICC. Pero sólo con ellas no es posible resolver el problema de la agencia, se necesitan entidades expresamente creadas, que se denominarán en adelante entidades de negocio. A continuación se muestra su diseño.

6.2.4 Modelo de datos de negocio

En este apartado se efectúa el diseño de las entidades de negocio. Estas entidades están directamente relacionadas con los requerimientos y las funcionalidades que debe soportar el prototipo.

En la Figura 30 se muestra el diagrama *UML*¹ con las entidades creadas, además de otras que formarían parte de una solución ampliada. Es decir, no todas esas entidades se han implementado en el prototipo, solamente las que no están sombreadas. La justificación es que este mismo esquema serviría para desarrollar una solución más amplia. Los comentarios a las posibles ampliaciones se llevan a cabo en el apartado 8.1.

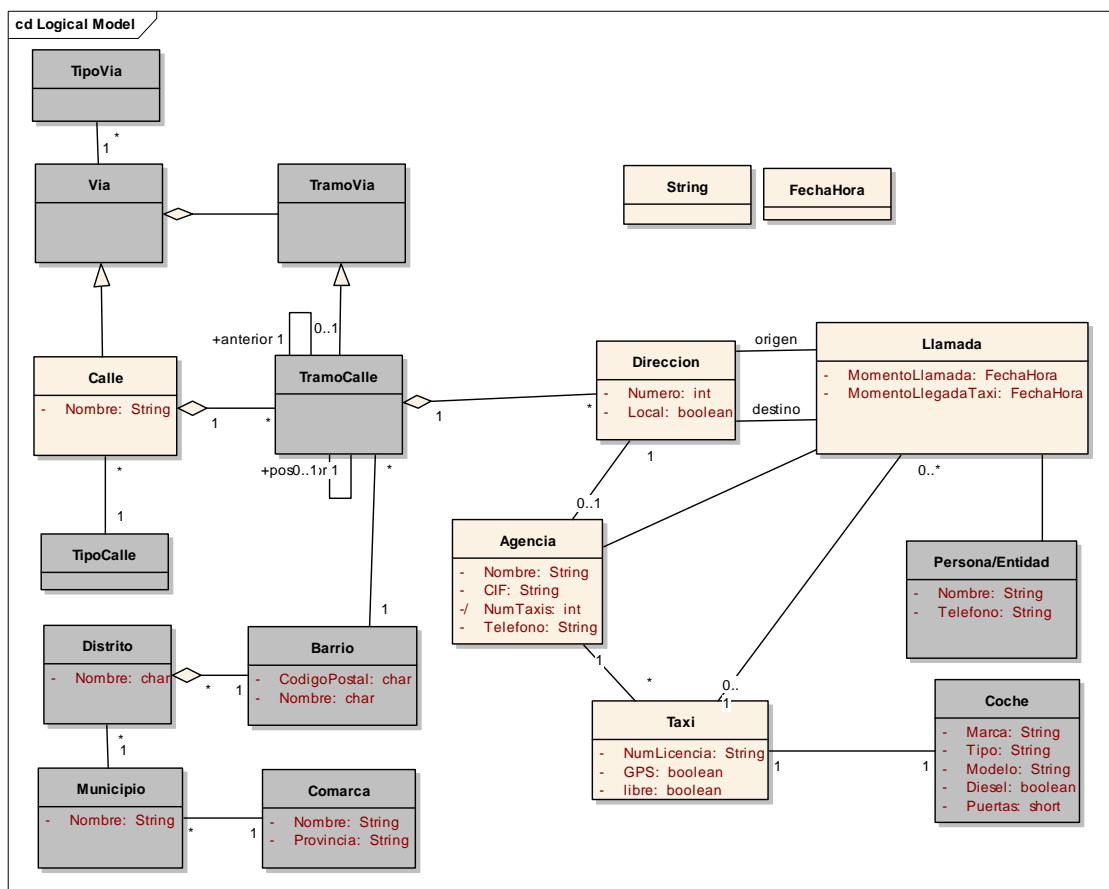


Figura 30. Diagrama estático UML .

En la Tabla 11 se indican las características de las entidades del modelo de datos creado, excluyendo las entidades externas explicadas en el apartado 6.2.3. :

Nombre:	Calle
Descripción:	Es la entidad a lo largo de la cual los taxis se desplazan y recogen en una dirección concreta a las personas que han efectuado llamadas a la agencia. También se usa como dirección destino de un trayecto.

¹ Unified Modeling Language (Lenguaje Unificado de Modelado)

Geometría	Línea	
Atributos:	Nombre	Descripción
	Id	Identificador interno de la calle
	Nombre	Nombre de la calle
	TipoCalle	Avenida, Calle, Rambla, etc.
Nombre:	Dirección	
Descripción:	Es la entidad que representa una dirección física.	
Geometría	Punto	
Atributos:	Nombre	Descripción
	Id	Identificador interno
	IdCalle	Referencia a la calle en la que se encuentra
	Numero	Número de la calle
	Tipo	Indica si es un local o no.
Nombre:	Llamada	
Descripción:	Es la entidad que representa una llamada de un cliente.	
Geometría	Punto	
Atributos:	Nombre	Descripción
	Id	Identificador interno .
	NombrePersona	Nombre del cliente.
	TelPersona	Teléfono del cliente.
	MomentoLlamada	Fecha y hora de la llamada.
	MomentoLlegadaTaxi	Fecha y hora en las que se espera el taxi.
	NumCalle	Numero de calle asociado a la llamada (origen).
	IdDireccion	Referencia a la dirección asociada a la llamada (origen). Con la calle y el número sería suficiente. Soporte a la implementación.
	NombreCalle	Nombre de la calle origen.
	NumCalleDestino	Numero de calle asociado a la llamada (destino).
	NombreCalleDestino	Nombre de la calle destino.
	IdDireccionDestino	Referencia a la dirección destino. Con la calle y el número sería suficiente. Soporte a la implementación.
	IdTaxi	Taxi que recoge al cliente (puede estar vacío si la llamada está pendiente).
	Estado	Estado de la llamada. Los posibles estados son: <i>Pendiente de recogida</i> y <i>Con taxi asignado</i> (las llamadas realizadas se eliminan del sistema).
Nombre:	DestinoLlamada	
Descripción:	Es una entidad exclusivamente visual, creada para indicar el destino de una llamada.	
Geometría	Punto	
Atributos:	Nombre	Descripción
	Id	Identificador interno.
	IdDirección	La dirección asociada.
Nombre:	Taxi	
Descripción:	Entidad que representa el taxi físico que trabaja para la agencia.	
Geometría	Punto	
Atributos:	Nombre	Descripción
	Id	Identificador interno
	numLicencia	Número de licencia
	GPS	Si lleva GPS o no
	Carburante	Si es coche es diésel o gasolina
	Libre	El estado en que se encuentra (<i>Libre, Ocupado, Con llamada asignada</i>)
Nombre:	Agencia	
Descripción:	Entidad que representa la agencia física.	

Geometría	Punto	
Atributos:	Nombre	Descripción
	Id	Identificador interno
	Nombre	Nombre de la agencia
	Telefono	Teléfono de la agencia
	numTaxis	Número de taxis que la agencia controla (calculable)

Tabla 11. Atributos de las entidades del modelo de datos de negocio.

A continuación se indican las decisiones efectuadas en el diseño de las entidades:

- Como se ha indicado anteriormente, las entidades que forman parte del prototipo son las que no están sombreadas en la Figura 30. En el apartado 8.1 se incide en las posibilidades de ampliación del prototipo en relación a las entidades sombreadas. En este punto se indica la justificación para no implementar esas entidades en el sistema implementado:
 - La entidad *TramoCalle* no se ha considerado necesaria. Se considera que no está implicada en ninguna funcionalidad a ofrecer por el sistema, y que su inclusión (que además implicaría mayor complicación en otras cuestiones relacionadas), supera la complejidad inicial de la parte práctica.

Un ejemplo que sí la haría necesaria, sería el considerar el tráfico de la ciudad de cara a efectuar un servicio por parte de un taxi. Es decir, suponiendo que para una llamada se asignara un taxi geográficamente más lejano, pero más cercano teniendo en cuenta el tráfico que le separa al cliente. En casos de este tipo estaría justificado.
 - Las entidades *TramoVia*, *Via* y *TipoVia* son una posible generalización de las entidades *TramoCalle*, *Calle* y *TipoCalle*. Dado que el prototipo se circunscribe a una ciudad, no son necesarias.
 - Los atributos de la entidad *Coche* que interesan se incluyen en la entidad *Taxi*, por lo que no es necesaria.
 - Los atributos de la entidad *Persona* que interesan se incluyen en la entidad *Llamada*, por lo que no es necesaria. Además, no es corriente guardar los datos de los clientes, a no ser que se trate de empresas y servicios con tiquets numerados, o un sistema similar.
 - La entidad *TipoCalle* no se incluye, ya que en la propia entidad *Calle* se incluye su tipo.
 - Las entidades *Barrio* y *Distrito* sólo tienen sentido si se incluyera la entidad *TramoCalle*, por lo que tampoco se incluyen. Una calle estaría asociada a más de un tipo, pero no un tramo, que estaría ligado a un solo barrio.
 - Las entidades *Municipio* y *Comarca* no se incluyen como entidades pertenecientes al modelo creado si bien, como se ha visto en el apartado 6.2.3.1, tienen un papel que jugar como entidades provenientes de entidades externas. Se indican simplemente para mostrar el punto de unión con las entidades del modelo de datos de negocio.
- La unidad mínima de ubicación para la agencia en el sistema es la entidad *Direccion*. Es decir, no es posible ubicar un taxi entre dos direcciones, ni tampoco una llamada.
- El sistema no guarda atributos propios de persona, más que los estrictamente necesarios para efectuar el servicio (en la entidad *Llamada*).
- La entidad *Calle* no tiene atributo *sentido*, sólo *direccion* (en el fondo, *geometría*).
- Se han incluido en las entidades atributos que no tienen otro objetivo que completar la definición de las mismas, ya que no son requeridos en ningún momento de cara a la funcionalidad del sistema (como por ejemplo el tipo de combustible de un *Taxi*).
- La clase de entidad *Agencia* está pensada para tener una sola instancia en el sistema.

En la Figura 31 se muestran imágenes relativas a la creación de las entidades en el prototipo. En la parte superior izquierda se observan las entidades creadas, mientras que en la superior derecha e inferior aparecen los atributos de las entidades *Direccion* y *Taxi*, respectivamente.



Figura 31. Composición de imágenes en la creación de entidades (Direccion y Taxi).

A continuación, en la Tabla 12 se muestran los estilos usados para las entidades de negocio:



Clase de entidad	Rango	Estilo
Agencia	1: 2.000.000	 Imagen divertida de un edificio
Dirección	1: 2.000.000	Círculo verde de tamaño 4.
Llamada	1: 2.000.000	Imagen de un teléfono. Los estados de una llamada son:  (nueva llamada)  (llamada con taxi asignado).
DestinoLlamada	1: 2.000.000	 Flecha azul indicando el centro (que será una dirección).
Taxi	1: 2.000.000	Imagen de un taxi ¹ . Los estados de un taxi son:  (libre)  (ocupado)  (asignado a llamada).
Calle	1: 2.000.000	Línea de color amarillo de grosor 1, 25.

Tabla 12. Definición de rangos de visualización para las entidades del modelo de negocio.

Una vez diseñadas y creadas las entidades de negocio, en el apartado siguiente pasan a digitalizarse, es decir, se crean sus instancias y se sitúan geográficamente con las características indicadas anteriormente, con ayuda de las ortofotos explicadas en el apartado 6.2.3.2.

6.2.5 Digitalización de las entidades de negocio

¹ Por una cuestión de implementación, algunos campos *booleanos* se han implementado como numéricos. La razón es que *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* sólo permite estilos temáticos para atributos numéricos..

Las entidades del modelo de negocio apuntado en el apartado anterior no se han obtenido de ningún recurso externo. Es decir, no se dispone de imágenes de la ciudad en formato vectorial que incluyan calles, direcciones, o edificios.

La alternativa ha sido digitalizar las entidades del modelo (ver apartado 6.2.4). Para ello, se han aprovechado las imágenes *raster* ya incluidas en el prototipo, y se han utilizado las herramientas que *GEOMEDIA PROFESIONAL 6.0* ofrece, como *SmartSnap* (ver apartado 5.3.4).

Se han tomado las siguientes decisiones en la digitalización:

- Se ha efectuado la digitalización parcial de una zona de Barcelona situada en el sector comprendido entre Diagonal/Roger de Llúria/Muntaner/Plaza Cataluña, si bien hay otras calles características de la ciudad que también se han incluido para dar una mayor amplitud sin mantener la densidad existente en la zona central de la digitalización.

La justificación de esta decisión tiene que ver con el hecho de que se ha querido que la zona del *Eixample* sea parte central de la simulación por su claridad y facilidad de visualización.

- La agencia es una entidad única y está situada en Plaza Cataluña.
- Se ha efectuado una digitalización parcial de direcciones. Todas las calles digitalizadas contienen direcciones (entidad *Direccion*), pero no todas las reales, siendo una aproximación a la realidad para no aumentar innecesariamente la densidad.
- En el caso de manzanas típicas del *Eixample*, cada tramo de calle contiene como mínimo una dirección real (existentes en ese tramo del plano real de la ciudad [77]) de manera regular, mientras otras calles con geometría diferente, el número de direcciones puede ser distinto, siendo siempre las direcciones reales.
- Se considera que las calles tienen sentido indeterminado, es decir, no se consideran números pares o impares, sino simplemente números. Una dirección se determina mediante la calle y el número.

Para ser más realista, se podría considerar una entidad "CalleFísica" asociada a calle, aplicable en casos como el de Ramblas, cada una con sus números (pares o impares) y/o también digitalizar cada calle dos veces, de tal forma que se puedan incluir también las dos series de números. En cualquier caso, esta es una cuestión que no se considera importante para el trabajo, por lo que se descartan estas opciones y se asume lo explicado anteriormente.

En la Figura 32 se muestra el aspecto de las entidades de negocio digitalizadas sobre las ortofotos y con un fragmento de la leyenda a la derecha. Se pueden observar instancias de todas las clases de entidad del modelo de negocio: una instancia de agencia (rodeada con un círculo rojo), tres de taxis (una fuera de la ortofoto y dos más dentro que se marcan también en rojo), más de doscientas direcciones (sobre las calles), más de veinte calles y una llamada (en la prolongación de la calle de la agencia, igualmente marcada con un círculo).

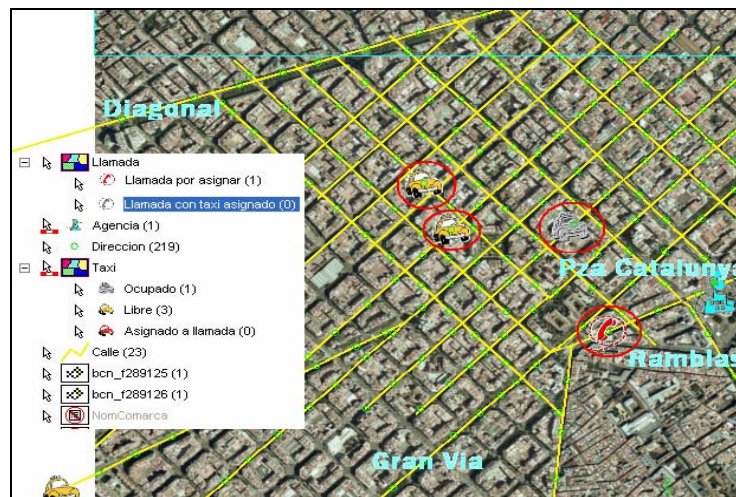


Figura 32. Aspecto de la digitalización de las entidades sobre las ortofotos.

La primera entidad digitalizada han sido las calles. Eso ha permitido crear una malla en el territorio que interesa. Posteriormente se han incluido las demás. Cabe decir que las direcciones se han insertado *tocando* las calles. Esto no tendría porqué ser así, pero tiene su importancia, ya que eso condiciona los tipos de consultas espaciales que se pudieran llevar a cabo (ver apartado 5.3.6.).

En la Figura 33 se muestra un momento de una inserción de entidad *Calle*. Se observa que en la parte superior derecha hay una línea azul, que representa la calle que se insertaría (mediante "Insertar Entidad").

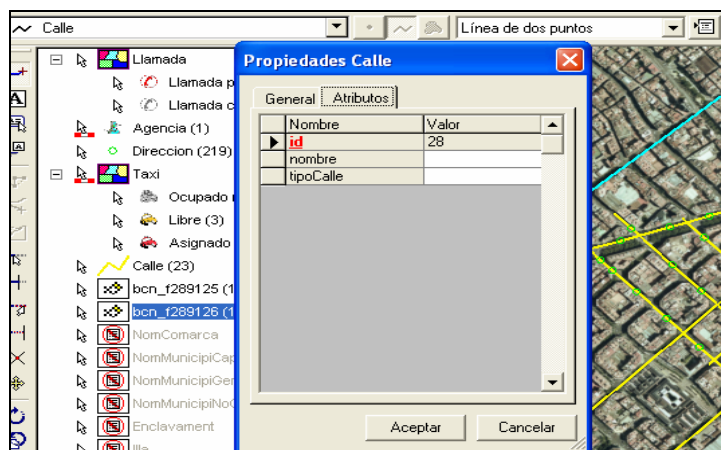


Figura 33. Momento de la digitalización de una calle.

Para terminar este apartado, se muestra en la Figura 34 la digitalización efectuada que aparecía en la Figura 34, pero sin las ortofotos. Esta imagen resulta esclarecedora de lo que la digitalización significa: la creación de las entidades representantes de un modelo real, en este caso el modelo de negocio descrito en el apartado 6.2.4 y que es una simplificación de la realidad.

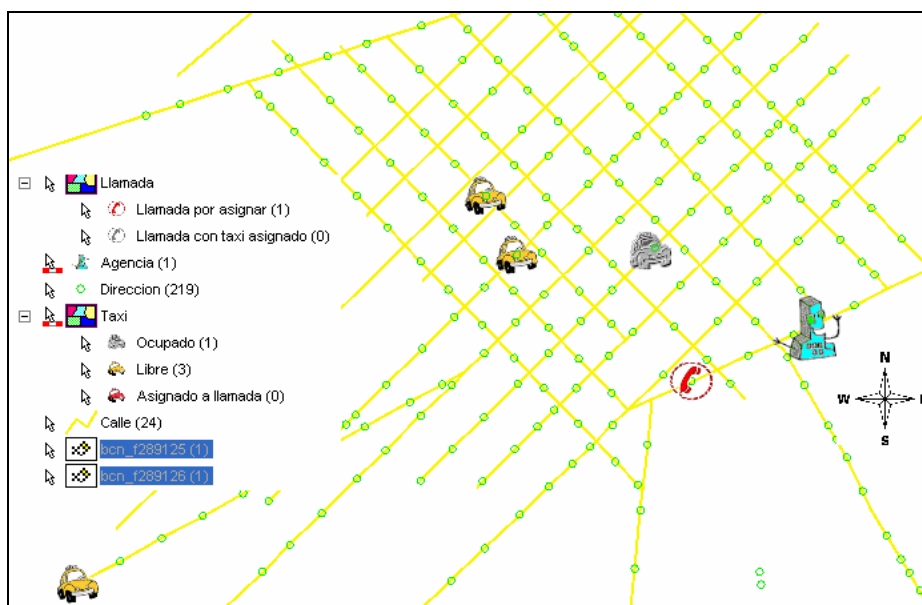


Figura 34. Vista de la digitalización sin ortofotos.

Hasta aquí se ha explicado el modelo de datos del prototipo. Se han incluido entidades de negocio creadas expresamente para el trabajo y otras entidades externas que ayudan en el posicionamiento geográfico.

En el capítulo siguiente se resolverá la implementación de las funcionalidades específicas requeridas y que tienen un reflejo en el mundo real: situar llamadas de clientes y taxis, elegir taxi para una llamada y la simulación de tramas *GPS* que identifican cada taxi en la ciudad.

Capítulo 7

Implementación de comandos

En el capítulo anterior se ha establecido el modelo de datos del SIG de la agencia de taxis. Ello supone la infraestructura necesaria para representar y mantener el sistema. Se han utilizado entidades externas, y se han creado otras mediante el proceso de digitalización comentado en el punto 6.2.5.

En el presente capítulo se efectúa la implementación de funciones mediante comandos. Los requerimientos y el alcance de los mismos se exponen en el apartado 7.1.

En el apartado 7.2 se efectúa el análisis de las funcionalidades a implementar, indicando en el punto 7.2.1 los actores participantes en las mismas y en el apartado 7.2.2 los casos de uso que definen su comportamiento.

Seguidamente, en el apartado 7.3, se indican aspectos del entorno de desarrollo y, en concreto, de la creación e integración de comandos en *GEOMEDIA PROFESIONAL 6.0* (apartado 7.3.1).

Finalmente, en el punto 7.4 se efectúa el diseño y la implementación de los comandos. En 7.4.1 se indican aspectos de la implementación de carácter general, mientras que en los apartados 7.4.2 a 7.4.4 se muestra la implementación de cada uno de los comandos. Se indica de manera formal el algoritmo para su resolución, sus interfaces o pantallas si los tiene, y su funcionamiento detallado.

7.1 Requerimientos y alcance

A continuación se enumeran los requerimientos que se han considerado de cara a la implementación de los comandos, así como su alcance.

- Los comandos implementados son 3: *Situar Llamada*, *Localizar Taxi Más Cercano* y *Simular Agencia*.
- El comando *Simular Agencia* implementa todas las funcionalidades requeridas. Incluye la funcionalidad de los comandos *Situar Llamada*, *Localizar Taxi Más Cercano*, además de las funcionalidades restantes: *Simulación Tramas GPS* y *Situar Taxis*.
- La situación de una llamada se refiere al lugar de recogida del cliente por parte del taxi.
- Se asume que el momento de la llamada es el momento en que se pide el taxi (no tendría que ser así).
- Se asume que las direcciones son siempre de un mismo municipio, en particular de la ciudad de Barcelona, donde se ha construido el prototipo de la agencia.
- *Agencia* es una clase de entidad de instancia única y está creada de manera estática.
- Un taxi que no se encuentre en estado *libre* no será considerado como "taxi más cercano".
- En el cálculo de la distancia entre el taxi y la llamada, al localizar el taxi más cercano, se considera la distancia euclidiana.
- Los estilos usados desde los comandos, al referirse a la misma entidad, serán los mismos que los que se usan dentro del entorno de *GEOMEDIA PROFESIONAL 6.0*.
- La digitalización de direcciones es real aunque incompleta. Las calles y direcciones que aparecen son reales, pero dada la condición de prototipo del sistema, no contiene todas.
- Una llamada realizada se elimina del sistema. No se gestiona un estado "Llamada realizada".

Respecto del comando *Simular Agencia*, que reúne todas las funcionalidades:

- Se consideran 3 taxis y 3 llamadas a realizar en la simulación.
- Las llamadas se sitúan en 3 direcciones concretas conocidas y el destino de las mismas también lo son. Esto es así para disminuir la complejidad de la simulación, ya que el dejar que la llamada se produzca en cualquier lugar supone prever cualquier itinerario en el sistema, algo que se considera demasiado complejo para el tiempo del que se dispone.
- Se definen en la simulación tres zonas: "zona Diagonal", "zona Roma" y "zona Cataluña". En la cada una de ellas se mueve un taxi y se puede producir una llamada. El taxi de cada zona debe servir la llamada que se pueda producir en su zona.
- Los itinerarios de los taxis están prefijados, sea cuál sea el estado del mismo. Se consideran tres tipos de itinerario:
 - *Inicial (circular)*. Usado por los taxis cuando están libres inicialmente.
 - *Hacia la llamada*. El que sigue un taxi en estado *asignado a llamada*.
 - *Hacia destino*. El que sigue un taxi en estado *ocupado*.
- Al llegar a destino los taxis se detienen y quedan en estado *libre*.
- Las tramas *GPS* no son reales, pero la latitud y longitud que contienen son las correspondientes a las direcciones reales en el *geoworkspace*.
- Las tramas *GPS* no tienen el formato real explicado en el punto 4.3, ni se tratan de una manera real. La simulación muestra el formato de una trama *GPS* posible. La parte que interesa es la latitud y longitud de la posición del taxi, recibida por el receptor desde los satélites.

La trama *GPS* usada tiene el formato siguiente:

```
$GPRMC,040302.663,A,3939.7,N,10506.6,E,0.27,358.86,200804,,*1A
```

El formato de esta trama sigue un estándar muy usado en los dispositivos *GPS*, el *NMEA*[83] . No es objetivo de este trabajo profundizar más en el el formato de los datos *GPS*, pero se comenta brevemente con el objetivo de identificar los campos que interesan. Los atributos marcados en negrita, que son los que interesan, son:

- *\$GPRMC*. **Identifica** la trama. Existen varias tramas diferentes en *NMEA* (*GPZDA*, *TEST*, etc.). Ésta se llama *Recommended Minimum Frame* ("mínimo recomendado"), y ha sido escogida porque contiene la longitud y la latitud del receptor, que es lo que interesa.
- *3939.7,N*. **Latitud** de la posición (en este trabajo es latitud norte, ver 3.1.1). El formato es horas y minutos: 39°39.7° (39 horas y 39.7 minutos). De cara a mostrarlas en la simulación, se han añadido los segundos, para que sea fácilmente comparable con la información geográfica del punto correspondiente en *GEOMEDIA PROFESSIONAL*.
- *10506.6,E*. **Longitud** de la posición (dirección este). En este caso quiere decir 105°06.6°.

El resto de campos tiene que ver con cuestiones como variación magnética, velocidad, reloj de satélite, etc. y no interesan de cara al presente trabajo.

- Las tramas se generan en la simulación cada segundo.
- Se genera una sola trama, en lugar de cuatro. No se considera interesante para la simulación efectuar cálculos de latitud y longitud en base a tramas recibidas de distintos satélites cuando la entidad *Satellite* no se trata en el presente trabajo.
- Los taxis de la simulación llevan consigo un receptor *GPS* que recibe las tramas.
- Una vez el receptor extrae la posición de la trama recibida, envía su posición a la agencia vía *GPRS*¹. No es objetivo de este trabajo comentar la tecnología *GPRS* [84][83].

¹ *General Packet Radio Service*. Tecnología digital de conmutación de paquetes de telefonía móvil situado entre la segunda (*GSM*) y la tercera (*UMTS*) generación, y que proporciona alta velocidad de transferencia de datos.

- Los itinerarios que siguen los taxis están predefinidos, tanto en su estado *libre*, como en *asignado a llamada* u *ocupado*.
- El comando parte de una configuración inicial: elimina las entidades existentes y crea los tres taxis al comenzar.

Una vez establecidos los requerimientos básicos del sistema, se efectúa el análisis de la solución.

7.2 Análisis

A continuación, en el punto 7.2.1, se indican los actores que intervienen en el sistema, y en el punto 7.2.2 se muestran los casos de uso, que coinciden con los cuatro comandos a implementar.

7.2.1 Actores

Los actores que intervienen son:

- **Agencia.** La entidad que recibe las llamadas de personas o entidades (al fin y al cabo, clientes) que necesitan un taxi
- **Taxi.** El vehículo enviado por la agencia y que reclama el usuario.
- **Cliente.** La persona o entidad que necesita el taxi.
- **Satélite.** Envían la señal *GPS* al receptor ubicado en los taxis.

Se muestran seguidamente los casos de uso del sistema.

7.2.2 Casos de uso

Para cada caso de uso se indican las siguientes características:

- *Descripción.* Se efectúa una descripción indicando qué ocurre en el caso de uso.
- *Actores.* Se indican los actores que intervienen en el mismo.
- *Precondiciones.* Se indican las condiciones previas a cumplir.
- *Errores.* Se apuntan los errores que se pueden producir.
- *Entradas.* Se indican las entradas o parámetros del caso de uso.
- *Salidas.* Se indica cuáles son las salidas o resultados.
- *Pasos.* Finalmente, se enumeran los pasos a seguir para completarlo.

Se inicia la muestra de los casos de uso en el apartado siguiente con la recogida de una llamada.

7.2.2.1. Caso de uso 1. Recoger una llamada y situarla en el SIG

Descripción. Un cliente necesita un taxi y para ello efectúa una llamada a la centralita de la agencia. La agencia recoge los datos necesarios, en particular la dirección donde se debe enviar el taxi y registra la llamada. El sistema sitúa la llamada.

Actores. Cliente, Agencia

Precondiciones.

Errores. Dirección de envío no es correcta.

Entradas. Mínimos datos del cliente. Dirección de la llamada.

Salidas. Ubicación geográfica de la llamada.

Pasos.

1. El cliente efectúa una llamada.
2. La centralita de la agencia recoge los datos:
 - a. Nombre del cliente
 - b. Teléfono del cliente
 - c. Fecha/Hora de llegada
 - d. Dirección origen y destino de la llamada
 - i. Nombre de la calle
 - ii. Número de la calle
3. El sistema muestra la posición de la llamada.

Se muestra a continuación el caso de uso relativo a la selección del taxi más cercano a una llamada.

7.2.2.2. Caso de uso 2. Seleccionar taxi más cercano a una llamada

Descripción. A partir de una llamada, se busca un taxi libre en el sistema que sea el que está a una menor distancia de la misma

Actores. Taxi, Agencia

Precondiciones. La llamada está localizada.

Errores. La llamada no existe. No hay taxis libres.

Entradas. La llamada

Salidas. El taxi más cercano a la llamada

Pasos.

1. La agencia selecciona una llamada, eventualmente la última que se hubiere producido.
2. Búsqueda del taxi libre más cercano a la llamada.
3. Se muestra el taxi libre más cercano.

Se muestra a continuación el caso de uso relativo a la simulación de tramas *GPS*.

7.2.2.3. Caso de uso 3. Simular tramas GPS

Descripción. Los taxis de la simulación se mueven en itinerarios circulares. Cada segundo, el taxi recibe una trama *GPS* en su receptor que le indica su situación. La trama se muestra en una parrilla en pantalla, acumulándose una tras otra. Las longitudes y las latitudes reales de cada posición por donde pasa el taxi aparecen en la trama. Esta posición se envía a la *Agencia*, que, de esta manera, puede situar el taxi en un mapa.

Actores. Taxi, Satélite, Agencia.

Precondiciones. Direcciones y calles creadas en el *geoworkspace*.

Errores. No aplica ya que no se efectúan cálculos matemáticos reales.

Entradas. No aplica.

Salidas. Se muestra una parrilla en la que se van acumulando las tramas *GPS*.

Pasos.

1. Se muestra en la ventana de mapa la configuración inicial de la simulación con los tres taxis en sus itinerarios circulares iniciales.
2. Cada segundo se genera una trama *GPS*, que simula las 4 tramas que recibiría un receptor real de cuatro satélites diferentes. La latitud y longitud que aparecen en la trama es la que se corresponde de manera real con la situación del taxi en la ventana de mapa.
3. Se extrae la posición (latitud y longitud) y se envía a la *Agencia* por *GPRS*.

Por último, se muestra a continuación el caso de uso relativo a situar taxis.

7.2.2.4. Caso de uso 4. Situar taxis

Descripción. La agencia recibe por *GPRS* la posición de los taxis, que inicialmente se mueven en los itinerarios circulares. En el monitor va apareciendo la dirección por donde el taxi va pasando, en formato de texto (calle y número). En cualquier momento un cliente puede efectuar una llamada. El sistema controla que sea una de las tres posibles llamadas prefijadas para la simulación. La funcionalidad relativa a situar una llamada ha sido ya explicada en el caso de uso del punto 7.2.2.1. Una vez que hay alguna llamada en el sistema, tiene sentido buscar el taxi más cercano para que lleve a cabo el servicio (esta funcionalidad ha sido comentada en el apartado 7.2.2.2). Una vez escogido el taxi más cercano, éste cambia de estado (de *libre* a *asignado a llamada*) y se dirige a la llamada. Al llegar a la dirección de la misma, el taxi cambia de estado (de *asignado a llamada* a *ocupado*) y se dirige a destino. La llamada también cambia de estado (de *pendiente* a *con taxi asignado*). El sistema marca la dirección destino a la que el taxi se dirige. Una vez que llega (el servicio se completa), el taxi pasa de nuevo a estado *libre* y se queda inmóvil en la simulación.

Actores. Agencia, Taxi, Cliente.

Precondiciones. Direcciones y calles creadas en el *geoworkspace*.

Errores. El taxi más cercano no es el de la zona de la llamada.

Entradas. No aplica.

Salidas.

Pasos.

1. Se muestra en la ventana de mapa la configuración inicial de la simulación con los tres taxis en sus itinerarios circulares iniciales.
2. El sistema queda a la espera de que se produzcan llamadas, recibiendo además comunicaciones por *GPRS* de los tres taxis que le informan de su posición, de manera que la agencia puede monitorizar tanto su posición como su estado.

El sistema queda a la espera de que se produzca alguno de estos eventos:

3. Se produce una llamada.
 - i. El sistema obliga a que sea una de las predefinidas:
 - a. Av. Diagonal, 453
 - b. Av. Roma, 27
 - c. C. Roger de Llúria, 23
 - ii. Si es correcta, se crea la llamada y se visualiza en la ventana de mapa en estado pendiente.
 - iii. El sistema queda a la espera de nuevo.
4. Asignación de taxi más cercano. El operador de la agencia, ante la existencia de llamadas, asigna un taxi a alguna de ellas.
 - i. Si el taxi más cercano no es el de la zona se produce un error. Debe ser el taxi de la zona correspondiente el que haga el servicio.
 - ii. El taxi cambia de estado y se dirige a la dirección de la llamada. Sigue el itinerario prefijado hasta que sale de él en un punto y va directo a la llamada.
 - iii. Al llegar al taxi a la llamada, cambia de estado. Cambia de estado también la llamada. Esta situación es la que se produce cuando el cliente es recogido por el taxi. En el monitor de la agencia se observa que el estado del taxi varía. También el sistema reconoce la dirección destino y la muestra en la ventana de mapa.
 - iv. El taxi se dirige a destino en estado *ocupado*.
 - v. Al llegar a destino, se para y vuelve al estado *libre*.

Una vez vistos los casos de uso, se comentan a continuación aspectos relativos al desarrollo de los comandos.

7.3 Entorno de desarrollo

El entorno de desarrollo consta de los siguientes componentes:

- *MS VISUAL BASIC 6*
- *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*
- *MS ACCESS*

El lenguaje de programación viene impuesto, aunque es posible realizar comandos con otros lenguajes, como *MS VISUAL C++*. Sin embargo, la bibliografía en *MS VISUAL BASIC* es más numerosa. Para ver ejemplos de creación de comandos con *MS VISUAL C++* se puede consultar [78].

La primera cuestión a resolver para efectuar la implementación de comandos es el proceso de creación de los mismos en el entorno *MS VISUAL BASIC*, así como su integración con *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*. En el apartado siguiente se indican los pasos principales para ello.

7.3.1 Creación de comandos e integración

Los pasos para crear comandos están explicados en [79], y es necesario conocer mínimamente el interfaz de *MS VISUAL BASIC* [80]. Estos pasos se resumen en:

- Añadir el complemento para *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*. En la Figura 35 aparece marcada la opción y el estado final, en la parte superior izquierda.
- Seleccionar la opción del *Administrador de comandos*, como se ve en la parte superior derecha de la Figura 35. El asistente de creación de comandos guía el resto del proceso. La imagen del asistente se observa en la parte inferior de la misma figura.

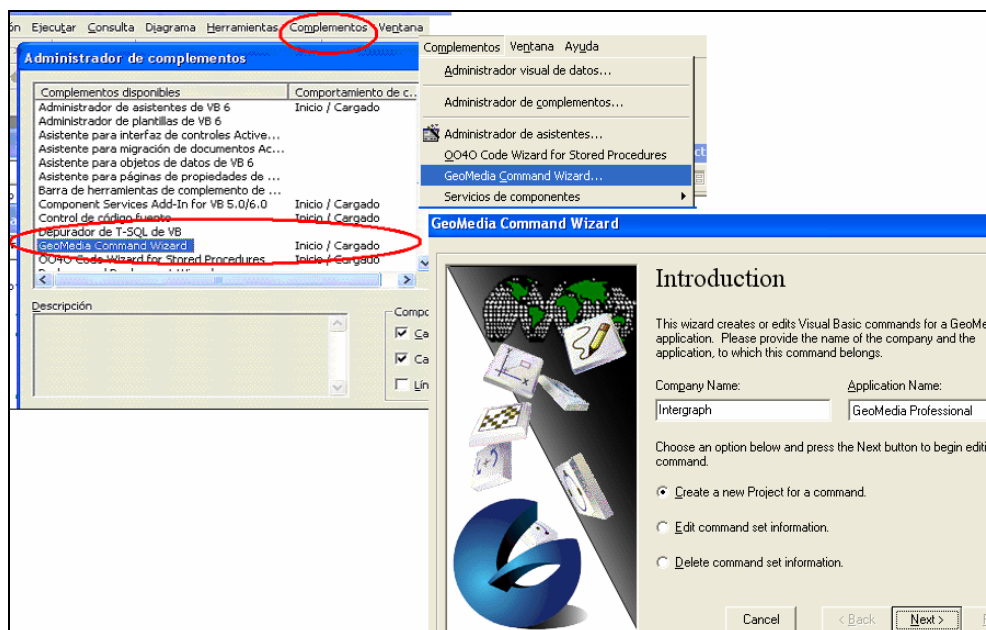


Figura 35. Administrador de comandos e inicio de creación de un comando.

- Ejecutar el asistente (crear el comando). No se profundiza en este punto, pero sí decir que los comandos se han creado con las características siguientes:
 - Son **modales**. Los formularios existentes son modales, es decir, tienen el foco del sistema operativo mientras se está ejecutando.
 - Se han asignado **imágenes (bitmaps)**. Para ejecutar los comandos dentro de *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*, se puede usar una barra de herramientas, como se

comenta más adelante. Las imágenes a mostrar se indican en el asistente. El resultado se puede observar en la Figura 36, imágenes (c) y (d)

- o No se han establecido **condiciones de activación**. Las condiciones de activación son condiciones predefinidas que aparecen en el asistente, y que indican cuándo los comandos estarán habilitados o deshabilitados. Por ejemplo, probablemente interesaría desactivarlos si la ventana de mapa no está activa. Este tipo de cuestiones no se ha incluido ya que no se considera importante para el trabajo.
- Desarrollar el comando. La ayuda para el desarrollo de *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* [81][82] es realmente útil, con muchos ejemplos. En la Figura 36, en la imagen (a), se ve la ventana de proyecto en *MS VISUAL BASIC*, en el proceso de desarrollo.
- Empaquetar el comando. En este caso simplemente supone generar una *dll* que será llamada por *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*. En la imagen (b) de la Figura 36 se muestra la opción.
- Registrar el comando. *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0* debe poder acceder a la *dll* que implementa el comando. Ello se consigue registrándola. El proceso de registro y desregistro de la *dll* se efectúa mediante las siguientes llamadas:

Registrar comando:

```
InstallAppCmd /cmdset SituarLlamada /loc C:\_UOC\_SEM\PFC\pac3\gm6\vb\SituarLlamada  
/dll C:\_UOC\_SEM\PFC\pac3\gm6\vb\SituarLlamada\bin
```

Desregistrar comando:

```
InstallAppCmd /u /cmdset SituarLlamada /loc C:\_UOC\_SEM\PFC\pac3\gm6\SituarLlamada  
/dll C:\_UOC\_SEM\PFC\pac3\gm6\SituarLlamada\bin
```

- o *InstallAppCmd* es un *script* proporcionado por *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*.
- o */cmdset <nombre_comando>*. Indica el nombre del comando.
- o */loc <localizacion_xml>*. Indica la localización de los ficheros XML [79].
- o */dll <localizacion_dll>*. Indica la localización de la *dll*.
- o */u*. Indica una operación de desregistro de una *dll*.

- Integrar en *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*. Una vez la *dll* existe y está correctamente registrada, es posible crear un botón en una barra de herramientas o una opción de menú (o ambas), para que estén disponibles en *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*. Se ha escogido la primera opción. En la Figura 36, imagen (c), se observa como aparece disponible el comando. En la imagen (d) aparece a la izquierda el botón de acceso al mismo.

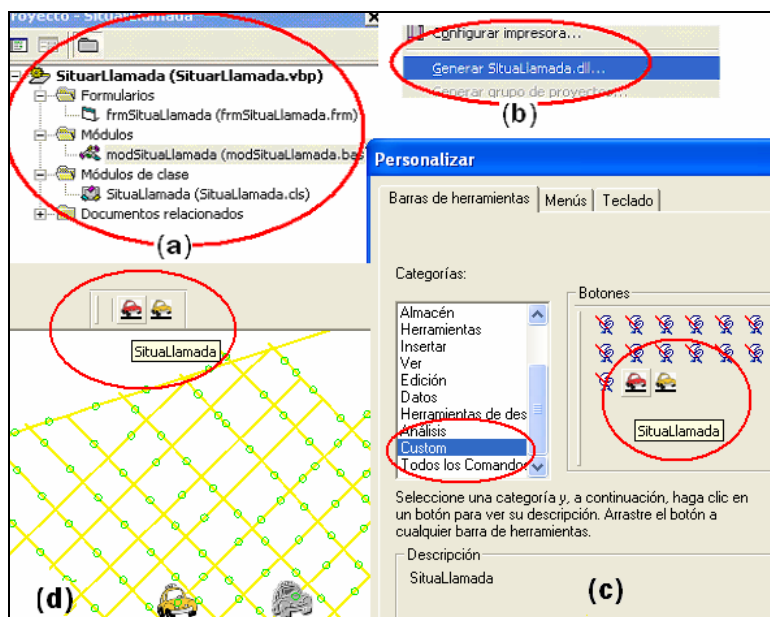


Figura 36. Composición de imágenes en el proceso de creación de comandos. En (a) se ve la ventana de proyecto de MS VISUAL BASIC. En (b) se ve la opción de generación de la dll. En (c) se observa la ventana de personalización de las barras de herramientas en GEOMEDIA, en el momento de crear la opción. Por último, en (d), se observa la barra de herramientas una vez creada.

Una vez se ha explicado la creación e integración de los comandos en GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0, se comenta en el apartado siguiente la solución llevada a cabo para resolver los comandos.

7.4 Diseño e implementación

Respecto del diseño e implementación llevados a cabo, en el punto 7.4.1 se indican aspectos generales que afectan a todos los comandos.

En los apartados posteriores (del 7.4.2 hasta el 7.4.4), se desarrollan para cada uno de los comandos los puntos siguientes:

- Algoritmo. Se muestra el algoritmo a alto nivel que resuelve el comando.
- Interfaces. Se muestran la pantalla o pantallas (si existieran) del comando en cuestión.
- Funcionamiento. Se muestra el funcionamiento del comando.
- Código. Se muestra la parte de código *Visual Basic* más significativa. El código ya está lo suficientemente comentado y se ha aplicado formato para visualizarlo fácilmente.

7.4.1 Aspectos generales

Se indican a continuación características generales a las implementaciones de todos los comandos:

- La conexión de base de datos se accede de la siguiente manera:

```
gobjGeoApp.Document.Connections(AGENCIA_CONNECTION)
```

siendo *AGENCIA_CONNECTION* conocida, ya que es un atributo estático del *geoworkspace*.

```
Global Const AGENCIA_CONNECTION = 2
```

- Las ventanas de los comandos son modales.

A continuación se muestra la resolución de cada comando. En primer lugar el que sitúa una llamada.

7.4.2 Situar llamada

Como ya se ha comentado, se muestra en primer lugar el algoritmo de alto nivel del comando.

7.4.2.1. Algoritmo

```
cargaInicial() {
    establecerConexionConAlmacen();
        obtenerCalles();
        obtenerDirecciones();
        esperarEvento();
}
//Evento que desencadena el comando
//comprueba los parametros de entrada, guarda la llamada y recarga los datos del
almacen para mostrarla
eventoSituar(){
    comprobarParametros();
    guardarLlamada();
    recargarDatosAlmacen();
}
//Obtiene fecha actual de la llamada, la direccion asociada y su geometria, y crea la
llamada
```

```

guardarLlamada(nombrePersona, telPersona, idCalle, numCalle){
    momento = obtenerFechaActual();
    idDireccion = obtenerDireccion(idCalle, numCalle)
    geometriaLlamada = obtenerGeometriaDireccionAsociada(idDireccion);
    crearLlamada(nombrePersona, telPersona, geometriaLlamada, idDireccion,
momento);
}

```

Una vez visto el algoritmo, se muestra la única pantalla del comando y se comenta brevemente.

7.4.2.2. Interfaces

La pantalla del comando que sitúa una llamada es sencilla y se observa en la Figura 37:

Figura 37. Pantalla del comando "Situación una llamada".

Los campos que aparecen son:

- *Nombre*. El nombre del cliente que llama.
- *Teléfono*. El teléfono del cliente que llama.
- *Vía origen*. La calle origen de la recogida
- *Número origen*. El número origen de la calle.
- *Vía destino*. La calle destino de la recogida
- *Número destino*. El número destino de la calle.
- *Limpiar*. Inicializa los campos con los valores iniciales.
- *Situación llamada*. Efectúa la operación.

Una vez mostrado el interfaz, se muestra el funcionamiento del comando.

7.4.2.3. Funcionamiento

El funcionamiento de este comando es el siguiente:

- Se carga un cuadro de texto desplegable con las calles que están digitalizadas (y, por tanto, en base de datos), tanto para el origen como para el destino. En la Figura 38 se

observa esta situación. Se pueden ver las calles digitalizadas en el sistema, y el nombre y teléfono del cliente.

Figura 38. Formulario de recepción de una llamada.

- El usuario (la *Agencia* o un trabajador de la agencia) introduce los datos de la llamada para poder localizarla. En la Figura 39 se muestra un ejemplo de esta situación, mostrando parte de la ventana de mapa a la derecha, con la calle del formulario marcada en azul y, en la izquierda en la parte superior, parte de la leyenda.



Figura 39. Momento previo a situar la llamada. En azul aparece la calle del formulario, donde debe aparecer la llamada, en teoría.

- El usuario clicla al botón de *Situar Llamada*.
- La llamada se guarda en el sistema con la fecha actual y **con la geometría de la entidad *Dirección subyacente***. Este punto es importante: la entidad *Llamada* es creada por el comando; dado que además se sitúa en una de las direcciones digitalizadas del sistema, la nueva entidad creada debe contener exactamente la misma geometría que la dirección

("que la entidad *Dirección*") en la que está (una geometría de punto por cierto, como aparece indicado en el apartado 6.2.4 en la Tabla 11).

- La llamada aparece ubicada geográficamente en la ventana de mapa en rojo (su estado es "Nueva llamada" –no tiene taxi asignado–). Esta situación se muestra en la Figura 40. Se observa en la leyenda como ha aparecido una entrada con la llamada (con el estilo indicado en el apartado 6.2.4, Tabla 12), y en la ventana de mapa, abajo a la derecha aparece la llamada situada.

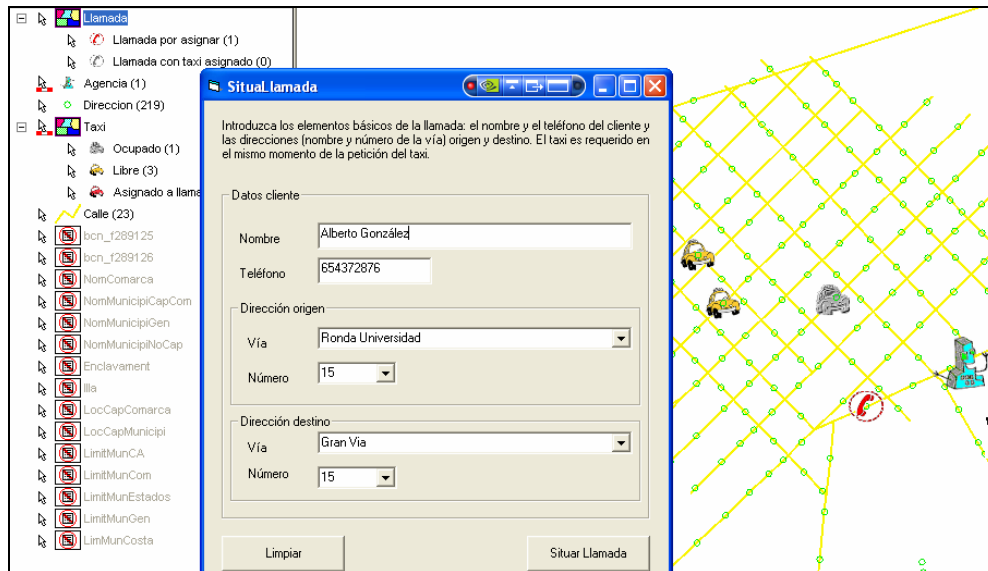


Figura 40. Llamada situada con diamante rojo en la calle correspondiente.

Una vez visto el funcionamiento, se muestra a continuación la parte del código más interesante.

7.4.2.4. Código

Se muestra a continuación parte del código más interesante, ya comentado.

```

Private Sub Form_Load()
    'conexion almacen
    Set objConn = gobjGeoApp.Document.Connections(AGENCIA_CONNECTION)
    'carga de datos inicial
    Call cargaCombosCalles
    Call cargaComboNumero
    Call cargaComboNumeroDestino
End Sub
'situa llamada
Private Sub Situar_Click()
    'comprobaciones
    If NombreCliente = "" Then
        MsgBox ("Nombre vacío.")
        NombreCliente.SetFocus
    ElseIf TelCliente = "" Then
        MsgBox ("Teléfono vacío.")
        TelCliente.SetFocus
    ElseIf Not IsNumeric(TelCliente) Then
        MsgBox ("Teléfono no es numérico.")
        TelCliente.SetFocus
    ElseIf Vias.Text = ViasDestino.Text Then
        MsgBox ("Origen y destino no pueden ser el mismo.")
        ViasDestino.SetFocus
    Else
        'primero se guarda la llamada
        guardaLlamada NombreCliente, TelCliente, Vias.Text, NumViaLlamada.Text,
        CLng(idVias.Text), ViasDestino.Text, NumViaLlamadaDestino.Text,
        CLng(idViasDestino.Text)
        'situar llamada
    
```

```

'situaLlamada Vias.Text, idVias.Text, NumViaLlamada.Text
'refresco
objConn.BroadcastDatabaseChanges
gobjGeoApp.ActiveWindow.MapView.Legend.Refresh
gobjGeoApp.ActiveWindow.MapView.Refresh True
End If
End Sub
'guarda llamada en el almacen
Private Sub guardaLlamada(nombre As String, telefono As String, nombreCalle As String,
numeroCalle As String, idcalle As Long, nombreCalleDestino As String,
numeroCalleDestino As String, idcalleDestino As Long)
Dim momentoLlamada
momentoLlamada = Format(Now, "d/m h:mm")
Dim objRS As GRecordset, objOP As OriginatingPipe
objConn.CreateOriginatingPipe objOP
'tabla
objOP.Table = "Llamada"
Set objRS = objOP.OutputRecordset
Set objOP = Nothing
'la geometria de la llamada es la de la direccion
'se obtiene la direccion
Dim idDir As Long
idDir = idDireccion(CStr(idcalle), numeroCalle)
'tambien la destino por si se necesita
Dim idDirDestino As Long
idDirDestino = idDireccion(CStr(idcalleDestino), numeroCalleDestino)
'se obtiene su geometria
Dim GeomBlob As Variant
GeomBlob = direccionGeometry(idDir)
'se guarda la llamada
If objRS.Updatable Then
objRS.AddNew
objRS.GFields("nombrePersona") = nombre
objRS.GFields("telPersona") = telefono
objRS.GFields("momentoLlamada") = momentoLlamada
objRS.GFields("momentoLlegadaTaxi") = momentoLlamada
objRS.GFields("nombreCalle") = nombreCalle
objRS.GFields("numCalle") = numeroCalle
objRS.GFields("idDireccion") = idDir
objRS.GFields("nombreCalleDestino") = nombreCalleDestino
objRS.GFields("numCalleDestino") = numeroCalleDestino
objRS.GFields("idDireccionDestino") = idDirDestino
objRS.GFields("Geometry").Value = GeomBlob
objRS.Update
End If
Set objRS = Nothing
End Sub
'obtencion del id de direccion para una calle y numero
Private Function idDireccion(idcalle As String, numero As String) As Long
Dim objRS As GRecordset, objOP As OriginatingPipe
objConn.CreateOriginatingPipe objOP
objOP.Table = "Direccion"
objOP.Filter = "idCalle = " + idcalle + " and numero = " + numero
Set objRS = objOP.OutputRecordset
Set objOP = Nothing
objRS.MoveFirst
idDireccion = objRS.GFields("id").Value
End Function
'obtiene geometria de la direccion
Private Function direccionGeometry(idDir As Long) As Variant
Dim objRS2 As GRecordset, objOP2 As OriginatingPipe
objConn.CreateOriginatingPipe objOP2
objOP2.Table = "Direccion"
objOP2.Filter = "id = " + CStr(idDir)
Set objRS2 = objOP2.OutputRecordset
Set objOP2 = Nothing
objRS2.MoveFirst
direccionGeometry = objRS2.GFields("Geometry").Value
End Function

```

Una vez mostrado el código del comando que sitúa la llamada, así como todas sus características, se hace lo mismo para el comando que localiza el taxi más cercano a una llamada dada.

7.4.3 Localizar taxi más cercano a una llamada

El algoritmo se muestra a continuación.

7.4.3.1. Algoritmo

```
cargaInicial(){
    establecerConexionConAlmacen();
    obtenerLlamadas();
}
//Evento que desencadena el comando
eventoSituat(){
    llamada = cargarLlamada();
    geomLlamada = obtenerGeometria(llamada);
    iteradorTaxis = cargarTaxisLibres();
    distanciaMinima = MAX_NUMERO;
    mientras(iteradorTaxis.tieneElementos()) {
        taxi = iteradorTaxis.obtenerTaxi();
        geomTaxi = obtenerGeometria(taxi);
        distancia = obtenerDistanciaEuclidiana(geomLlamada, geomTaxi);
        si (distancia < distanciaMinima)
            distanciaMinima = distancia;
    }
    si (distanciaMinima == MAX_NUMERO){
        Mensaje("No hay taxis libres.");
        Return;
    }
    guardarNuevoEstadoTaxi(taxi);
    recargarDatosAlmacen();
}
//Guarda el nuevo estado del taxi (pasa de 'libre' a 'asignado_a_llamada')
guardarNuevoEstadoTaxi(taxi){
    taxi.estado = ESTADO_ASIGNADO_A_LLAMADA;
    modificarTaxi(taxi);
}
```

Una vez visto el algoritmo, se muestra la única pantalla del comando y se comenta brevemente.

7.4.3.2. Interfaces

La pantalla del comando que localiza un taxi para la llamada es la que se muestra en la Figura 41:

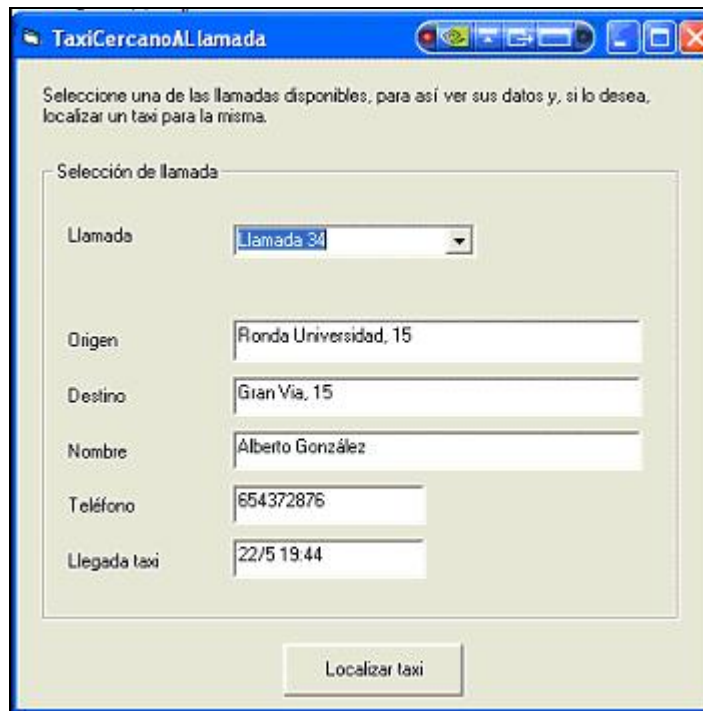


Figura 41. Pantalla del comando "Taxi más cercano".

Los campos que aparecen son:

- *Llamada.* Desplegable en el que se escoge la llamada de entre las pendientes.
- *Dirección origen.* La calle (vía y número) en los que se produjo la llamada.
- *Dirección destino.* La calle (vía y número) destino.
- *Nombre.* Nombre del cliente que la realizó.
- *Teléfono.* Teléfono del cliente que la realizó.
- *Llegada taxi.* La fecha y hora de la llamada.

Una vez mostrado el interfaz, se muestra el funcionamiento del comando.

7.4.3.3. Funcionamiento

El funcionamiento de este comando sigue la lógica siguiente:

- Se carga un cuadro de texto desplegable con las llamadas existentes (que esperan taxi). El resto de campos se cargan en función de la llamada seleccionada en dicho desplegable. En la Figura 42 se observa esta situación inicial, una vez escogida la llamada situada en el apartado anterior. Se ve que los datos del formulario coinciden, y aparece la fecha en la que se produjo la llamada. Además, se observan cuatro taxis (uno ocupado); uno de los libres ha de ser escogido como el más cercano para la llamada escogida, como se verá en la Figura 43.

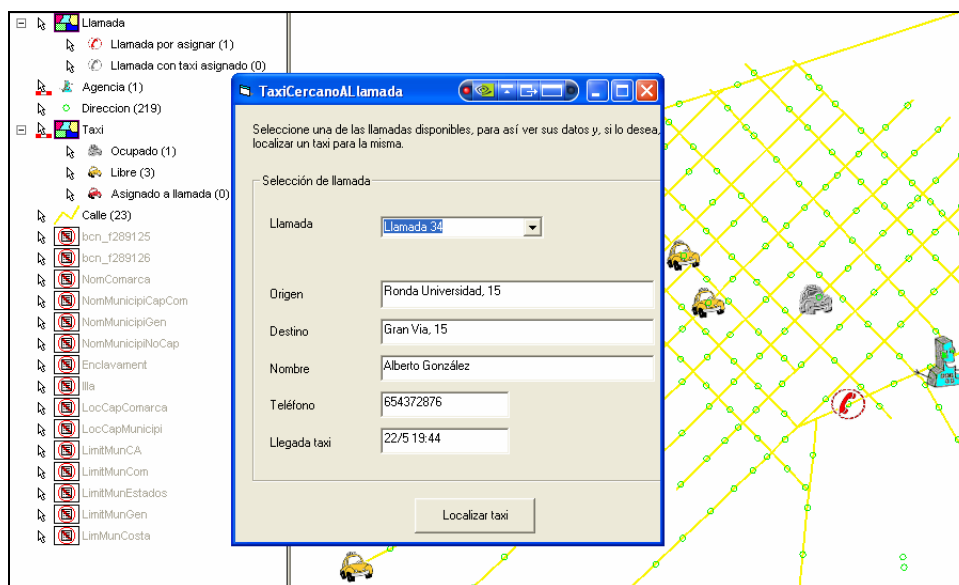


Figura 42. Situación de partida en la localización del taxi más cercano a la llamada.

- Una vez que se clic, se observa la situación de la Figura 43. El taxi libre que está de manera visual más cerca de los tres ha sido el escogido, mostrándose mediante el estilo correspondiente. En la parte superior izquierda se ve que la leyenda tiene un taxi en estado "Asignado a llamada". Además, el sistema actualiza el estilo de la llamada, para indicar que tiene un taxi asociado.

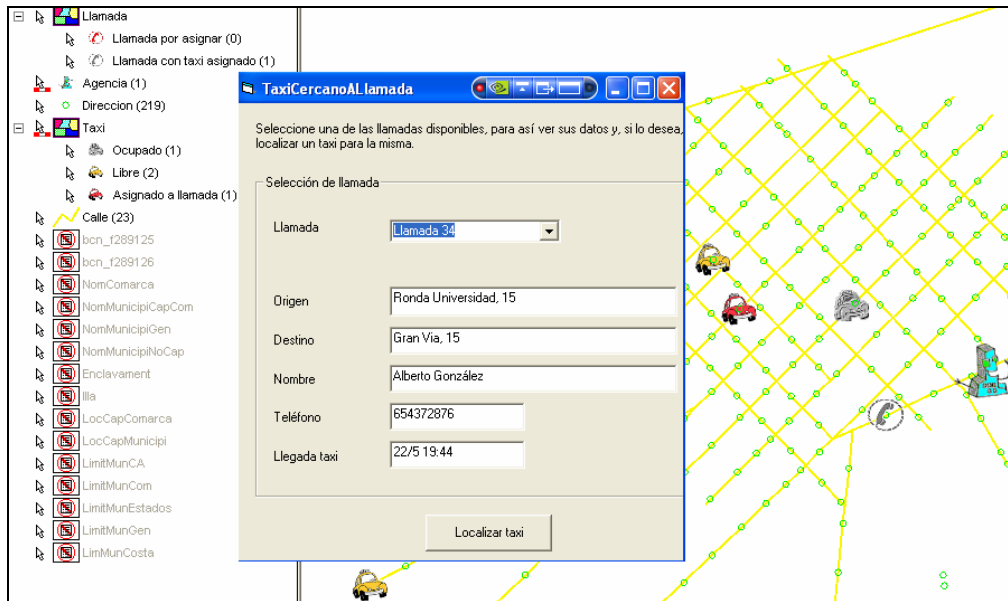


Figura 43. Imagen con un taxi localizado.

Es interesante comentar la cuestión de la geometría. Ha sido necesario acceder a la geometría de punto de la llamada escogida y calcular la distancia euclidiana con la geometría de punto de todos los taxis existentes que se encuentren con el atributo "libre" activado. Una vez recorridos, se ha escogido el taxi con la menor distancia, siendo éste el que se marca como más cercano.

7.4.3.4. Código

Se muestra a continuación parte del código más interesante, ya comentado.

```

Private Sub Form_Load()
    'conexion almacen
    Set objConn = gobjGeoApp.Document.Connections(AGENCIA_CONNECTION)
    'carga llamadas
    Call cargaComboLlamadas
End Sub
'carga datos de una llamada
Private Sub cargaDatosLlamada()
    Dim objRS As GRecordset, objOP As OriginatingPipe
    objConn.CreateOriginatingPipe objOP
    objOP.Table = "Llamada"
    objOP.Filter = "id = " + idLlamadas.Text
    Set objRS = objOP.OutputRecordset
    Set objOP = Nothing
    objRS.MoveFirst
    actualizaControles objRS.GFields("nombreCalle").Value + ", " +
    CStr(objRS.GFields("numCalle").Value), objRS.GFields("nombreCalleDestino").Value + ", " +
    CStr(objRS.GFields("numCalleDestino").Value), objRS.GFields("nombrePersona").Value,
    objRS.GFields("telPersona").Value, Format(objRS.GFields("momentoLlamada").Value, "d/m
    h:mm")
End Sub
'situar taxi
Private Sub Situar_Click()
    If Llamadas.ListCount <= 0 Then
        MsgBox ("No hay llamadas en espera de taxi")
    Else
        Dim GSS As GeometryStorageService
        Dim GeomBlobTaxi As Variant, GeomObjTaxi As Object
        Dim GeomObjLlamada As Object
        Dim objRS As GRecordset, objOP As OriginatingPipe
        Set GSS = gobjGeoApp.CreateService("GeoMedia.GeometryStorageService")
        objConn.CreateOriginatingPipe objOP
        objOP.Table = "Taxi"
        objOP.Filter = "libre = 1"
        Set objRS = objOP.OutputRecordset
        Set objOP = Nothing
        If (objRS.RecordCount <= 0) Then
    
```

```

MsgBox ("No hay taxis libres")
Else
objRS.MoveLast
objRS.MoveFirst
Dim lowDistanceTaxiId, currentId, currentIx, lowDistanceIx, libre
Dim taxiX As Double, taxiY As Double, callX As Double, callY As Double
Dim taxiDistance As Double, currentTaxiDistance As Double
'numero grande (TODO el maximo del tipo)
taxiDistance = 1E+17
'obtenemos geometria de la llamada escogida
Set GeomObjLlamada = llamadaGeometry(idLlamadas.Text, GSS)
callX = GeomObjLlamada.Origin.X
callY = GeomObjLlamada.Origin.Y
'se recorren los taxis
Do While Not objRS.EOF
currentIx = currentIx + 1
currentId = objRS.GFields("id").Value
GeomBlobTaxi = objRS.GFields("Geometry").Value
GSS.StorageToGeometry GeomBlobTaxi, GeomObjTaxi
taxiX = GeomObjTaxi.Origin.X
taxiY = GeomObjTaxi.Origin.Y
currentTaxiDistance = getDistance2Llamada(callX, callY, taxiX, taxiY)
'el actual esta mas cerca
If currentTaxiDistance < taxiDistance Then
lowDistanceIx = currentIx
lowDistanceTaxiId = currentId
taxiDistance = currentTaxiDistance
End If
objRS.MoveNext
Loop
'no habia taxis libres
If taxiDistance = 1E+17 Then
MsgBox ("No hay ningún taxi libre en este momento")
Else
Set GSS = Nothing
'tenemos el id del taxi mas cercano
'modificamos su estado libre y se cambia a 'asignado a llamada'
Dim objRS2 As GRecordset, objOP2 As OriginatingPipe
objConn.CreateOriginatingPipe objOP2
objOP2.Table = "Taxi"
objOP2.Filter = "id = " + CStr(lowDistanceTaxiId)
Set objRS2 = objOP2.OutputRecordset
Set objOP2 = Nothing
objRS2.MoveFirst
If objRS2.Updatable Then
objRS2.Edit
objRS2.GFields("libre") = 2
objRS2.Update
End If
Set objRS2 = Nothing
'actualizar estado de llamada
Dim objRS3 As GRecordset, objOP3 As OriginatingPipe
objConn.CreateOriginatingPipe objOP3
objOP3.Table = "Llamada"
objOP3.Filter = "id = " + idLlamadas.Text
Set objRS3 = objOP3.OutputRecordset
Set objOP3 = Nothing
objRS3.MoveFirst
If objRS3.Updatable Then
objRS3.Edit
objRS3.GFields("estado") = 1
objRS3.GFields("idTaxi") = CStr(lowDistanceTaxiId)
objRS3.Update
End If
'refresco
objConn.BroadcastDatabaseChanges
gobjGeoApp.ActiveWindow.MapView.Legend.Refresh
gobjGeoApp.ActiveWindow.MapView.Refresh True
End If
End If
End If
End Sub
'obtencion geometria de llamada
Private Function llamadaGeometry(idLlamada As String, GSS As GeometryStorageService) As Object
Dim GeomObjLlamada As Object
Dim GeomBlobLlamada As Variant

```


```

Dim objRS As GRecordset, objOP As OriginatingPipe
objConn.CreateOriginatingPipe objOP
objOP.Table = "Llamada"
objOP.Filter = "id = " + idLlamadas.Text
Set objRS = objOP.OutputRecordset
Set objOP = Nothing
objRS.MoveFirst
GeomBlobLlamada = objRS.GFields("Geometry").Value
GSS.StorageToGeometry GeomBlobLlamada, GeomObjLlamada
Set llamadaGeometry = GeomObjLlamada
End Function
'distancia euclidea
Private Function getDistance2Llamada(callX As Double, callY As Double, taxiX As Double,
taxiY As Double) As Double
Dim d As Double
d = Sqr((callX - taxiX) ^ 2 + (callY - taxiY) ^ 2)
getDistance2Llamada = d
End Function

```

Una vez mostrado el código del comando que localiza un taxi para una llamada, así como todas sus características, se hace lo mismo para el comando que simula el funcionamiento de la agencia.

7.4.4 Simular agencia

Antes de mostrar el algoritmo, decir que este comando supone la inclusión de un nuevo botón en *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*, por lo que la barra de herramientas definitiva es: 

El algoritmo se muestra a continuación.

7.4.4.1. Algoritmo

Se indica la parte más interesante del algoritmo.

```

Form_load(){
    cfgInicial()
    cargaComboTaxis()
    refrescar()
}
//establece configuracion inicial de la simulacion
cfgInicial(){
    //elimina las entidades existentes (llamadas, taxis y destinos de llamada)
    borrarEntidades()
    //crea los tres tipos de itinerarios del sistema, y las direcciones que une el
    itinerario de taxi libre con el de la llamada
    crearItinerarios()
    //crea los tres taxis de la simulacion
    crearTaxis()
    //refresca los datos a la ventana de mapa
    refrescar()
}
//codigo a ejecutar en activacion de timer (cada segundo)
activacionTimer(){
    para (int i = 1; i < NUM_TAXIS; i++) hacer
        tratarTaxi(i)
    //actualiza datos asociados al taxi seleccionado
    actualizaDatosPantalla()
}
//tratamiento de los taxis cada segundo
tratarTaxi(taxi){
    si estaLibre(taxi)
        seguirItinerarioLibre(taxi)
    sino si estaAsignadoALlamada(taxi)
    {
        si estaEnItinerarioLibre(taxi)
            //pasa del primer al segundo itinerario
            cambiarAItinerarioLlamada(taxi)
    }
}

```

```

        sino
            seguirItinerarioLlamada(taxi)

        si finItinerarioLlamada(taxi)
        {
            cambiarEstadoTaxi(OCUPADO)
            //se muestra adonde el taxi se dirige
            mostrarDestinoLlamada()
        }
        sino
            seguirItinerarioLlamada(taxi)
    }
    sino si estaOcupado(taxi)
    {
        si finItinerarioOcupado()
        {
            cambiarEstadoTaxi(LIBRE)
            //elimina la llamada cuyo servicio el taxi ha hecho
            eliminaLlamada(taxi)
        }
        sino
            seguirItinerarioDestino(taxi)
    }
    else    error()
}
//llega una trama GPS a la agencia, de la que se extrae la longitud y la latitud (e
indirectamente la direccion a la que el taxi se ha de mover). Se obtiene la geometria
de esta direccion y se le asigna al taxi. El refresco hace el resto
seguirItinerarioLibre(licencia){
    llegadaTramaGPSDesdeGPRS()
    taxi = obtenerTaxi(licencia)
    //obtencion coordenadas geograficas; en realidad se obtiene de los itinerario
ya prefijados
    latitud = obtenerLatitudDesdeGPRS()
    longitud = obtenerLongitudDesdeGPRS()
    idDireccion = obtenerDireccionActualDelTaxi(latitud, longitud)
    geometriaNuevaDireccion = obtenerGeometriaDireccion(idDireccion)
    taxi.geometria = geometriaNuevaDireccion
    taxi.actualizar()
    refrescar()
}
//pasa del itinerario de taxi libre al que le lleva a la llamada
//lo hace distinguiendo si la direccion en la que esta es la de ruptura (la union con
el itinerario de la llamada)
//en ultima instancia, el efecto es que accede a la estructura del itinerario de la
llamada, no de taxi libre
cambiarAITinerarioLlamada(taxi){
    si estaEnDireccionDeCambioItinerario(taxi)
        cambiarItinerarioLibreALlamada(taxi)
}

```

Una vez visto el algoritmo, se muestra la pantalla del comando y se comenta su contenido.

7.4.4.2. Interfaces

La pantalla del comando que simula el comportamiento de la agencia es la Figura 44:



Figura 44. Pantalla de Simular agencia.

Esta pantalla representa datos de dos entidades del trabajo: el taxi y la agencia. La lista de la parte superior contiene las trazas que llegarían al receptor *GPS* de los taxis. La parte inferior representa la monitorización en la agencia, donde se observan datos 'actuales' del taxi seleccionado.

El desplegable de la parte superior sirve para escoger el taxi del cual se visualizan los datos (tanto da las tramas como en el monitor de la agencia).

Se han marcado cuatro bloques en la figura, que se explican a continuación:

- *Taxi a visualizar*. Se encuentra en la parte superior de la figura. Aparece un desplegable con los taxis disponible (en concreto aparece la licencia de cada uno de ellos). Al seleccionar un taxi, los datos que se muestran, tanto las tramas *GPS* como las direcciones y el estado del monitor de la agencia, son referidos al taxi seleccionado.
- *Receptor GPS (tramas)*. En este bloque aparecen las tramas *GPS* que llegarían al receptor del taxi seleccionado. Los datos que interesan son las coordenadas geográficas de latitud y longitud. La trama más inferior es la última en llegar. Este control no es modificable, únicamente refleja la aparición de las tramas y lo que se deriva de este hecho (que posteriormente la agencia puede servirse de esos datos).
- *Monitor de la agencia*. Este bloque representa un monitor en la sede de la agencia. Los datos que aparecen son relativos al taxi seleccionado en la parte superior de la pantalla. Los datos que muestra son:
 - *Estado*. Estado del taxi. Los estados se corresponden con los indicados en el punto 6.2.5 para la entidad *Taxi*. En caso de que se encuentre libre, aparece la palabra 'LIBRE' en verde (como se observa en la Figura 44). Si está asignado a llamada, aparece 'ASIGNADO A LLAMADA' en rojo, mientras que si está ocupado aparece 'OCUPADO' en azul.
 - *Dirección actual (desde GPRS)*. Representa la dirección en la que el taxi se encuentra en ese momento. Se conoce porque al receptor *GPS* del taxi llegan las tramas; la posición geográfica se extrae y se envía por *GPRS* a la central (agencia). Así el monitor puede, con esas coordenadas, ubicar el taxi en la ventana de mapa, obtener la entidad *Dirección* asociada y obtener el nombre de la calle y el número por donde el taxi acaba de pasar.
 - *Dirección origen*. Si el taxi no está libre, se conoce la dirección origen (de la llamada que el taxi está sirviendo) y se muestra.
 - *Dirección destino*. Si el taxi no está libre, se conoce la dirección destino de la llamada y se muestra
- Botones. En la parte inferior derecha aparecen dos botones que sirven para incluir las funcionalidades de los dos comandos explicados en 7.2.2.1 y 7.2.2.2: situar una llamada y escoger el taxi más cercano. De esta manera se puede efectuar la simulación de las funcionalidades requeridas a la vez.

- Imágenes. El resto son imágenes representativas de los comandos y las entidades para embellecer la pantalla.

Una vez mostrado el interfaz, se muestra el funcionamiento del comando.

7.4.4.3. Funcionamiento

El funcionamiento de este comando sigue la lógica siguiente:

- Al arrancar la simulación, aparece la pantalla explicada en el apartado anterior y, además se eliminan las entidades *Taxi*, *Llamada* y *DestinoLlamada* que pudieran existir en la ventana de mapa. También se crean los tres taxis que se usan en el comando. Los taxis en estado libre se mueven en un itinerario circular, cada uno en una zona determinada. La simulación está pensada para que los taxis acudan a la llamada de su zona.

Las zonas definidas son las siguientes, representadas en la Figura 45 por los itinerarios (en color rojo) que siguen los taxis en estado *libre*:

- Zona Diagonal. Es la zona superior izquierda de la ventana de mapa, en relación a las calles digitalizadas.
- Zona Roma. Es la zona central de la digitalización. El itinerario correspondiente para el taxi libre aparece en la misma figura.
- Zona Cataluña. Es la zona más a la derecha, como se indica en la Figura 45.

En la parte superior de la pantalla (ver Figura 44) van apareciendo las tramas GPS que llegan al receptor del taxi con licencia "111". En la parte inferior, que corresponde al monitor de la agencia, aparece la dirección por la que pasa el taxi y que se corresponde con la latitud y longitud de la trama que aparece justo antes. Si se quiere visualizar los datos de otro taxi (licencia "222" o licencia "333"), se debe cambiar en el desplegable en la parte superior de la pantalla.

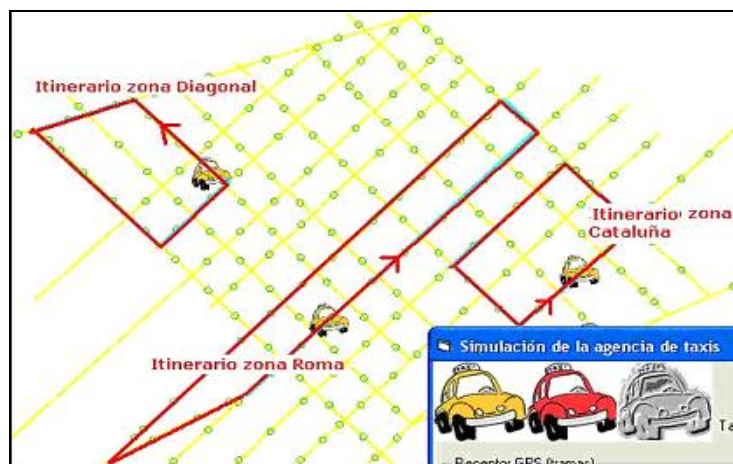


Figura 45. Itinerarios circulares para los taxis libres.

- En el estado inicial anterior, se pueden producir llamadas entrantes. Para simular una llamada entrante se ha de clicar al botón correspondiente que aparece en la Figura 44. Si se clicca antes la opción *Taxi más cercano*, el sistema avisará de que no hay llamadas disponibles, como se ve en la Figura 46 (a).



Figura 46. En (a), no hay llamadas para Taxi más cercano. En (b), la llamada no es una de las prefijadas.

En la Figura 47 se observa la posición de las posibles llamadas. Para no complicar demasiado la simulación se han tomado ciertas decisiones (ya comentadas en 7.1) y que, para el caso de las

llamadas, se resumen en que hay tres llamadas posibles, una para cada zona. Cada llamada ha de ser recogida por el taxi de su zona, que es el más cercano casi en el 100% del recorrido por los itinerarios de taxis libres.

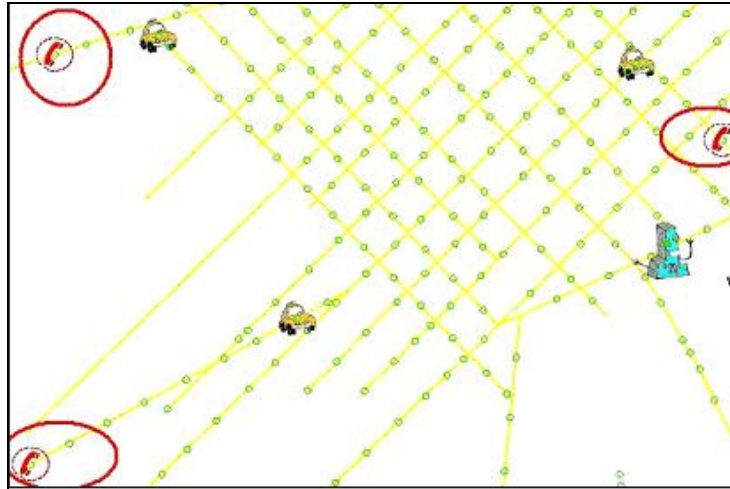


Figura 47. Posición de las llamadas una vez creadas, con los taxis libres en movimiento.

En la Figura 48 se observa el mecanismo de selección de las llamadas predefinidas para el caso de la zona de Diagonal. En primer lugar (imagen (a)) se debe escoger una de las direcciones (calle y número) siguientes:

- o Av. Diagonal, 483.
- o Av. Roma, 27.
- o C. Roger de Llúria, 23.

En segundo lugar aparece el mensaje de confirmación, en el que el sistema indica la dirección destino en la simulación (imagen (b)).

Finalmente, con los datos de la llamada se ha de clicar a *Situar llamada* (imagen (c)).

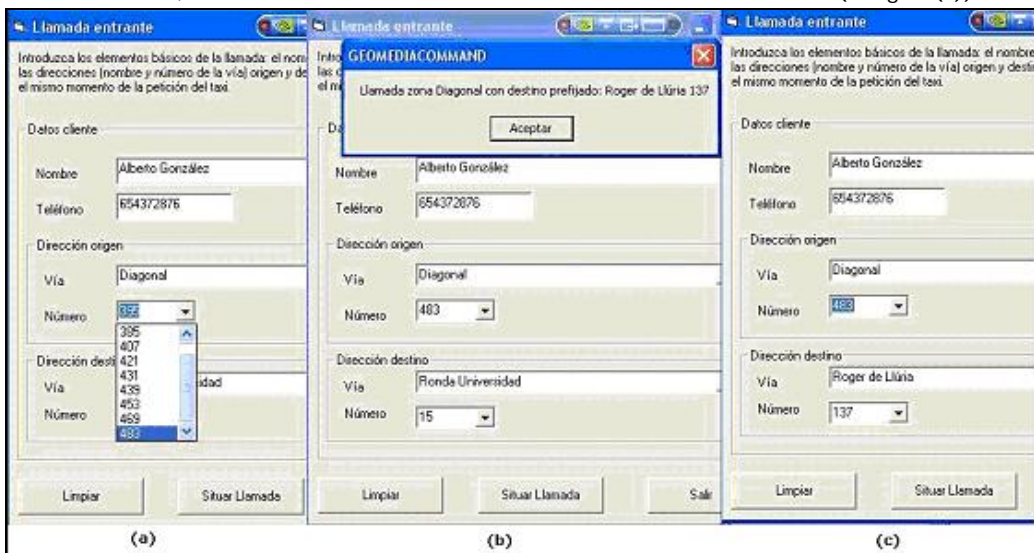


Figura 48. Proceso de establecimiento de llamadas.

Cuando se escoge una de esas direcciones, aparece uno de los mensajes de la Figura 49, para indicar que el destino está prefijado. Si la dirección origen escogida es otra diferente a cualquiera de la lista anterior, el sistema muestra un mensaje como el de la Figura 46 (b).

De esta forma, el sistema controla la dificultad de la simulación, orientando al usuario en la ejecución.



Figura 49. Mensajes de confirmación de llamadas predefinidas.

- Una vez se ha establecido la llamada (o llamadas), es necesario asignar un taxi a la misma. Esta funcionalidad ya se ha explicado en 7.2.2.2 y 7.4.3. El taxi de la zona es el que ha de asignarse, si no es así (hay una pequeña posibilidad de que un taxi temporalmente esté más cerca de una llamada que no es de su zona), la simulación no se ejecutará correctamente.

Cuando se escoge el taxi más cercano a una llamada, el taxi cambia de color (ver estados de un taxi en el punto 6.2.5) y desde ese momento queda asociado a la llamada, de tal forma que deberá cambiar desde el itinerario de taxis libres al itinerario que le lleva a la llamada de su zona.

En la Figura 50 se muestra una composición de los itinerarios que el sistema utiliza. En azul se marca el itinerario de taxis libres (ya mostrado en la Figura 45), en rojo el itinerario hacia la llamada (que el taxi efectúa cuando está asignado a la misma) y en negro el itinerario que sigue el taxi hacia el destino de la llamada (cuando se encuentra en estado *ocupado*) porque ha recogido al cliente.

Asimismo se marcan en un círculo rojo los destinos de las llamadas. La clase de entidad *DestinoLlamada* ha sido creada para mostrar la dirección destino en las llamadas.

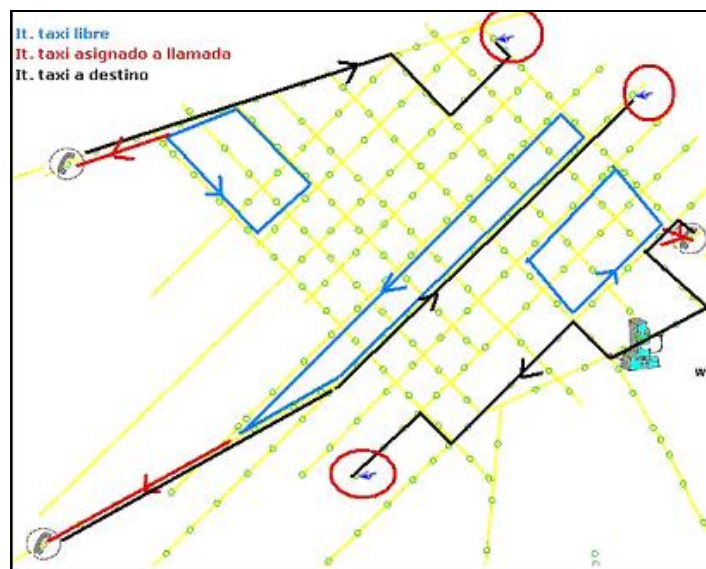


Figura 50. Itinerarios del sistema.

- Una vez el taxi más cercano a la llamada ha sido escogido o asignado, el usuario no interfiere más en el trabajo del taxi. Éste se dirige automáticamente hacia la llamada. En paralelo es posible crear otra llamada, asignar otro taxi a otra llamada existente, o también variar el taxi cuyos datos se muestran en el formulario.

En la Figura 51 se observa un taxi en estado *asignado a llamada* que está llegando a la misma. Se ve en color rojo (*asignado a llamada*) y en el monitor de la agencia se observa como se muestra su estado, su dirección actual, la dirección de la llamada, y la dirección destino.

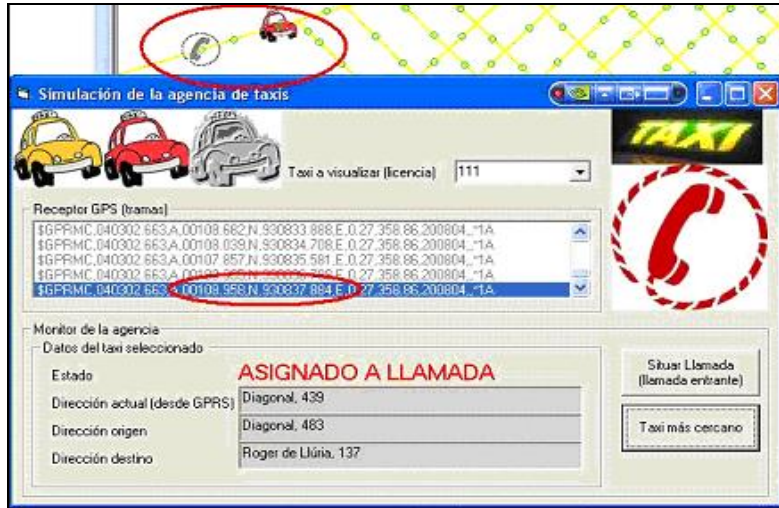


Figura 51. Taxi asignado a una llamada que en breve recogerá al cliente.

En la misma Figura 51, se observa también un círculo rojo en la última trama GPS. Esta trama corresponde a la posición en la que el taxi aparece. A continuación, en la Figura 52, se muestran las coordenadas geográficas del punto en el que el taxi se encuentra.

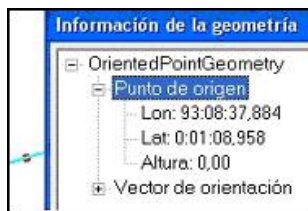


Figura 52. Coordenadas geográficas de la posición del taxi de la Figura 51.

Como se puede observar, las coordenadas de la Figura 52 coinciden (teniendo en cuenta el formato) con las de la trama de la Figura 51. Para más información, ver el punto 7.1.

- Cuando el taxi llega a la llamada, ésta cambia de estado (y de color) y el taxi también, pasa de estado *asignado a llamada* a *ocupado*. En el monitor de la agencia, si el taxi en cuestión está seleccionado, se observa como aparece el nuevo estado del taxi. En la Figura 53 se puede ver el taxi en estado *ocupado*, la dirección destino adónde se dirige y la llamada que está sirviendo (dirección origen del servicio). El camino que sigue el taxi es el indicado en la Figura 50 para la zona de Diagonal.



Figura 53. Taxi en estado ocupado llegando a destino.

- Por último, en la Figura 54 se observa el estado final de la simulación. Los tres taxis están en la dirección destino en estado libre, después de haber realizado el servicio.

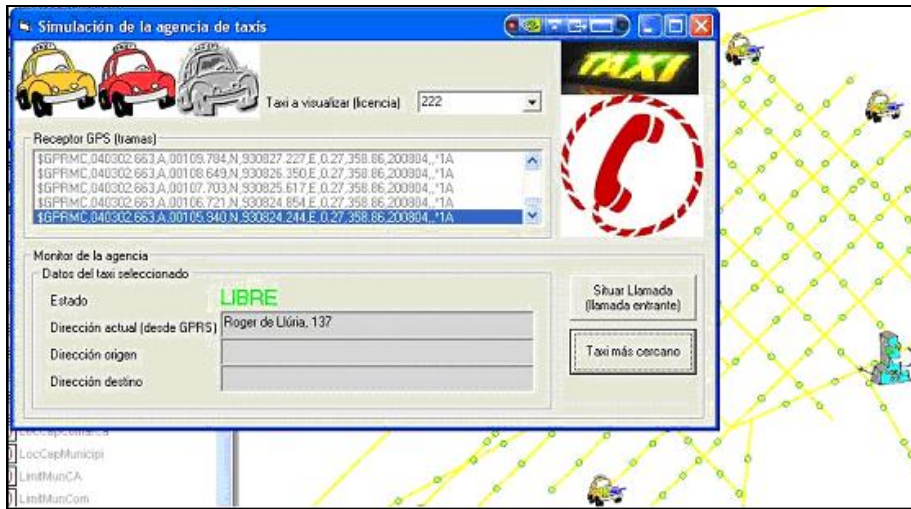


Figura 54. Estado final de la simulación, en el que los taxis se encuentran en la dirección destino en estado libre.

Una vez explicado el funcionamiento del comando, se muestra el código que lo implementa.

7.4.4.4. Código

Se muestra a continuación parte del código más interesante, ya comentado.

```
'Recommended minimum' frame. La latitud y la longitud se sustituyen por los tokens (este, norte)
Global Const GPS_FRAME = "$GPRMC,040302.663,A,#LAT#,N,#LON#,E,0.27,358.86,200804,,*1A"
-----
'timer taxis libres
Private Sub TimerLibres_Timer()
    Call trataTaxi1
    Call trataTaxi2
    Call trataTaxi3
    'actualiza datos taxi seleccionado
    Call actualizaDatos
End Sub
'tratamiento para taxi 1 (este procedimiento es el mismo para los otros taxis.)
Private Sub trataTaxi1()
    If (ASIGNADO_111 = 0) Then
        ixIt1 = ixIt1 + 1
        If (ixIt1 = IT1_SIZE) Then ixIt1 = 0
        Call mueveTaxiLibre(LIC1)
        'sigue itinerario taxi libre hasta que llega al id que le hara cambiar
        'al itinerario de ir a por la llamada
    ElseIf (ASIGNADO_111 = 1) Then
        'se ha asignado taxi a la llamada
        If (CAMBIO_ITINERARIO1 = 0) Then
            'aun se esta en itinerario normal (estado libre)
            ixIt1 = ixIt1 + 1
            If (ixIt1 >= IT1_SIZE) Then ixIt1 = 0
            If CLng(it1(ixIt1)) = IDDIR_CAMBIO_ITINERARIO1 Then
                'habra cambio de itinerario en breve
                CAMBIO_ITINERARIO1 = 1
            End If
        Else 'CAMBIO_ITINERARIO1 = 1
            'en itinerario propio de la llamada
            ixTAZDia = ixTAZDia + 1
        End If

        If (ixTAZDia = ITTA1_SIZE) Then
            'el taxi ha llegado a la llamada
            'cambiar estado taxi '111' a OCUPADO
            ASIGNADO_111 = 2
        End If
    End If
End Sub
```

```

    Call cambiaEstadoTaxi(LIC1, 0)
    'resaltar direccion destino de alguna manera
    Call mostrarDestinoLlamada(LIC1)
Else
    Call mueveTaxiALlamada(LIC1)
End If
ElseIf (ASIGNADO_111 = 2) Then
    ixZDia = ixZDia + 1
    If (ixZDia = ITOCUP1_SIZE) Then
        'taxi llega a destino: eliminacion de llamada y taxi libre
        Dim idTaxi
        idTaxi = cambiaEstadoTaxi(LIC1, 1)
        eliminaLlamada (idTaxi)
        ASIGNADO_111 = 3
        Call refrescar
    Else
        Call mueveTaxiADestino(LIC1)
    End If
End If
End Sub
'modifica posicion de los taxis que estan llegando a destino
Private Sub mueveTaxiADestino(lic As String)
    'nueva direccion, su geometria y se asigna al taxi
    Dim GeomBlob As Variant
    'longitud, latitud
    Dim lo As String, la As String

    Dim objRS As GRecordset, objOP As OriginatingPipe
    objConn.CreateOriginatingPipe objOP
    objOP.Table = "Taxi"
    objOP.Filter = "numLicencia =" + lic + ""
    Set objRS = objOP.OutputRecordset
    Set objOP = Nothing
    objRS.MoveFirst
    objRS.Edit
    If (lic = LIC1) Then
        GeomBlob = direccionGeometry(CLng(itZDiagonal(ixZDia)))
        lo = itZDiagonalLo(ixZDia)
        la = itZDiagonalLa(ixZDia)
        Call simulaTrama(la, lo, lic)
    ElseIf (lic = LIC2) Then
idem taxi 2
    Else
idem taxi 3
    End If
    objRS.GFields("Geometry").Value = GeomBlob
    objRS.Update
    Set objRS = Nothing
    Call refrescar
End Sub
'modifica posicion de los taxis que estan asignados a llamada
Private Sub mueveTaxiALlamada(lic As String)
    'nueva direccion, su geometria y se asigna al taxi
    Dim GeomBlob As Variant
    'longitud, latitud
    Dim lo As String, la As String

    Dim objRS As GRecordset, objOP As OriginatingPipe
    objConn.CreateOriginatingPipe objOP
    objOP.Table = "Taxi"
    objOP.Filter = "numLicencia =" + lic + ""
    Set objRS = objOP.OutputRecordset
    Set objOP = Nothing
    objRS.MoveFirst
    objRS.Edit
    If (lic = LIC1) Then
        If CAMBIO_ITINERARIO1 = 0 Then
            GeomBlob = direccionGeometry(CLng(it1(ixIt1)))
            lo = it1Lo(ixIt1)
            la = it1La(ixIt1)
            Call simulaTrama(la, lo, lic)
        Else
            GeomBlob = direccionGeometry(CLng(itTaxiAZDiagonal(ixTAZDia)))
            lo = itTaxiAZDiagonalLo(ixTAZDia)
            la = itTaxiAZDiagonal(ixTAZDia)
            Call simulaTrama(la, lo, lic)
        End If
    End If

```

```

ElseIf (lic = LIC2) Then
'idem taxi 2
Else
'idem taxi 3
End If
objRS.GFields("Geometry").Value = GeomBlob
objRS.Update
Set objRS = Nothing
Call refrescar
End Sub
'modifica posicion de los taxis libres
Private Sub mueveTaxiLibre(lic As String)
'nueva direccion, su geometria y se asigna al taxi
Dim GeomBlob As Variant
'longitud, latitud
Dim lo As String, la As String
Dim objRS As GRecordset, objOP As OriginatingPipe
objConn.CreateOriginatingPipe objOP
objOP.Table = "Taxi"
objOP.Filter = "numLicencia =" + lic + ""
Set objRS = objOP.OutputRecordset
Set objOP = Nothing
objRS.MoveFirst
objRS.Edit
If (lic = LIC1) Then
GeomBlob = direccionGeometry(CLng(it1(ixIt1)))
objRS.GFields("Geometry").Value = GeomBlob
lo = it1Lo(ixIt1)
la = it1La(ixIt1)
Call simulaTrama(la, lo, lic)
ElseIf (lic = LIC2) Then
'idem taxi 2
Else
'idem taxi 3
End If
objRS.Update
Set objRS = Nothing
Call refrescar
End Sub
'simulacion tramas GPS
Private Sub simulaTrama(la As String, lo As String, lic As String)
'simulacion tramas GPS
Dim trama As String
If ((cTaxiAgencia.ListIndex = 0 And lic = LIC1) Or (cTaxiAgencia.ListIndex = 1 And
lic = LIC2) Or (cTaxiAgencia.ListIndex = 2 And lic = LIC3)) Then
trama = GPS_FRAME
trama = Replace(trama, "#LAT#", la)
trama = Replace(trama, "#LON#", lo)
lTRamasGPS.AddItem (trama)
lTRamasGPS.ListIndex = lTRamasGPS.ListCount - 1
End If
End Sub
'obtiene geometria de la direccion
Private Function direccionGeometry(idDir As Long) As Variant
Dim objRS2 As GRecordset, objOP2 As OriginatingPipe
objConn.CreateOriginatingPipe objOP2
objOP2.Table = "Direccion"
objOP2.Filter = "id =" + CStr(idDir)
Set objRS2 = objOP2.OutputRecordset
Set objOP2 = Nothing
objRS2.MoveFirst
direccionGeometry = objRS2.GFields("Geometry").Value
End Function
Private Sub Form_Load()
...
Set objConn = gobjGeoApp.Document.Connections(AGENCIA_CONNECTION)
'carga datos iniciales
Call cfgInicial
Call cargaComboTaxis
'refresco
Call refrescar
End Sub
'carga de la configuracion inicial de la demo
Private Sub cfgInicial()
'borrado de taxis y llamadas existentes
Call borrarEntidades
'creacion de itinerarios

```

```

...
' sus geometrias
...
' creacion de itinerarios de llamadas ('taxi a llamada')
' el primer idDireccion es el mas cercano del itinerario (cuando el taxi esta libre)
' el ultimo coincide con el primero de los itinerarios 'origen a destino'
...
' creacion de itinerarios de llamadas ('origen a destino')
...
' sus geometrias
...
Call crearTaxis
Call refrescar
End Sub
' refresco datos en ventana
Private Sub refrescar()
objConn.BroadcastDatabaseChanges
' gobjGeoApp.ActiveWindow.MapView.Legend.Refresh
gobjGeoApp.ActiveWindow.MapView.Refresh True
End Sub

```

Una vez vista la parte práctica del trabajo, a continuación se muestran las conclusiones del mismo, así como posibles mejoras a efectuar.

Capítulo 8

Conclusiones

La primera cuestión a comentar tiene que ver con el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo. Los objetivos son los siguientes:

- Conocer qué es un SIG
- Conocer *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*
- Efectuar el diseño de un SIG
- Implementar comandos en un SIG

Los cuatro han sido llevados a cabo con aparente éxito. Se ha obtenido una visión clara de lo que es un SIG, así como de su potencia y posibles aplicaciones. Se ha visto que es una tecnología aplicable a numerosos ámbitos, desde cuestiones catastrales a la gestión de redes de todo tipo (de telecomunicaciones, de gas, etc.), pasando por gestión del tráfico, o diseños más propios de la mediana empresa, como la agencia de taxis de la que trata este trabajo.

Para tener un conocimiento más profundo, se han aprendido cuestiones relativas a la ciencia geodésica y a la cartografía, con una incidencia especial en el concepto de proyección y, en especial, de la proyección *UTM*. Si bien no se ha profundizado todo lo posible en el concepto de cartografía, ha sido importante aprender como detrás de un SIG comercial existen toda una serie de conceptos como el *datum* o el elipsoide, que forman parte de procesos inherentes al diseño de los SIG, por ejemplo, para establecer un lugar geográfico en la georreferenciación de objetos.

El ICC ha sido la fuente escogida para la obtención de datos geográficos.

En cuanto al conocimiento de *GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0*, ha sido interesante el trabajar con conceptos tan dispares como sistemas de coordenadas, almacenes de datos, digitalización de entidades o *metadatos* en un mismo producto.

El diseño del SIG ha supuesto una ocasión para aplicar parte de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, como el diseño de modelos de datos, el establecimiento de requisitos o el análisis de soluciones a un problema planteado, si bien el peso de otras tareas ha sido decisivo para no incluir cuestiones que hubieran podido introducirse, como un juego de pruebas, por ejemplo.

Se ha visto como un SIG se ajusta de manera clara al problema planteado, ya que parte importante del trabajo supone la monitorización de una flota de vehículos. El uso de comandos proporciona la posibilidad de implementar funcionalidades que resuelvan problemas concretos que el propio producto comercial no permite, pudiendo así completar las funcionalidades requeridas en un modelo de negocio.

De cara a posibles ampliaciones sería interesante utilizar dispositivos como los receptores *GPS* o el uso de *GPRS* en el proyecto, para dar así un mayor realismo al resultado final. En este sentido, a continuación se indican líneas futuras posibles de trabajo en relación al SIG creado:

8.1 Líneas futuras de trabajo

Podrían efectuarse ampliaciones en el proyecto en diversos ámbitos, básicamente orientadas a completar el prototipo para una agencia real:

- Completar el modelo.
 - Eliminar cualquier concepto relativo a simulaciones (llamadas prefijadas, itinerarios prefijados, etc.)

- Digitalización más densa de calles y direcciones.
 - Considerar bidireccionalidad de las calles.
- Tecnología.
 - Uso real de *GPS* y *GPRS*.
 - Uso de *ORACLE* (probablemente necesario para una agencia de tamaño considerable). Además de la potencia que ofrece, se podrían acometer cuestiones como el acceso de varios usuarios a un mismo SIG en cuanto a la gestión de permisos, cuestiones de administración, procesos masivos en diseños con entidades con una alta cardinalidad, etc.
- Complejidad.
 - Tener en cuenta sentidos de las calles y/o congestiones de tráfico. No siempre el taxi más cercano corresponde al que tiene una distancia euclidiana menor.

Referencias

Sistemas de Información Geográfica

- [1] Joaquín Bosque Sendra. *Sistemas de Información Geográfica*. 2ª edición. Ed. RIALP, 1997 (1ª ed. 1992).
- [2] Centro de Supercomputación de Galicia. [<http://www.cesga.es/content/category/7/36/47/lang/es/>, marzo 2006]
- [3] *Kingstom Center For GIS. Introducing GIS*. [http://www.emich.edu/visit/Publications/Intro_to_GIS.ppt, marzo 2006]
- [4] Centro documental Monografias.com. [<http://www.monografias.com/trabajos14/informageogra/informageogra.shtml>, marzo 2006]
- [5] Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. [<http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php?codpage=70001#9>, marzo 2006]
- [6] Página personal de Gabriel Ortiz. [<http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp?Info=012>, marzo 2006]
- [7] GIS.com (*The guide to Geographic Information Systems*). [<http://www.gis.com/whatisgis/geographymatters.pdf>, marzo 2006]
- [8] *Missouri Spatial Data Information Service*. [http://msdisweb.missouri.edu/presentations/intro_to_gis/pdf/GIS_intro_over.pdf, marzo 2006]
- [9] *UOC. Universitat Oberta de Catalunya*. [<http://www.uoc.edu>, abril 2006]
- [10] Eduard Allué Pont. *Creació d'un sistema d'informació geogràfica de carreteres: problema logístic de l'empresa Vall Companys Grup. Treball Final de Carrera*. Primer semestre 2004/2005.
- [11] Martí Pàmies Solà. *Implementació d'un SIG amb GeoMedia Professional 5.2 y el enlace con Epanet. Treball Final de Carrera*. Enero 2004/2005.
- [12] *U.S. Census Bureau Maps and Cartographic Resources*. [<http://tiger.census.gov/>, marzo 2006]
- [13] Dirección general del catastro [<http://www.catastro.minhac.es/>, marzo 2006]
- [14] Un SIG para el INE. Revista Fuentes Estadísticas. [<http://www.ine.es/revistas/fuentes/numero38/pag15.htm>, marzo 2006]
- [15] SINAMBA. Sistema de Información Ambiental de Andalucía. [<http://www.ual.es/Universidad/CDOC/ambiente.html>, marzo 2006]
- [16] Mapping interactivo. Revista internacional de ciencias de la Tierra. [http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=954, marzo 2006]
- [17] Wikipedia. [<http://es.wikipedia.org/wiki/CAD>, marzo 2006]
- [18] Universidad de Cádiz. [<http://www.uca.es/dept/filosofia/TEMA%206.pdf> (y otros), marzo 2006]
- [19] SOPDE (Sociedad de Planificación y Desarrollo de la Diputación Provincial de Málaga). [http://gis.sopde.es/cursosgis/DHTML/que_2_2.html, marzo 2006]
- [20] Tipos de SIG y modelos de datos. [<http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp?Info=012>, marzo 2006]
- [21] SPRING, GIS orientado a objetos. [<http://www.dpi.inpe.br/spring/english/>, marzo 2006]
- [22] SPRING, GIS orientado a objetos. [<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/spring.pdf>, marzo 2006]
- [23] Tendencias de los Sistemas de Información Geográfica (Aart van Wingerden, Gerente Regional, ESRI Europa). [http://www.elagrimensor.com.ar/elearning/lecturas/Trend_SIG1.pdf, marzo 2006]

Introducción a la Cartografía

- [24] Portal de Tecnologías de la Información Geográfica. Nociones de Cartografía [http://www.nosolosig.com/index.php?option=com_remository&Itemid=71&func=fileinfo&filecatid=14&parent=category, marzo 2006]
- [25] Portal de Tecnologías de la Información Geográfica. Nociones de Geodesia y GPS. [http://www.nosolosig.com/index.php?option=com_remository&Itemid=71&func=fileinfo&filecatid=13&parent=category, marzo 2006]
- [26] Universidad de Valladolid. Apuntes de Cartografía. [http://www.cartesia.org, marzo 2006]
- [27] Instituto Cartográfico Valenciano. [http://www.gva.es/icv/GLOSARIO.HTM, marzo 2006]
- [28] Wikipedia. Acimut [http://es.wikipedia.org/wiki/Acimut, marzo 2006]
- [29] Geoconceptos, empresa uruguaya especializada en SIG. [http://webs.demasiado.com/geoconceptos/glosario.html, marzo 2006]
- [30] Centro de Documentos, Publicaciones y Recursos Educativos. [http://www.monografias.com/trabajos16/geoide/geoide.shtml, marzo 2006]
- [31] Wikipedia. Proyecciones [http://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica, marzo 2006]
- [32] *Institut Cartogràfic de Catalunya*. [http://www.icc.es, abril 2006]
- [33] Portal de Tecnologías de la Información Geográfica. Nociones de Topografía. [http://www.nosolosig.com/, abril 2006]
- [34] *Institut Cartogràfic de Catalunya. Bases i Cartografia Digital* [http://www.icc.es/cat99/catd/bases.html, abril 2006]
- [35] *Institut Cartogràfic de Catalunya. Productes*. [http://www.icc.es/cat99/catd/productes.html, abril 2006]
- [36] *Bentley Systems*. [http://www.bentley.com/, abril 2006]
- [37] Formato *MicroStation*. [http://www.bentley.com/es-MX/Products/MicroStation/, abril 2006]
- [38] *AutoDesk*. [http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/home?siteID=123112&id=129446, abril 2006]
- [39] Formato *DWG*. [http://es.wikipedia.org/wiki/AutoCAD/, abril 2006]
- [40] Formato *DXF*. [http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?siteID=123112&id=5129239, abril 2006]
- [41] *ESRI*. [http://www.esri.com/, abril 2006]
- [42] Formato *EXPORT*. [http://www.safe.com/support/online-documentation/ReadersWriters/e00.htm, abril 2006]
- [43] *ARCINFO*. [http://www.esri.com/software/arcgis/arcinfo/, abril 2006]
- [44] Formato *GeoTIFF*. [http://es.wikipedia.org/wiki/GeoTIFF, abril 2006]
- [45] *LizardTech*. [http://www.lizardtech.es/, abril 2006]
- [46] Artículo sobre *MrSID*. [http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=619/, abril 2006]
- [47] *GeoExpress*. [http://www.lizardtech.es/solutions/geo/mrsid_overview.php/, abril 2006]
- [48] Formato *TIFF*. [http://es.wikipedia.org/wiki/TIFF, abril 2006]
- [49] Formato *JPEG*. [http://es.wikipedia.org/wiki/JPEG, abril 2006]
- [50] Formato *GIF*. [http://es.wikipedia.org/wiki/GIF, abril 2006]
- [51] Dirección General del Catastro. [http://www.catastro.minhac.es, abril 2006]
- [52] Instituto Cartográfico Valenciano. [http://www.gva.es/icv/, abril 2006]
- [53] *TeleAtlas*. [http://www.teleatlas.com/Pub/Home, abril 2006]

GPS

- [54] Wikipedia. [http://es.wikipedia.org/wiki/GPS, abril 2006]

- [55] *Geographer's Craft*, Department of Geography, University of Colorado at Boulder. Peter H. Dana. [http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html, abril 2006]
- [56] RadiOptica. [<http://www.radioptica.com/Radio/gps.asp?pag=3>, abril 2006]
- [57] Alsitel. [<http://www.alsitel.com/tecnico/gps/index.htm>, abril 2006]

GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0

- [58] *Intergraph*. [<http://www.intergraph.com/>, abril 2006]
- [59] *MICROSOFT OFFICE*. [<http://office.microsoft.com/es-es/FX010857913082.aspx>, abril 2006]
- [60] *ORACLE*. [<http://www.oracle.com>, abril 2006]
- [61] *MICROSOFT SQLSERVER*. [<http://www.microsoft.com/sql/default.mspx>, abril 2006]
- [62] *Intergraph*. Documentación del usuario de *GEOMEDIA PROFESSIONAL*. Manual de usuario.
- [63] *Intergraph*. Documentación del usuario de *GEOMEDIA PROFESSIONAL*. Temas de ayuda de Geomedia Professional.
- [64] *MICROSOFT*. [<http://www.microsoft.com/>, abril 2006]
- [65] *MICROSOFT VISUAL BASIC*. [<http://msdn.microsoft.com/vbasic/>, abril 2006]
- [66] *ESRI ARCGIS*. [<http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>, abril 2006]
- [67] *MapInfo*. [<http://www.mapinfo.com/>, abril 2006]
- [68] *Clark Labs. IDRISI*. [<http://www.clarklabs.org/>, abril 2006]
- [69] *Manifold System*. [<http://www.manifold.net/>, abril 2006]
- [70] *SMALLWORLD*. [http://www.gepower.com/prod_serv/products/gis_software/en/smallworld4.htm /, abril 2006]
- [71] *GE*. [<http://www.ge.com/en/company/>, abril 2006]
- [72] *ESRI. GIS for higher education*. [<http://www.esri.com/industries/university/education/teach.html>, abril 2006]
- [73] *INTERGRAPH. Education program*. [<http://imgs.intergraph.com/education/default.asp>, abril 2006]
- [74] *Comparison of GIS Software*. Terry Garret, Alex Woldemicheal, Courtney Russell. Octubre 2003. [http://charlotte.utdallas.edu/mgis/ClassFiles/gisc6383/techassess_2003/GIS%20REPORTS_WORD_DOCUMENT/GIS_software_Comp_Report.htm, abril 2006]

Diseño del SIG

- [75] Documentación proporcionada por el consultor. [*CarregaOrtofotosMrSID.pdf*, mayo 2006]
- [76] *INTERGRAPH*. Documentación del usuario de *GEOMEDIA PROFESSIONAL*. Aprendizaje de Geomedia Professional.
- [77] Página web de la ciudad de Barcelona. [<http://www.bcn.es>, mayo 2006]

Implementación de comandos

- [78] *MyGeomedia*. Recursos para programadores. [<http://www.mygeomedia.com/>, mayo 2006]

- [79] *INTERGRAPH*. Documentación del desarrollador de *GEOMEDIA PROFESSIONAL*. Temas de ayuda del Asistente para comandos de GeoMedia Professional.
- [80] *MICROSOFT*. Ayuda de *VISUAL BASIC*.
- [81] *INTERGRAPH*. Documentación del desarrollador de *GEOMEDIA PROFESSIONAL*. Programación en GeoMedia Professional.
- [82] *INTERGRAPH*. Documentación del desarrollador de *GEOMEDIA PROFESSIONAL*. Referencia de objetos de GeoMedia Professional.
- [83] *National Marine Electronics Association (NMEA)*. [<http://nmea.org/>, junio 2006]
- [84] *Wikipedia, GPRS*. [<http://es.wikipedia.org/wiki/GPRS/>, junio 2006]