

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Proyecto Fin de Carrera

Desarrollo de una aplicación de localización automática de vehículos (AVL) basada en el sistema de información geográfica ArcView



AUTOR: M^a Victoria Moreno Cano
DIRECTORES: Leandro Juan Llácer
Rubén Ibernón Fernández

Diciembre/2006



Autor	M ^a Victoria Moreno Cano
E-mail del Autor	mVictoria@ono.com
Director	Leandro Juan Llácer Rubén Ibernón Fernández
E-mail del Director	leandro.juan@upct.es ruben.ibernon@upct.es
Título del PFC	Desarrollo de una aplicación de localización automática de vehículos (AVL) basada en el sistema de información geográfica ArcView
<p>Resumen</p> <p>Este proyecto ha consistido en la implementación de una herramienta de gestión y localización de vehículos basada en el Sistema de Información Geográfica (SIG) ARCVIEW 9.1 (de ESRI) que se ha desarrollado en el Grupo de Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo) dentro del Departamento de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) de la Universidad Politécnica de Cartagena.</p> <p>Aprovechando la potencia y versatilidad de los SIG en el manejo de la información geográfica se ha intentado enfocar la herramienta como un <i>software</i> de gestión de bases de datos asociado a la localización de vehículos.</p> <p>La aplicación permite posicionar incidencias en un mapa de localización geográfica, gestionar bases de datos de rutas realizadas por vehículos individualmente o agrupaciones de varias rutas individuales, llamadas ‘grupos’, así como la simulación de un sistema de localización automática de vehículos (AVL) que se implementará sobre un sistema de comunicaciones móviles celular con tecnología TETRA (<i>Terrestrial Trunking Radio</i>).</p> <p>Así pues, el objetivo de este proyecto ha sido el de programar en Visual Basic y ArcObjects una aplicación, la cual hemos denominado AVLGIS, que nos permitiera llevar a cabo toda la funcionalidad descrita anteriormente.</p>	
Titulación	Ingeniero técnico de Telecomunicación, especialidad de Telemática
Departamento	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Fecha de Presentación	Diciembre – 2006

INDICE

<u>1. Introducción</u>	5
<u>1.1. Fundamentos y objetivos del proyecto</u>	6
<u>1.2. Material utilizado</u>	8
<u>1.3. Estructura del proyecto</u>	9
<u>2. Sistemas de información geográfica</u>	11
<u>2.1. Introducción a los SIG</u>	12
<u>2.1. Tipos de información geográfica</u>	13
<u>2.3. Entorno de desarrollo ArcGIS Desktop</u>	18
<u>2.3.1. Introducción a ArcView</u>	21
<u>3. Sistema TETRA</u>	24
<u>3.1. Introducción</u>	25
<u>3.2. Características del sistema</u>	26
<u>3.3. Estructura de red</u>	27
<u>3.4. Balance de enlaces</u>	29
<u>3.5. Cálculos radioeléctricos .- RADIOGIS</u>	32
<u>4. Sistemas de Localización Automática de Vehículos</u>	38
<u>4.1. Introducción a los sistemas AVL</u>	39
<u>4.2. Equipos requeridos para el sistema AVL</u>	41
<u>4.3. Implementación de los sistemas AVL</u>	42
<u>4.4. Comportamiento del tráfico</u>	43
<u>4.5. Uso eficiente de los recursos</u>	43
<u>4.6. Sistemas AVL aplicados a los servicios de emergencia</u>	44
<u>4.4.1. Modelos de gestión</u>	44
<u>4.6.2. Necesidades y prestaciones</u>	44
<u>4.6.3. Criterios de diseño y dimensionado</u>	50

<u>5. Aplicación desarrollada.- AVLGIS</u>	51
<u>5.1. Consideraciones previas</u>	52
<u>5.2. Estructura de la herramienta</u>	60
<u>5.3. Desarrollo de la aplicación</u>	62
<u>5.3.1. Incidencias</u>	65
<u>5.3.2. Recursos</u>	71
<u>5.3.3. Base de datos</u>	85
<u>5.3.4. Pantalla</u>	90
<u>5.3.5. Ubicación de...</u>	90
<u>5.3.6. Ayuda</u>	91
<u>5.3.7. Simulación</u>	93
<u>5.3.8. Ubicación de...</u>	104
<u>6. Simulaciones con AVLGIS</u>	105
<u>6.1. Generación de mapas de cobertura</u>	106
<u>6.2. Simulación con AVLGIS</u>	110
<u>7. Conclusiones y futuras líneas de trabajo</u>	117
<u>7.1. Conclusiones</u>	118
<u>7.2. Futuras líneas de trabajo</u>	119
<u>8. Referencias</u>	120

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN.

1.1. Fundamentos y objetivos del proyecto

Actualmente existen numerosas redes analógicas que presentan una gran variedad de inconvenientes debido en gran parte a su heterogeneidad, a los problemas de saturación y de cobertura que presentan y a la existencia de una escasa, cuando no nula, capacidad para transmitir datos, así como a los derivados de la obsolescencia de la tecnología empleada. Una de las limitaciones que surgen de todos los problemas anteriormente citados es aquella en la que un terminal no puede comunicarse con otro terminal perteneciente a otra red distinta.

Los cuerpos de seguridad y emergencia requieren comunicarse, en su operativa diaria para asegurar la interoperabilidad y coordinación que garanticen servicios eficaces en situaciones críticas de emergencia. La indisponibilidad de los recursos para las comunicaciones en los momentos críticos se traduce directamente en una ineficiencia del servicio de emergencia con impacto directo para el ciudadano, ya que en emergencias se debe lograr que organismos de naturaleza diferente (policías, bomberos, sanitarios, etc.) deban operar a la vez en alguna determinada emergencia, unidos trabajando desde la misma perspectiva. Por este motivo desde hace décadas los cuerpos de seguridad y emergencia disponen de sistemas de radiocomunicaciones que permiten la comunicación eficaz entre un elevado número de usuarios.

Hoy en día existen dos tendencias en las redes de emergencia, una de ellas es la integración de los distintos sistemas para garantizar la interoperabilidad (*gateways* entre redes, etc.) y la otra es la migración a una única red multiflota (*shared networks*). Ambas tendencias presentan el objetivo común de conseguir una interoperabilidad transparente entre los distintos organismos para asegurar la máxima coordinación en casos de necesidad.

La tecnología *Trunking* digital permite cumplir con los requerimientos que plantean los cuerpos de seguridad y emergencia, en concreto el estándar europeo TETRA (*Terrestrial Trunking Radio*) es la tecnología que están desplegando la mayoría de las redes de seguridad y emergencia de nueva implantación.

TETRA es el estándar europeo desarrollado por la ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*) para las redes privadas móviles digitales. Estas redes son la evolución natural de la telefonía analógica privada utilizada por los cuerpos de seguridad, redes emergencia, y otras organizaciones profesionales institucionales públicas o privadas.

En el sistema TETRA, una única red puede ser utilizada por varios grupos de usuarios; los usuarios de un mismo grupo establecen comunicación entre ellos y pueden establecerse comunicaciones entre usuarios de diferentes grupos. Por otra parte, las facilidades que ofrece el sistema TETRA para la transmisión de datos en la interfaz radio hace posible el desarrollo de aplicaciones como acceso a bases de datos, aplicaciones de telemetría o aplicaciones de localización de vehículos AVL (*Automatic Vehicle Location*).

Las aplicaciones AVL suelen estar basadas en sistemas de información geográfica ya que deben ser capaces de gestionar información espacial. Básicamente, las posiciones de los terminales móviles o portátiles, que son conocidas mediante el sistema GPS (*Global Positioning System*), se envían remotamente a través de la red TETRA para ser gestionadas por una determinada aplicación AVL.

El objetivo principal del proyecto es desarrollar una aplicación *software* AVL basada en el sistema de información geográfica Arcview 9.1 de ESRI, que sirva para la gestión de bases de datos relacionadas con la localización de vehículos. De esta manera la aplicación debe permitir gestionar bases de datos de rutas realizadas por vehículos (de sanitarios, policías, extinción de incendios o forestales) o agrupaciones de varias rutas individuales, llamadas ‘grupos’ (de sanitarios, policías, extinción de incendios o forestales).

Además, el proyecto planteará una red TETRA formada por varias estaciones base radio que ofrece servicio a una determinada área geográfica, y se simularán rutas individuales o de grupo que tengan en cuenta la cobertura radioeléctrica ‘realista’ (obtenida mediante simulaciones a través de otra aplicación de cálculo de cobertura) de la red TETRA.

1.2. Material utilizado

Las herramientas hardware y software que se han requerido para la realización de este proyecto han sido las siguientes:

- Hardware:
 - Ordenador portátil con procesador Intel Pentium IV a 2000 MHz, 1 GB de memoria RAM y 60 GB de disco duro, para el desarrollo del software.

- Software:
 - Sistema operativo Microsoft Windows XP
 - ArcView 9.1 como Sistema de Información Geográfico y marco para el desarrollo de la aplicación, basándonos en el lenguaje Visual Basic para la citada aplicación.
 - La aplicación de gestión y análisis de sistemas de radiocomunicaciones RADIOGIS basada en el Sistema de Información Geográfica (SIG), desarrollada por el Grupo de Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo) de la Universidad Politécnica de Cartagena, para el cálculo de coberturas de potencia y sistemas de potencia para los emplazamientos implicados en la simulación de un caso realista.

1.3. Estructura del proyecto

La estructura de los contenidos en el presente proyecto, desglosada en capítulos, se ha intentado ajustar a las pautas a seguir para la clara comprensión de la lectura de éste por parte del lector.

En el capítulo en el que nos encontramos, capítulo 1, se trata de dar una breve noción de cuáles han sido las necesidades actuales que han impulsado el desarrollo de este proyecto con el principal objetivo de satisfacerlas.

En el capítulo 2, se ha realizado una introducción a los Sistemas de Información Geográfica, de forma tal que pueda obtenerse una comprensión generalizada de cómo se ha trabajado con este tipo de información.

En el capítulo 3, dentro de un primer apartado se han presentado conceptos básicos a cerca de la red sobre la que se apoya la aplicación de nuestra herramienta, la red TETRA. Así mismo, se definen los parámetros para los cálculos radioeléctricos implicados junto con dichos cálculos realizados. En el siguiente apartado se hace referencia a la herramienta RADIOGIS utilizada para la obtención de las capas *raster* utilizadas en AVLGIS.

En el capítulo 4, se ha tratado sobre los sistemas de Localización Automática de Vehículos, sistemas AVL, aportando la información necesaria para que el lector del presente proyecto y usuario de la aplicación adquiera una visión clara de la situación actual de este tipo de sistemas, y pueda así interactuar con la herramienta de la forma correcta.

En el capítulo 5, se ha desarrollado de forma precisa cada una de las funciones proporcionadas por la herramienta y la forma de trabajar con ella, es decir, la metodología a seguir. En el apartado de ‘Simulación’ dentro de este capítulo se ha explicado con detalle cuál sería el objetivo principal de aplicación de esta herramienta, se ha incluido en algunos apartados el código desarrollado para implementar ciertas funcionalidades, sólo se ha incorporado en esta memoria el código que se ha considerado relevante para que el lector

pueda centrarse en la metodología seguida y pueda tener así una comprensión más clara de cómo funciona esta herramienta, abstrayéndose del código implicado.

En el capítulo 6, en primer lugar comentamos la generación de los mapas de cobertura implicados en la herramienta desarrollada, utilizando para ello la herramienta RADIOGIS. Y en un segundo, y último, apartado se muestra un caso de simulación con AVLGIS.

En el capítulo 7, se presentan las conclusiones obtenidas y las posibles líneas futuras.

Y por último, en el capítulo 8 se recogen las referencias bibliográficas consultadas durante la realización de este proyecto.

CAPÍTULO 2.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

2.1. Introducción a los SIG

En este capítulo definiremos los conceptos básicos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para una mejor comprensión del funcionamiento de la aplicación AVL desarrollada en este proyecto.

Primero, vamos a definir un SIG como una colección organizada de *hardware*, *software* y datos geográficos diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial, y despliegue de todo tipo de información geográficamente referenciada.

Entre las capacidades específicas de un SIG resumimos las siguientes funciones:

- Funciones para la entrada de información.
- Funciones para la representación gráfica y cartográfica de la información.
- Funciones de gestión de la información.
- Funciones analíticas.

Un SIG, como cualquier sistema de información, incluye una base de datos, una base de conocimiento (conjunto de análisis y manipulación de los datos) y un sistema de interacción con el usuario. Por tanto, no es sólo un programa de cartografía asistido por ordenador o uno de gestión de datos, sino que lo más característico es su capacidad de análisis y de generar nueva información de un conjunto previo de datos mediante su manipulación. Tampoco es solamente un programa informático de diseño, ya que además de ser capaz de manejar elementos gráficos (puntos, líneas, polígonos), los relaciona con elementos de una base de datos temáticos.

En cualquier caso, son útiles en cualquier área de trabajo donde sea necesario el manejo de información geográfica. En este sentido, encuentran también aplicación en la planificación de sistemas de radiocomunicación y en la localización automática de vehículos (AVL).

2.2. Tipos de información geográfica

Los SIG gestionan dos tipos básicos de información geográfica:

- **Espacial**, que describe la localización y la forma de diversas características geográficas (picos montañosos, límites nacionales, provinciales, municipales, vías de comunicación, ríos, etc.) y la topología o relaciones cualitativas entre dichas características
- **Descriptiva**, que proporciona información adicional asociada a cada una de esas características geográficas (altitud de cada pico montañoso, tipo de vía de comunicación: autopista, autovía, carretera nacional, comarcal, etc.).

Mientras que la información descriptiva en un mapa se representa por medio de símbolos y etiquetas (p. e. nombre de un río), la información espacial puede describirse gráficamente como un conjunto de puntos, líneas, áreas y superficies.

El nuevo concepto de modelo de datos en ArcGis es el “modelo de datos de objetos”. Un Modelo de datos de objetos permite la creación de bases de datos orientadas a la información geográfica (Geodatabase). Una base de datos de este tipo permite combinar las propiedades de los objetos con su “comportamiento”. Estas bases de datos inteligentes otorgan al usuario la habilidad de añadir definiciones y comportamiento a objetos, proporcionando todas las herramientas necesarias para crear y trabajar con datos geográficos. Un dato geográfico posee tres componentes fundamentales que describen espacialmente a cualquier entidad. Estas son por un lado la ubicación geométrica específica que éste posea en algún sistema de referencia determinado, las características de la entidad y las relaciones espaciales que posee con su entorno. A esta última se les denominan relaciones Topológicas.

Un modelo de datos geográficos es una abstracción del mundo real que emplea un conjunto de objetos dato, para soportar el despliegue de mapas, consultas, edición y análisis, presentando la información en representaciones subjetivas por medio de mapas y símbolos, que representan la geografía como formas geométricas, redes de triángulos, superficies,

ubicaciones e imágenes, a los cuales se les asignan sus respectivos atributos que los definen y describen.



Figura 1. Representación de la Abstracción del Mundo Real

No existe una manera única de incorporación y almacenamiento de datos. Las formas variarán según el tipo de dato, los resultados deseados y el *software* disponible. Básicamente se emplean dos modos de representación de **datos espaciales**: **vectores** y **raster**.

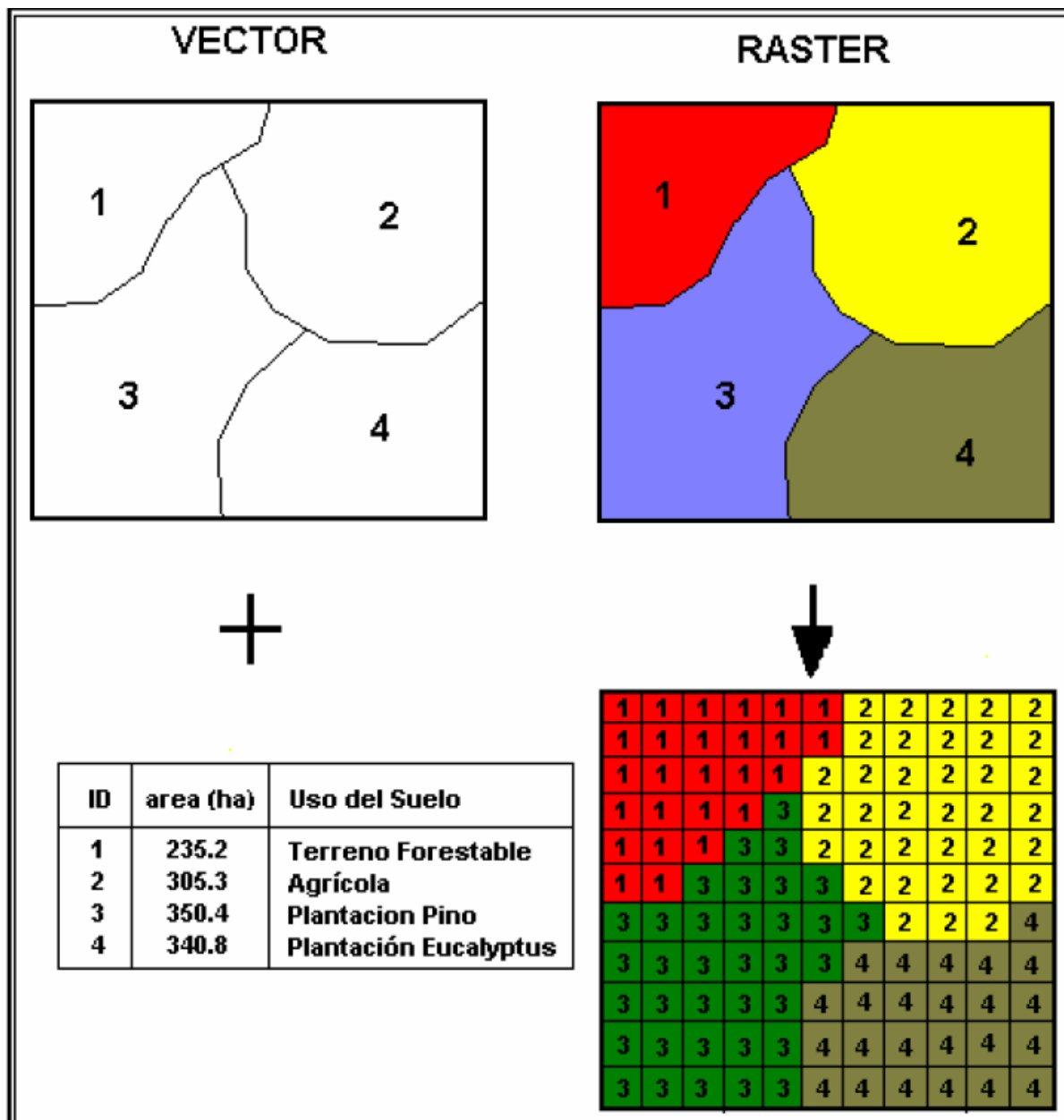


Figura 2. Representación de datos espaciales: vector y raster.

Los sistemas vectoriales son modelos en donde los objetos espaciales se representan de tal manera que queden definidas sus fronteras, dichas fronteras definen el límite entre el entorno y el objeto en cuestión. Las líneas fronteras son representadas mediante las coordenadas cartesianas de los elementos, como puntos vértices que delimitan los segmentos rectos que la forman, además la estructura vectorial permite la generación de las relaciones topológicas del entorno.

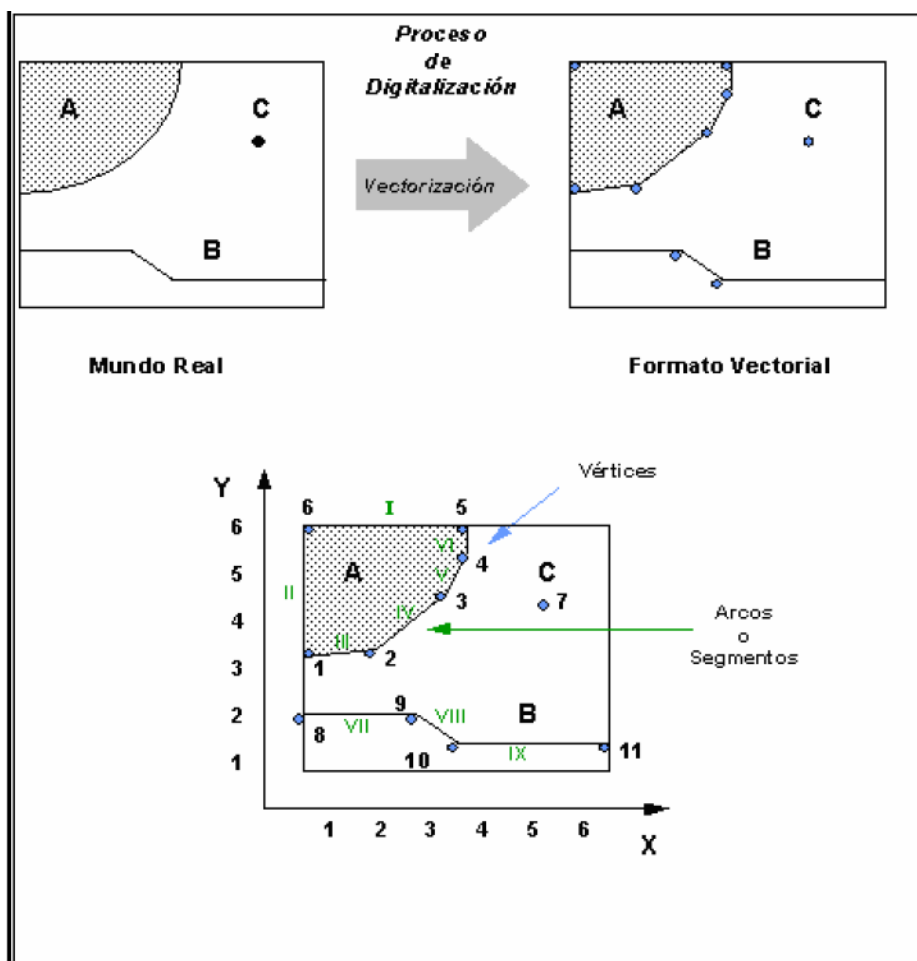


Figura 3. Representación de Sistemas Vectoriales

El formato vectorial con este tipo de organización, genera una gran cantidad de archivos que relacionan las coordenadas con los distintos elementos además de sus relaciones topológicas.

Un *shapefile* es un formato de datos vectorial que almacena la ubicación, forma y atributos de los rasgos geográficos y está compuesto de tres archivos principales: un archivo con extensión shp o archivo principal, uno con extensión shx o archivo de índice y otro con extensión dbf que contiene la información tabular de atributos de los rasgos. En la aplicación AVL desarrollada en este proyecto se utiliza este tipo de archivo para almacenar los datos referentes a los recursos (individuales y grupos) e incidencias, asociando los *shapefiles* con su información tabular.

En una estructura *raster* los datos se disponen en una matriz o *grid* de celdas. Esta matriz está organizada como un conjunto de filas y columnas. Cada celda tiene asociado un

determinado valor que se corresponde con un fenómeno geográfico determinado (p. e. elevación del terreno). La información *raster* está georreferenciada por medio de un sistema de coordenadas cartesiano y el ancho de la celda. Conocidas las coordenadas de un punto de referencia y el tamaño de la celda, es posible ubicar cualquier otra celda. Si se utiliza el mismo sistema de referencia, el conjunto de información *raster* se puede organizar en temas (tipo de suelo, elevación, etc.), está compuesto por diferentes archivos: uno principal con extensión *aux* y un directorio, con el mismo nombre del archivo anterior con archivos auxiliares, como la información *metadata*. Estos archivos se han utilizado en nuestra aplicación para la importación de las capas con las coberturas de potencia y los sistemas de potencia calculados mediante la herramienta RADIOGIS.

La unidad básica de un dato *raster* corresponde a la celda, unidades discretas de forma cuadrada dispuestas en filas y columnas y referenciadas cada una con su posición geográfica o coordenada *x, y*.

Tablas de atributos

La **información descriptiva** en un Sistema de Información Geográfica se almacena a través de tablas de atributos. Estas tablas contienen un identificador por medio del cual la información espacial (vectorial o *raster*) queda relacionada con la información descriptiva: modelo georrelacional.

Las tablas de atributos se organizan en filas y columnas. Cada fila es un registro que contiene características descriptivas diferentes pertenecientes a una misma característica geográfica, y cada columna o campo contiene valores de una misma característica descriptiva de diferentes características geográficas. En la figura 4 observamos un ejemplo de tabla de atributos asociada a la capa vectorial punto generada para una incidencia.

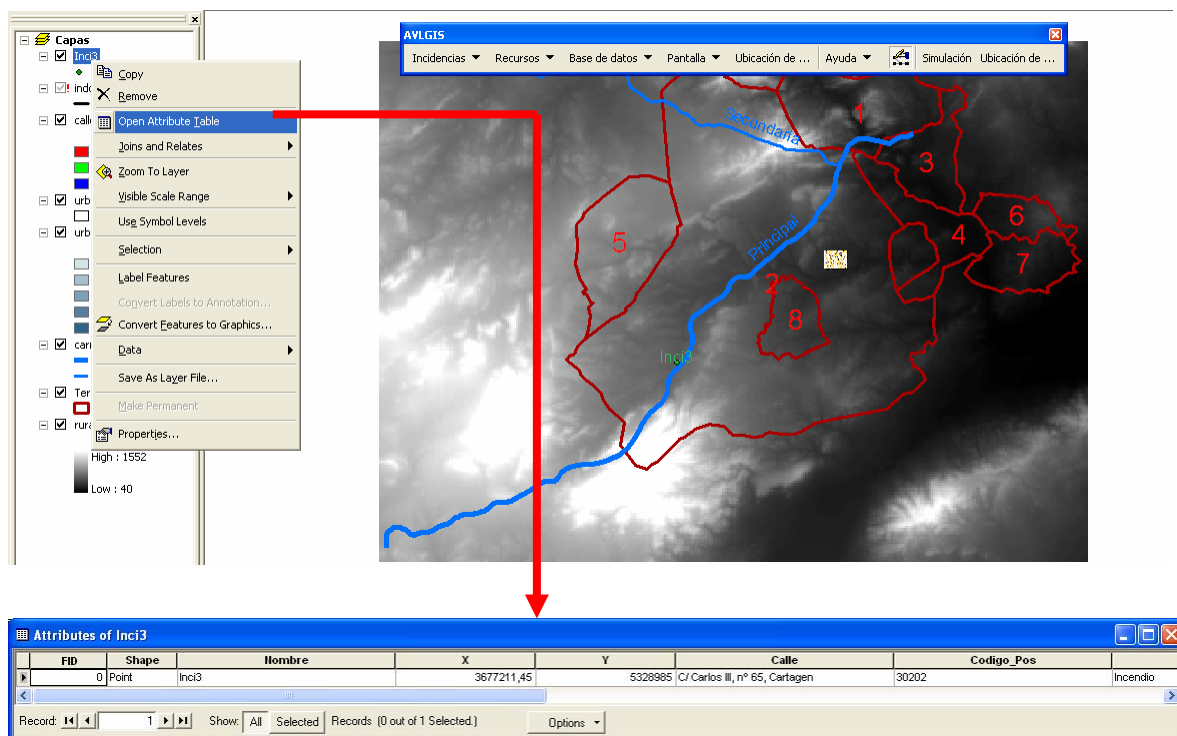


Figura 4. Ejemplo de tabla de atributos de la incidencia “Inci3” creada con la aplicación AVLGIS

Los Sistemas de Información Geográfica disponen de *software* para crear, manipular y almacenar tablas de atributos, así como para relacionarlas con bases de datos externas al propio SIG. El SIG permite separar toda esta información en diferentes *capas* temáticas, también llamadas *layers*, que a su vez están compuestas por las llamadas *features*. Estas capas se almacenan independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al usuario la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no se podría obtener de otra forma. Esta función es muy útil a la hora de generación de mapas en los que el usuario puede seleccionar aquella información que desea que aparezca.

2.3. Entorno de desarrollo ArcGIS Desktop

ArcGIS, constituye una solución completa que se adapta a las necesidades de cualquier usuario. Los distintos clientes constituyen un conjunto escalable de productos que permiten al usuario generar, importar, editar, consultar, cartografiar, analizar y publicar información geográfica. Bajo el nombre ArcGIS Desktop son comercializados los

sistemas ArcReader, ArcView, ArcEditor y ArcInfo, que comparten un mismo núcleo y un número de funciones variadas.

- **ArcReader:** Es una aplicación gratuita y de sencillo manejo que permite visualizar, explorar e imprimir mapas ya creados.
- **ArcView:** Incorpora a la funcionalidad de ArcReader funciones avanzadas de visualización, análisis y consulta de datos, así como la capacidad de crear y editar datos geográficos y alfanuméricos. Este sistema ha sido el utilizado durante el desarrollo de este proyecto.
- **ArcEditor:** Abarca toda la funcionalidad presente en ArcView y añade además, herramientas para la edición multiusuario de geodatabase corporativa así como la posibilidad de implementar topología basada en reglas.
- **ArcInfo:** Complementa la funcionalidad de ArcEditor, incorporando funciones avanzadas de geoprocésamiento, conversión de datos a otros formatos y sistemas de proyección, así como toda la funcionalidad aportada por el entorno de comandos de ArcInfo Workstation.

Cada uno de estos sistemas está compuesta por tres aplicaciones diferentes: ArcMap (permite visualizar, consultar, editar y realizar análisis sobre nuestros datos), ArcCatalog (semejante a Windows Explorer para datos espaciales) y ArcToolbox (conjunto de herramientas de conversión de datos).

Extensiones de ArcView, ArcEditor y ArcInfo

Una extensión de ArcGis es una herramienta que se puede cargar cuando se necesite una funcionalidad adicional. Varias extensiones vienen incorporadas con ArcGis, como también existen “extensiones opcionales” que proporcionan un análisis más avanzado y otras capacidades funcionales.

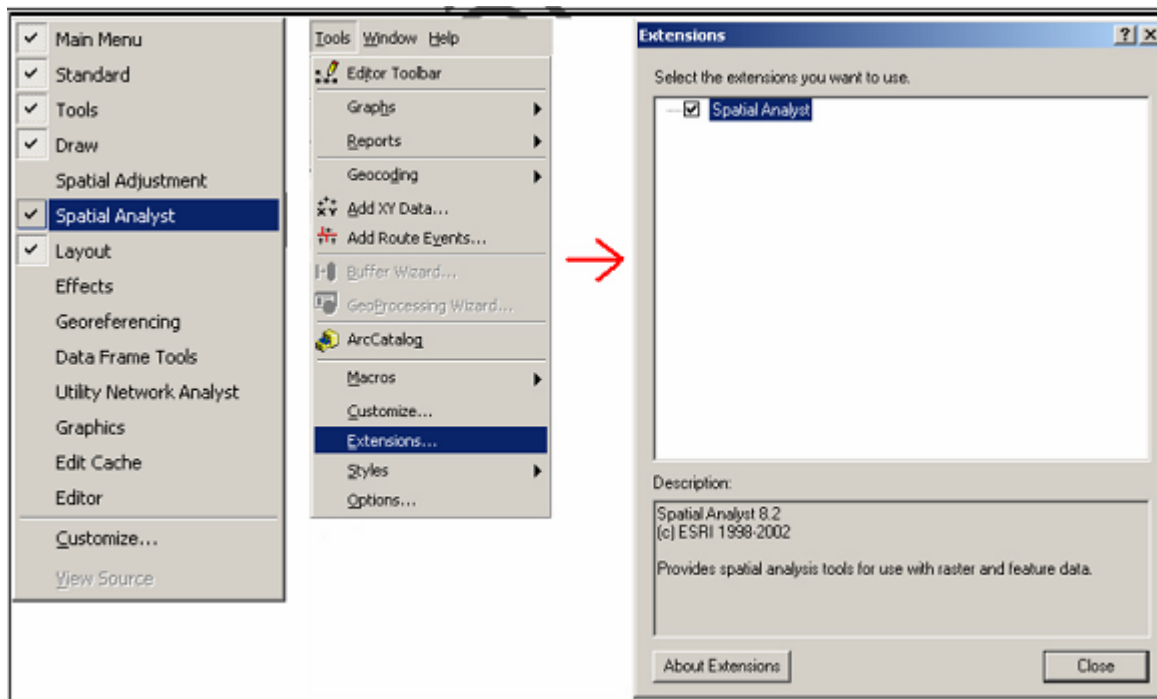


Figura 5. Activación de la Extensión Spatial Analyst

Programación en ArcGis

Para la programación se ha utilizado ArcObjects y Visual Basic para aplicaciones (VBA). ESRI ArcObjects es la plataforma de desarrollo para la familia de aplicaciones ArcGIS como ArcMap, ArcCatalog y ArcScene. ArcObjects es un espacio de trabajo que permite la creación de componentes específicos a partir de un *modelo de objetos*.

La tecnología ArcObjects cumple con las especificaciones COM (*Component Object Model*), y su empleo permite desarrollar nuevas herramientas y funciones, o crear flujos de trabajo para ArcGIS Desktop. También es posible, a través de desarrollos más avanzados, generar aplicaciones independientes que cumplan una funcionalidad concreta, así como añadir clases de elementos personalizadas para extender el modelo de datos de ArcGIS.

Todas las personalizaciones realizadas directamente con ArcObjects, se llevan a cabo a través de Visual Basic para aplicaciones (VBA) o lenguajes de programación que cumplen con las especificaciones COM, como Visual Basic, Visual C++ o Delphi. Además de las personalizaciones básicas que es posible realizar sin ningún desarrollo, en el interfaz de usuario de ArcCatalog y ArcMap, la tecnología ArcObjects permite personalizaciones más

avanzadas que pueden agruparse en dos categorías:

Personalización mediante VBA: El empleo de ArcObjects a través de VBA embebido en ArcGIS, permite añadir menús y herramientas personalizadas, así como flujos de trabajo al entorno de trabajo de ArcGIS. La combinación ArcObjects/VBA es una buena opción cuando se quiere desarrollar aplicaciones que se ejecutan en el entorno de ArcGIS Desktop (como es el caso de AVLGIS). Para la realización de este proyecto, se ha utilizado esta opción, es decir, el editor de Visual Basic.

Empleo directo de ArcObjects: A través de lenguajes COM como Visual Basic, Visual C++ o Delphi. Este desarrollo permite a programadores ampliar el modelo de datos de la geodatabase con elementos personalizados, y crear módulos de software reutilizables.

ArcGis tiene un modelo de datos geográficos de muy alto nivel, útil para representar información espacial tales como features (vectores), rasters y otro tipo de datos.

2.3.1. Introducción a ArcView

ArcView es una de las herramientas SIG más extendida en todo el mundo dadas sus avanzadas capacidades de visualización, consulta y análisis de información geográfica, además de las numerosas herramientas de integración de datos desde todo tipo de fuentes y herramientas de edición. Por sí solo, ArcView permite la explotación de toda la información tanto en sistemas monousuario como en sistemas departamentales, pero es al integrarse en la Arquitectura ArcGis donde se consigue una solución global en el manejo de información geográfica y escalable según las necesidades del usuario.

Las tres aplicaciones de ArcView permiten acceder a una gran variedad de funcionalidad que abarca todos los campos de trabajo y procesamiento necesarios en un SIG:

- **ArcMap:** Permite visualizar, consultar, editar y realizar análisis sobre nuestros datos.

- **ArcToolbox:** Es la herramienta que permite la realización de conversiones entre formatos, cambios de proyección y ajuste espacial.
- **ArcCatalog:** Constituye un avanzado explorador de datos geográficos y alfanuméricos, pensado para la visualización, administración y documentación de la información.

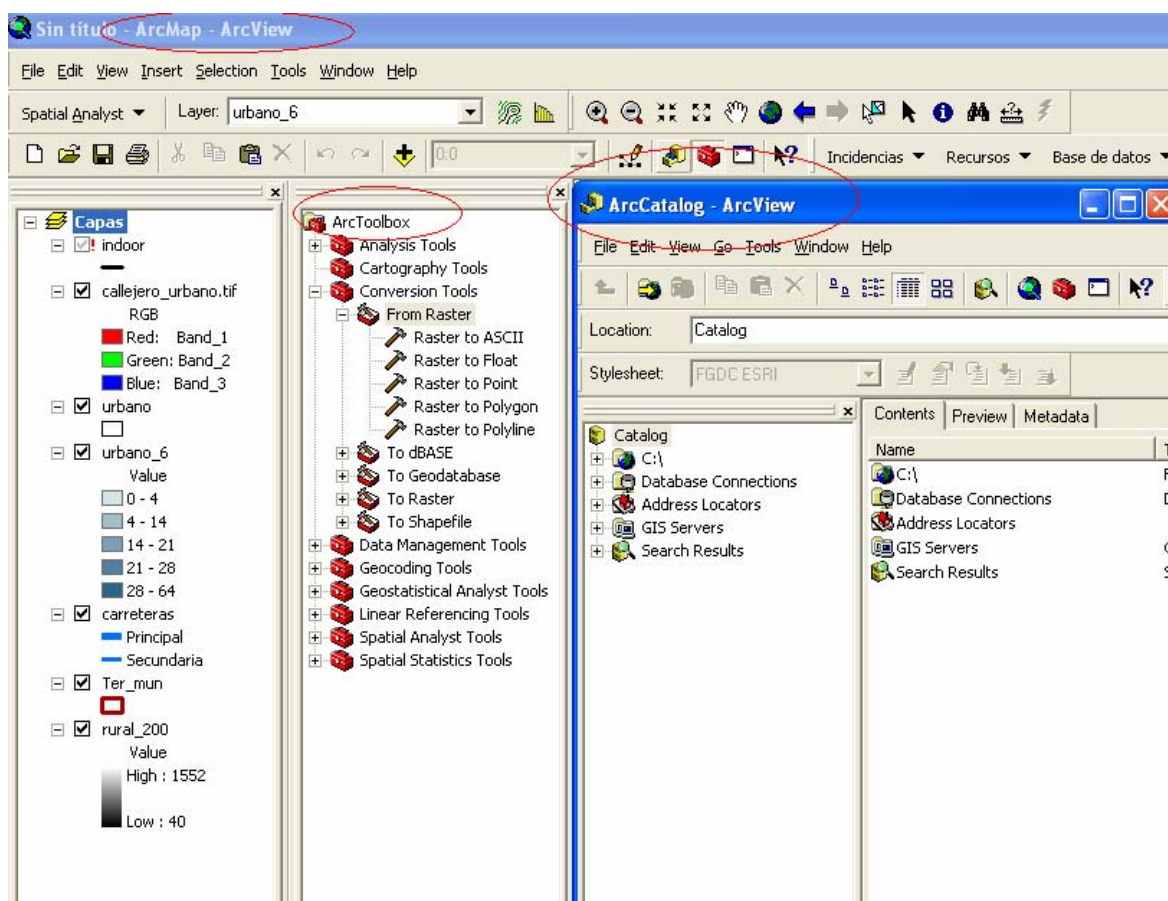


Figura 6. Visualización de las tres aplicaciones que componen ArcView

Introducción a ArcMap

Permite la visualización y consulta de varias capas de forma simultánea, gracias a herramientas como la ventana de aumento, la ventana de situación o los marcadores espaciales, así como la posibilidad de aplicar porcentajes de transparencia a las capas tanto vectoriales como *raster*.

ArcMap incorpora numerosas herramientas de edición de Geodatabases monousuario y ficheros Shapefile. Con estas herramientas se asegura la creación y el mantenimiento de la integridad de la información geográfica de forma rápida y sencilla. Mediante la topología implícita o topología de mapa se controlan las relaciones espaciales existentes entre los elementos elegidos, las cuales se mantienen durante el proceso de edición. Junto con las operaciones de generación de zonas de influencia y geoprocésamiento, ArcMap incorpora innumerables funciones para el análisis SIG.

La multitud de librerías de simbología especializada, herramientas de etiquetado y plantillas hacen de ArcMap la aplicación ideal para la producción cartográfica de alta calidad. Todas las pestañas que presenta la interfaz ArcMap pueden esconderse, configurarse e incluso existe la posibilidad de añadir como macros nuevas pestañas diseñadas por nosotros, ésta es la opción que nos ha permitido el desarrollo de nuestra aplicación.

Mediante el uso de VBA generaremos las macros que irán llamando a las diferentes funciones para la creación de nuevas incidencias y recursos, consultas a las bases de datos implicadas, representación de mapas de cobertura, representación de sistemas, y en general todo lo que hemos programado para ArcMap.

Introducción a ArcToolbox

Permite administrar, organizar, crear y previsualizar tanto datos geográficos como alfanuméricos. Incorpora una potente herramienta para la creación y mantenimiento de metadatos, que sigue los estándares FGDC (*Federal Geographic Data Committee*) e ISO (*International Organization for Standardization*), si bien estos estándares pueden ser ampliados mediante personalizaciones realizadas directamente por el usuario.

Introducción a ArcCatalog

Permite el acceso a numerosas herramientas para conversión de datos a otros formatos, cambio de proyecciones y ajuste espacial. Estas herramientas, organizadas temáticamente y mediante el empleo de intuitivos asistentes, permiten realizar dichas funciones de forma sencilla e inmediata.

CAPÍTULO 3.

SISTEMA TETRA

3.1. Introducción

El sistema TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*) ha sido diseñado para satisfacer las necesidades de los usuarios de la radio móvil privada (PMR), la radio móvil terrestre (PLM), la radio móvil de acceso público (PAMR), y las aplicaciones públicas de protección y seguridad, tales como la policía, cuerpos de bomberos, ambulancias, etc.

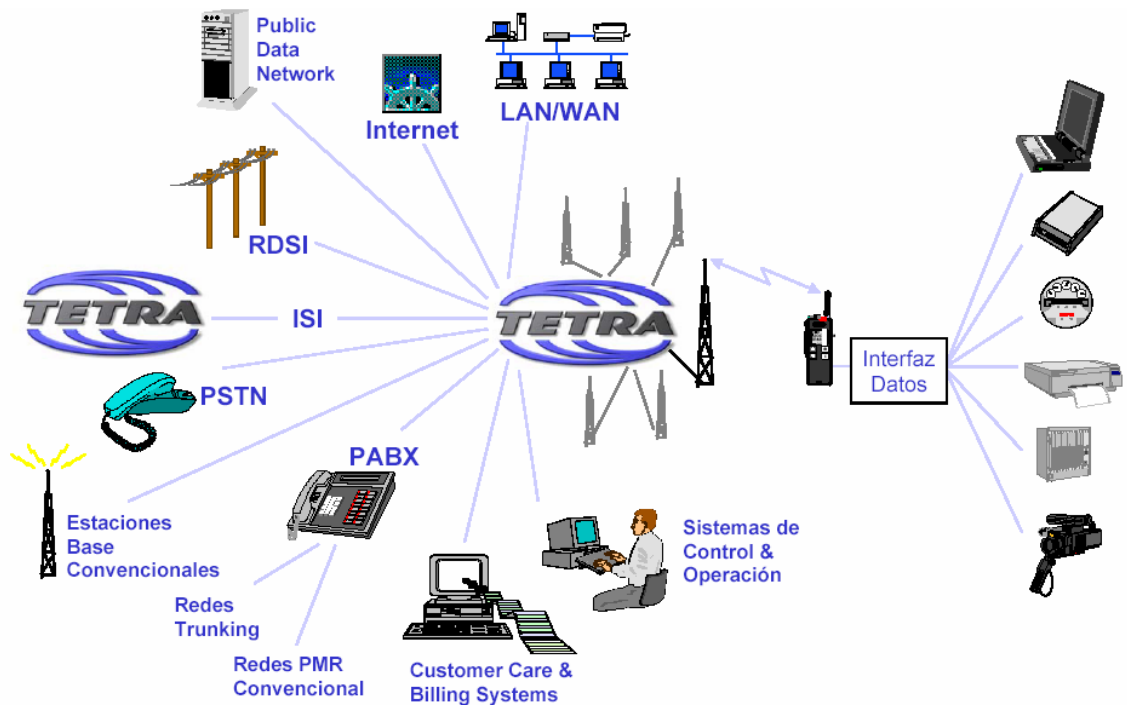


Figura 7. Integración TETRA

3.2. Características del sistema

Las principales características radioeléctricas en la interfaz radio son las recogidas en la siguiente tabla:

Vista General	
Bandas de frecuencia	Asignado de acuerdo al ETSI TS 100392-15
	870 a 876 MHz (UL), 915 a 921 MHz (DL) 380 a 390 MHz (UL), 390 a 400 MHz (DL) 410 a 420 MHz (UL), 420 a 430 MHz (DL) 450 a 460 MHz (UL), 460 a 470 MHz (DL)
Ancho de banda del radiocanal	25 kHz
Modulación	$\pi/4$ DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying, phase shifts of $\pi/4$)
Velocidad de transmisión	36 kbit/s
Bits por símbolo	2
Técnica de acceso y Método de duplexado	TDMA (<i>time-division multiple access</i>) /FDD (<i>frequency division duplex</i>)
Número de canales por portadora	4 <i>time slots</i> por trama TDMA (56.67 ms) 14.167 ms por <i>time slot</i> teniendo 255 símbolos, Canal de control BCCH en el time slot 1
Control de potencia	Cada 5 dB, desde 15 dBm a 45 dBm

Otras de las características de este sistema TETRA para soportar las necesidades de todos los grupos de usuarios, son:

- Reducido ancho de banda (en Europa se adapta perfectamente al espaciado de canales de 25 kHz que se utiliza para los sistemas analógicos)
- Soporta la transmisión de voz y datos a diversas velocidades
- Posibilidad de codificar los canales para prevenir escuchas ilegales
- Rapidez en el establecimiento de llamada
- Llamadas duplex y semiduplex (operación del tipo “pulsar para hablar”)
- Llamadas individuales y de grupo

- Canales de difusión
- Soporta el modo directo de operación en casos de emergencia donde no se encuentre una red accesible (por ejemplo, en casos de salvamento en túneles)
- Soporta la transmisión de paquetes de datos (PDO) y de alta velocidad (BRAN)

3.3. Estructura de red

En la figura 8 podemos observar una posible estructura de red del sistema TETRA. Las estaciones base TETRA, que sirven de conexión vía radio de los terminales con el sistema, están controladas por un centro de conmutación (MSC) que puede hacer de interfaz con otras redes TETRA o con otras redes fijas.

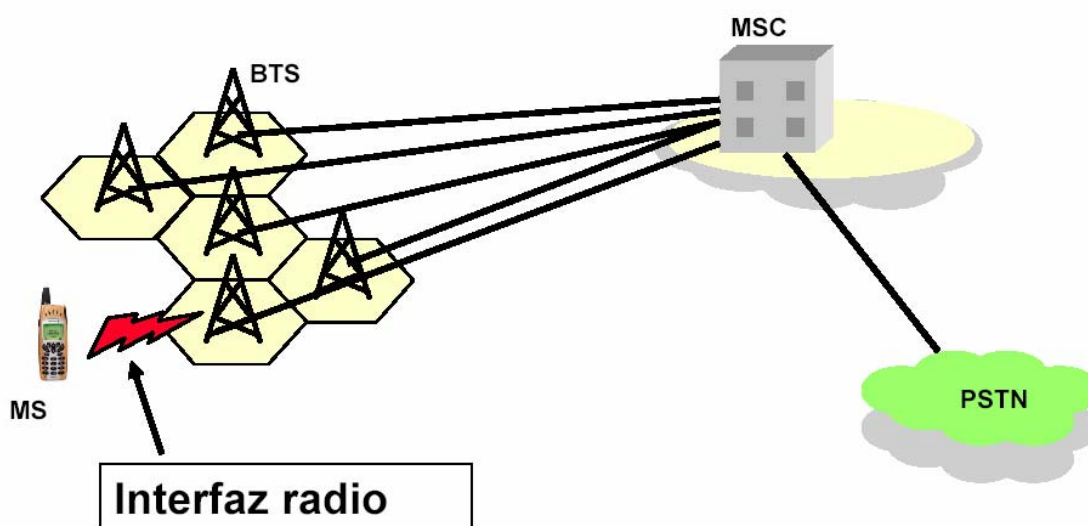


Figura 8. Estructura de red

En la Interfaz radio, TETRA es un estándar TDMA similar al estándar GSM, y utiliza cuatro ranuras de tiempo para la portadora cuyo ancho de banda es de 25 kHz. De forma similar al GSM, la primera ranura de tiempo de la primera portadora trasmite el BCCH, un canal lógico que transporta la sincronización, y datos de control.

La comunicación entre la radio móvil y la estación base está dividida en dos bandas, una para el canal ascendente y otra para el descendente (dúplex por división de frecuencia, FDD).

TETRA utiliza una modulación por desplazamiento de fase diferencial en cuadratura $\pi/4$ DQPSK (*Differential Quaternary Phase Shift Keying*). Este tipo de modulación es altamente eficiente con los recursos espectrales, pero requiere una gran linealidad en todos los componentes de RF, especialmente en los amplificadores de potencia de RF de los radios.

Los servicios TETRA están basados en tres tipos de servicios principales con diferentes interfaces radio, todos ellos especificados por la ETSI:

- Voz y datos (V+D): Transmisión de voz y datos a través de circuitos conmutados. (ETS 300 392)
- Paquete optimizado de datos (PDO): Tráfico de datos basado en la conmutación de paquetes. (ETS 300 393)
- Modo directo (DMO): Transmisión de voz unidireccional (simplex) entre dos sistemas móviles sin utilizar una red. Sobre un canal físico se pueden establecer dos llamadas DMO simultáneas. (ETS 300 396)

Características

Los servicios de voz y datos en el sistema TETRA fueron especialmente estandarizados para satisfacer las necesidades de todas las administraciones de seguridad. Los usuarios del antiguo sistema PMR y de los sistemas públicos de radio para protección y seguridad no necesitan cambiar el comportamiento de sus comunicaciones, ya que casi todas las características de estos sistemas ahora también están disponibles en TETRA. Además también se dispone de muchos servicios adicionales. Los servicios TETRA están divididos en teleservicios, servicios de portadora, y servicios adicionales.

3.4. Balance de Enlaces

Introducción

En la actualidad existen multitud de sistemas celulares, como por ejemplo los de telefonía móvil. En la planificación de estos, es importante el cálculo del área de cobertura de cada una de las estaciones base que forman la red, es decir, la región en la que es posible la conexión vía radio entre la red y el terminal móvil. Para el cálculo de estas áreas se recurre al análisis del balance de potencia que existe entre la Estación Base y el terminal. El radio teórico de la célula (ver figura 9) vendrá dado por la distancia máxima (R_{max}) para la cual la potencia recibida tanto en el terminal como en la estación base son mayores que un cierto umbral llamado sensibilidad.

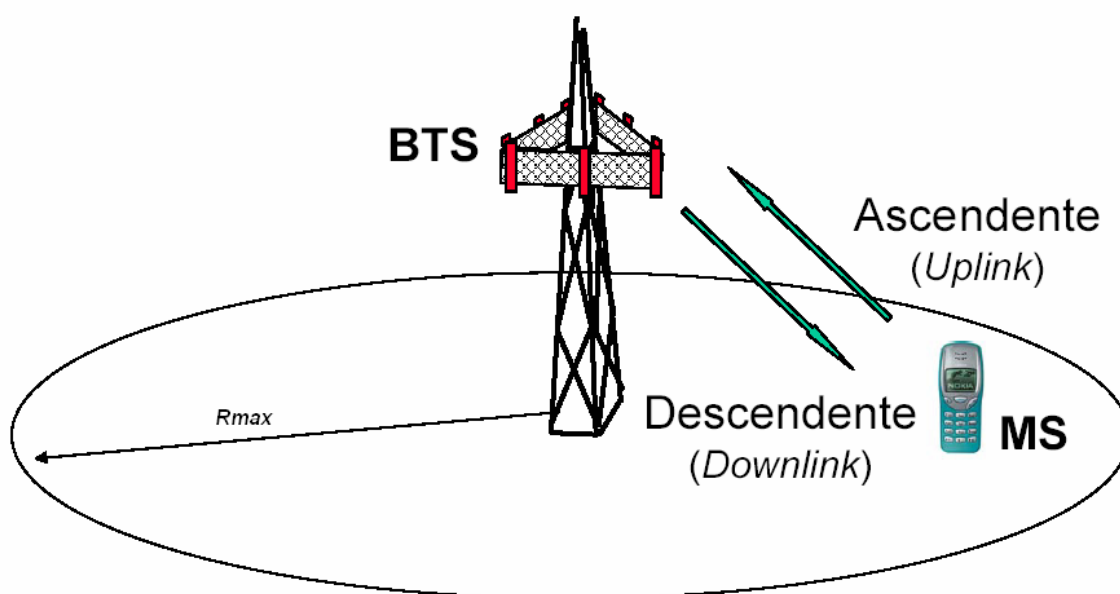


Figura 9. Esquema de la comunicación bidireccional vía radio

De entre todos los sistemas celulares que podemos encontrar actualmente (GSM, DCS, UMTS, TACS, TETRA...) a continuación se realizará el cálculo del balance de potencia correspondiente al sistema de red que nos interesa, el sistema TETRA.

Parámetros Balance

Para realizar un balance de potencias es necesario como punto de partida los parámetros correspondientes a la estación base y a los terminales. Puesto que cualquier cobertura radioeléctrica de comunicación bidireccional (ver figura 9) viene delimitada por el peor enlace, realizamos primero el balance de potencias de los enlaces descendente (Transmite la Estación Base y recibe el Terminal Móvil) y ascendente (Transmite el Terminal Móvil y recibe la Estación Base). Para ello, se han tomado de catálogos de material y equipos TETRA, los siguientes parámetros para la estación base y el móvil:

Transmisión	Unidades	Estación Base	Terminal Móvil
Banda de Frecuencias	MHz	390 - 395	380 - 385
Potencia de Tx	W	25	1
Tipo de Combinador		Unión híbrida	
Pérdidas de Inserción para 2 Tx	dB	4	
Pérdidas de Inserción para 3/4 Tx	dB	7,5	
Tipo de cable alimentador de antena		CELLFLEX ½"	RG58
Atenuación del alimentador de antena	dB/100m	5	35
Longitud del cable de antena	m	10	2
Sistema Radiante (antena)		Colineal	De varilla
Ganancia de la antena	dBd	11	0
Otras pérdidas	dB	0	0,45

Recepción	Unidades	Estación Base	Terminal Móvil
Banda de Frecuencias	MHz	380 – 385	390 - 395
Sensibilidad dinámica	dBm	-107	-103
Ganancia del multiacoplador	dB	2	0
Tipo de cable alimentador antena		Cellflex 1/2"	RG58
Atenuación del alimentador antena	dB/100m	5	35
Longitud del alimentador de antena	M	10	2
Sistema radiante (antena)		Colineal	De varilla
Ganancia de la antena	dBd	11	0
Otras pérdidas	dB	0	2

Balance

A continuación se presenta cómo podría ser el aspecto de un balance de potencias. Las expresiones de cada parámetro vienen indicadas en la tabla siguiente:

	Transmisión	Uds	Cálculo Realizado
Pt	Potencia Tx	dBm	$10 \cdot \log(P_{tx}(W)) + 30$
Giet	Ganancia Isótropa efectiva Tx	dB	$G_{antena} + 2,15 - L_{insercion} - L_{otras} - A_{tenu(alimentador)} \cdot L_{ongitud(alimentador)} / 100$
PIRE	Potencia isótropa radiada equivalente	dBm	$P_t + G_{iet}$
Recepción			
Sd	Sensibilidad dinámica	dBm	Sd
Gier	Ganancia isótropa efectiva Rx	dB	$G_{multiaco} + G_{antena} + 2,15 - L_{otras} - A_{tenu(alimentador)} \cdot L_{ongitud(alimentador)} / 100$
Pu din	Potencia isótropa umbral dinámica	dBm	Sd – Gier
Lb máx din	Pérdidas de propagación máx. dinámica	dB	PIRE – Pu din

Realizando dichos cálculos, considerando los valores de los parámetros indicados anteriormente, obtenemos los siguientes resultados:

Transmisión		Base a Móvil (Rx dinámica)	Móvil a Base (ascendente)
Pt(dBm)	Potencia Tx	43,9	30
Giet (dB)	Ganancia Isótropa efectiva Tx	8,65	1
PIRE(dBm)	Potencia isótropa radiada equivalente	52.62	31
Recepción			
Sd(dBm)	Sensibilidad dinámica	-103	-107
Gier(dB)	Ganancia isótropa efectiva Rx	-0,55	14,65
Pu din(dBm)	Potencia isótropa umbral dinámica	-102,45	-121,65
L máx (dB)	Pérdidas máximas admisibles	155	152,65

Una vez obtenidos los resultados, se pueden identificar las pérdidas máximas que se pueden compensar en el caso de recepción para los enlaces ascendentes y descendentes si se trata de equipos móviles.

La siguiente figura presenta de forma esquemática los elementos de un balance de potencias. Las pérdidas máximas admisibles se calcularían evaluando PIRE – PIU.

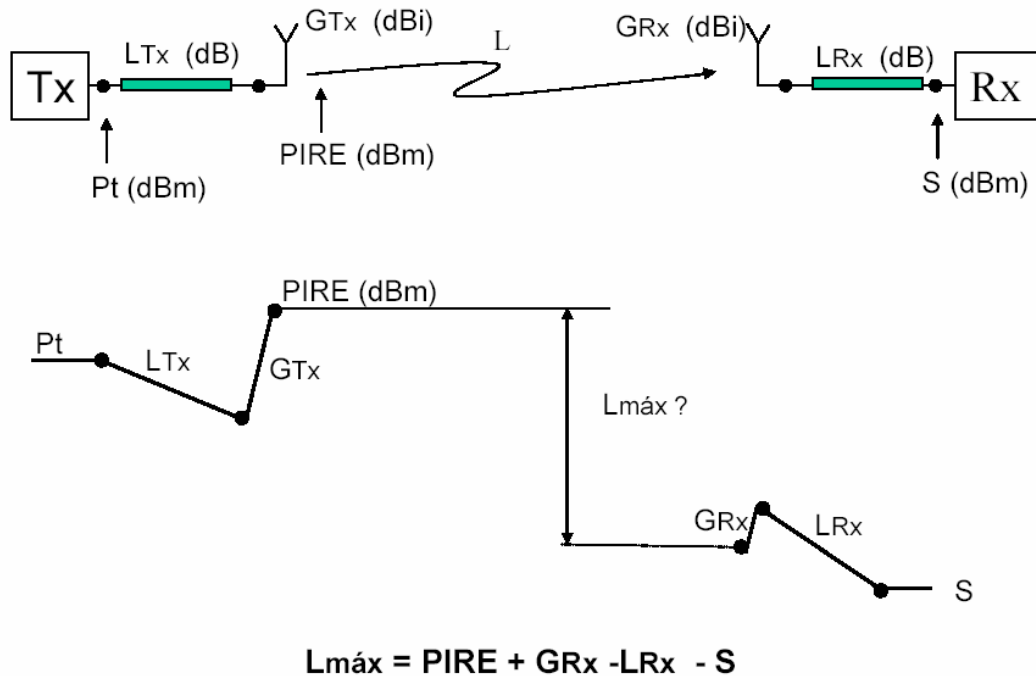


Figura 10. Elementos implicados en un balance de potencias

Tras los cálculos se ha obtenido que el peor enlace (aquél que admite unas pérdidas máximas admisibles menores) es el ascendente (de móvil a base), considerando recepción dinámica, es decir, cuándo el móvil se encuentra en movimiento. Por tanto la cobertura de un sistema de potencia, cuyos equipos (estaciones base y móviles) tengan estas características, estará limitada por este enlace.

3.5. Cálculos radioeléctricos. – RADIOGIS

En este apartado se hace una introducción a la aplicación RADIOGIS, una herramienta de gestión y análisis de sistemas de radiocomunicaciones basada en el Sistema de Información Geográfica (SIG) ARCVIEW 9.1 y desarrollada por el Grupo de Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo) de la Universidad Politécnica de Cartagena.

RADIOGIS aprovecha todas las facilidades de tratamiento de la información de los SIG, y es tanto un software de gestión de bases de datos de sistemas de radiocomunicaciones como una potente herramienta para el cálculo radioeléctrico, incorporando diversos modelos de propagación para entornos abiertos, urbanos e interiores.

En los siguientes apartados se comentan algunas de las funciones más interesantes de dicha herramienta y sobre las que se ha trabajado para la realización de este proyecto.

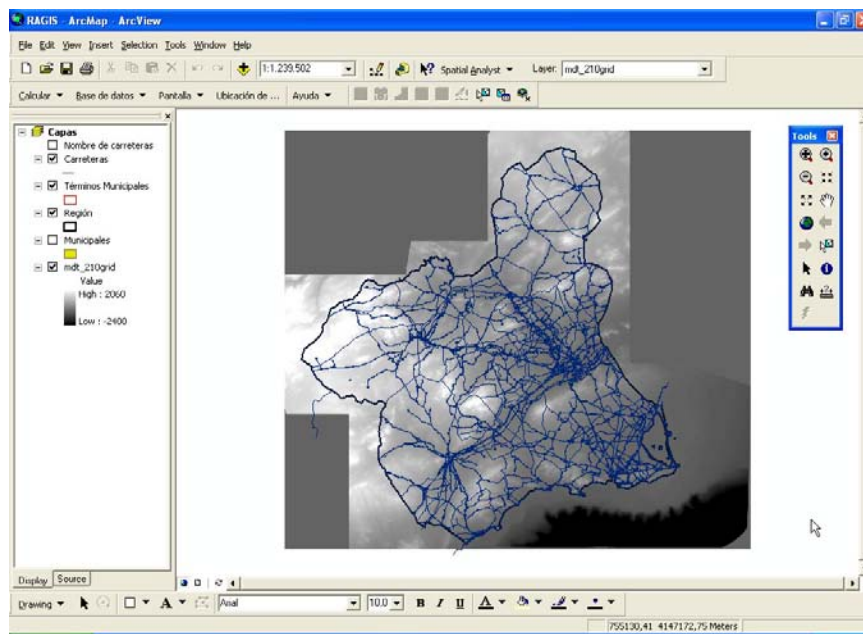


Figura 11. Aspecto general de RADIOGIS en Arcview 9.1

Algunas funcionalidades de RADIOGIS

Gestión de Bases de Datos

RADIOGIS se comporta como un importante gestor de bases de datos de coberturas radioeléctricas, sistemas de potencia, mapas de densidad de potencia y campo eléctrico, cálculos de porcentajes de cobertura, bases de datos de emplazamientos y campañas de medidas.

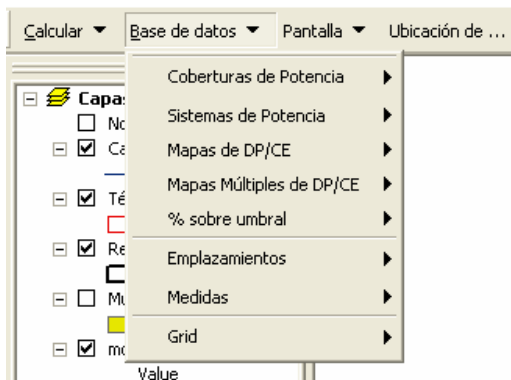


Figura 12. Menú de Base de datos de la herramienta RADIOGIS.

La *base de datos de coberturas radioeléctricas* contiene registros con las distintas coberturas radioeléctricas calculadas y guardadas con anterioridad. Cada cobertura consiste en una estructura de tipo *raster* donde se almacenan los valores de potencia para cada una de las celdas de la zona donde se ha calculado la cobertura. Esta estructura de tipo *raster* tiene a su vez asociada una estructura de tipo vectorial cuya *tabla de atributos* contiene información relativa a los parámetros que se han utilizado durante la simulación (PIRE, Sensibilidad del receptor, frecuencia, diagrama de radiación de las antenas, orientación del diagrama, modelo de propagación, etc.).

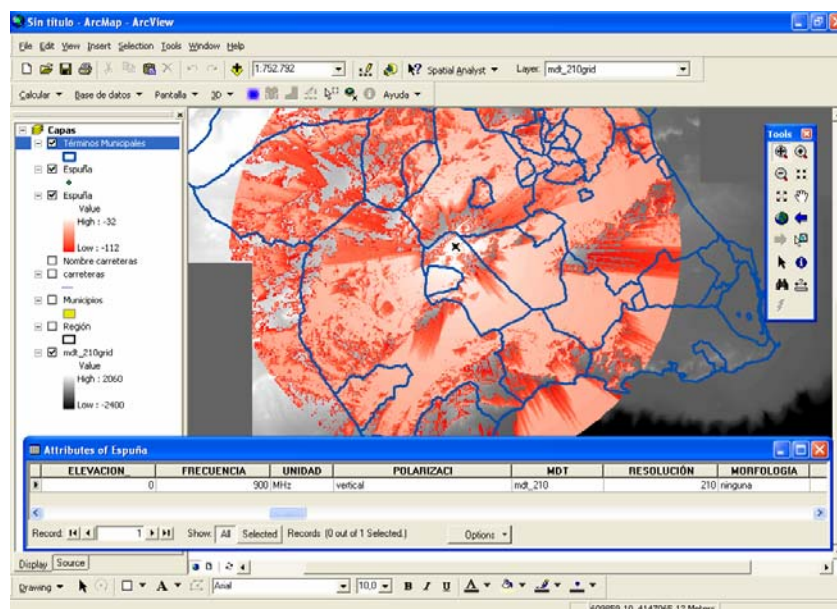


Figura 13. Cobertura radioeléctrica. Mapa de cobertura radioeléctrica de una estación base y su tabla de atributos asociada.

La *base de datos de sistemas de potencia y mejores servidores* tiene una estructura semejante a la base de datos de coberturas. Por un lado disponemos de un *raster* donde se almacenan los valores de potencia (sistemas de potencia) para las distintas celdas y por otro lado esta estructura tiene asociada una tabla de atributos donde se incluyen todas aquellas coberturas que forman parte del sistema calculado

En el caso de la *base de datos de emplazamientos*, el usuario, además de emplazamientos individuales (para cada emplazamiento se genera una *capa vectorial* con su *tabla de atributos* asociada que contiene información relativa a la posición geográfica, etc.), puede definir *grupos de emplazamientos* aprovechando las estructuras de datos que ofrece Arcview 9.1.

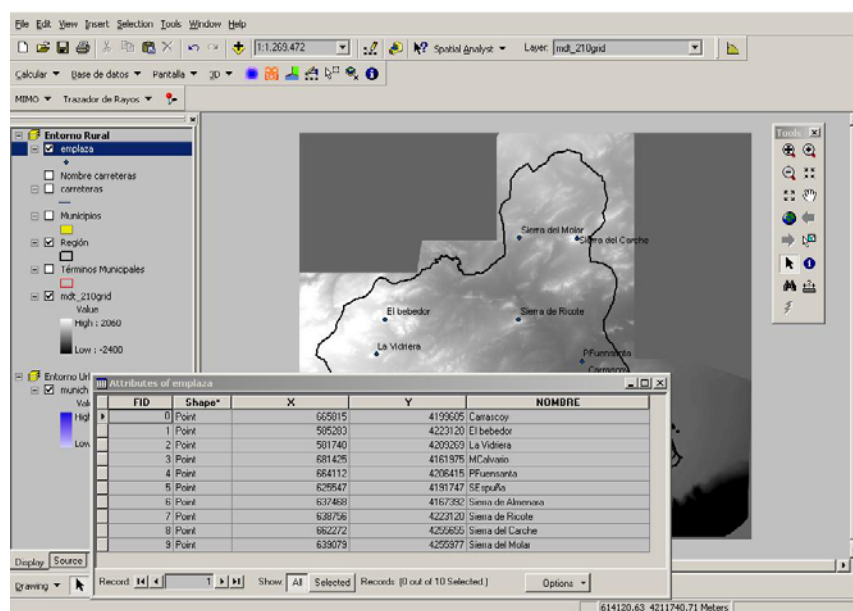


Figura 14. Base de datos de emplazamientos. Capa vectorial de un emplazamiento con su tabla de atributos.

Con la *base de datos de porcentajes* se dispone de un registro de los cálculos que el usuario realice para determinar el grado (porcentaje) de cobertura que se dispone en una determinada zona (cualquier *capa vectorial* como un término municipal, autopista, carretera nacional, etc). Para ello en la estructura de tipo *raster* se almacena información referente a si hay o no cobertura en cada una de las celdas y se le asocian diversas gráficas obtenidas a partir de los resultados calculados.

Por último, cabe indicar que RADIOGIS también dispone de una *base de datos de medidas*, cuyos registros se guardan en formato de ficheros con extensión *.dbf* importables y editables desde la herramienta. Cargando dichas campañas de medidas el usuario puede visualizar en pantalla los distintos puntos donde éstas se han realizado y, por tanto, seguir el trayecto recorrido durante la elaboración de la campaña.

Cálculos radioeléctricos

Otra de las funciones importantes que presenta RADIOGIS es la realización de diferentes tipos de cálculos radioeléctricos. De esta forma, la herramienta permite realizar *cálculos de coberturas de potencia*, definiendo todos aquellos parámetros que son necesarios para dicho cálculo. Así el usuario debe ir recorriendo los distintos menús e introducir los valores de PIRE, sensibilidad, frecuencia, zona de cálculo, etc. Una vez realizados dichos cálculos el GIS muestra en pantalla los resultados en forma de capa de tipo *raster* donde para cada celda tenemos el valor de potencia asociado.

RADIOGIS también permite el *cálculo de sistemas de potencia* (Figura 15) para los que el usuario debe determinar, entre otros, cuáles son los emplazamientos que quiere que formen parte de los sistemas.

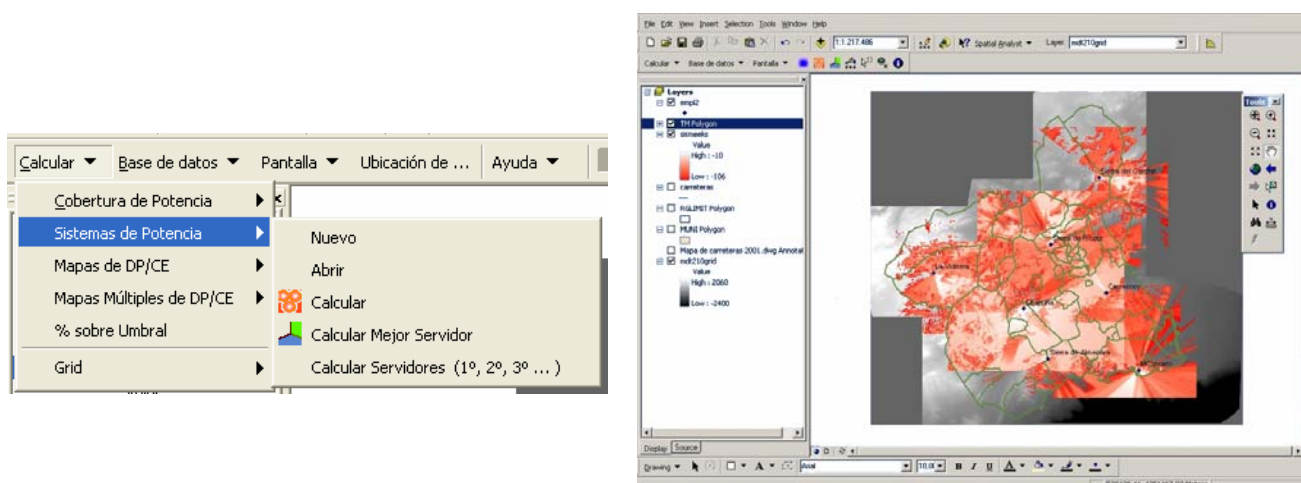


Figura 15. Sistema radioeléctrico. Opciones del menú de cálculo de sistemas y representación de un mapa calculado.

Dentro de este submenú existen las opciones de *‘Calcular mejor servidor’* y *‘Calcular mejores servidores (1º, 2º, 3º ...)’* que realizan mapas con las bases servidoras que cubren en cada punto de la zona de cobertura.

Asimismo, la herramienta permite realizar el *cálculo de porcentajes de cobertura* sobre una zona determinada. En este caso el usuario debe seleccionar un sistema de potencia o cobertura radioeléctrica y una zona del mapa (representada por una capa vectorial) donde quiera realizar los cálculos de porcentaje y un valor de potencia a modo de umbral sobre el que se calculará el porcentaje de cobertura que lo supera sobre el área total seleccionada. RADIOGIS genera un mapa con las diferentes zonas de cobertura o no cobertura de cada uno de los emplazamientos que forman el sistema.

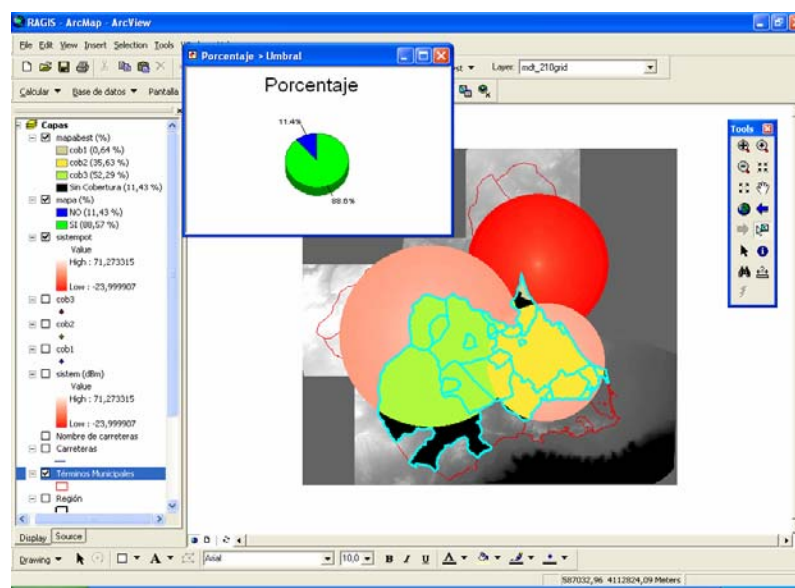


Figura 16. % sobre umbral. Cada color representa a un emplazamiento distinto. Los porcentajes de cobertura se detallan en la ventana de la izquierda.

CAPÍTULO 4.

SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN AUTOMÁTICA DE VEHÍCULOS

4.1. Introducción a los sistemas AVL

El sistema AVL es un sistema mediante el cual en un mapa digitalizado en una computadora se puede localizar un vehículo terrestre, aéreo o marítimo que se encuentra en la superficie del globo terrestre, bien sea sobre el agua, la tierra o el aire, gracias a un sistema denominado GPS (Sistema de Posicionamiento Geográfico Satelital). El sistema GPS esta conformado por más de una veintena de satélites que hace algunos años el Departamento de Defensa de Los Estados Unidos de América puso en órbita alrededor de la tierra. Dichos satélites inicialmente fueron enviados con fines militares, pero posteriormente fueron donados a la humanidad para aplicaciones civiles. Estos satélites están ubicados en el espacio de tal manera que cubren la totalidad del globo terrestre, garantizando que desde cualquier punto del planeta se puede recibir simultáneamente, mínimo la señal de tres satélites.

Estos satélites están enviando permanentemente unas señales de radio que pueden ser percibidas por un receptor, donde se puede conocer con un error no mayor a 200 metros su ubicación geográfica en términos de longitud, latitud y altitud. Este receptor se denomina receptor GPS y es una unidad muy similar a una calculadora electrónica de bolsillo en cuyo interior posee una antena.

A partir de esta tecnología se han desarrollado diversas aplicaciones: topografía, navegación, prácticas deportivas, seguimiento y localización vehicular, etc. El sistema AVL, que como se acaba de mencionar es una de las tantas aplicaciones surgidas de disponer del sistema GPS, aprovecha la información que se tiene en el receptor GPS de un vehículo y la transmite a un centro de control donde se encuentra instalada una computadora que posee un mapa digitalizado de la ciudad o región de operación. En este mapa se puede visualizar, en forma de icono, la ubicación del vehículo deseado, en este proceso de transmisión de información y posterior representación de la ubicación se basará el apartado de simulación integrado en la aplicación desarrollada en nuestro proyecto, en la siguiente figura mostramos un ejemplo de una de estas simulaciones.

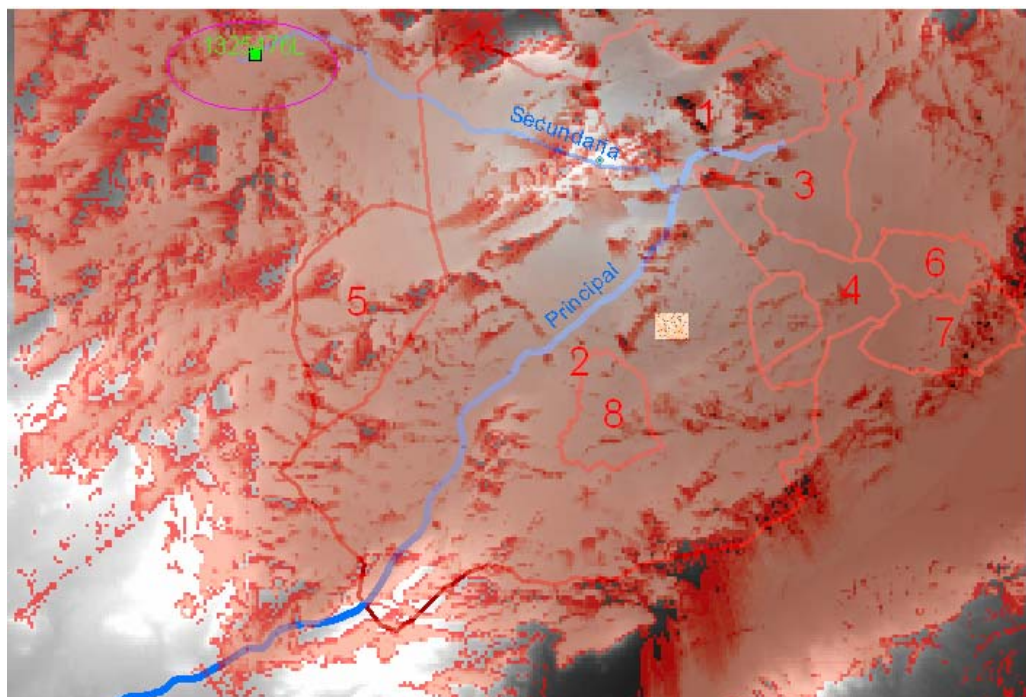


Figura 17. AVLGIS: Simulación de la llegada de las coordenadas GPS y su representación vectorial en ArcMap, utilizando la herramienta AVLGIS desarrollada

Explicando de una manera más detallada el principio de funcionamiento del AVL, tendríamos el siguiente proceso:

1. Las señales de los satélites son recibidas por el receptor GPS de un vehículo determinado.
2. Dicho receptor entrega esta información mediante una interfaz al medio de comunicación existente. Este medio puede ser vía radio convencional, radio troncalizado, teléfono celular o radio satelital (en los sistemas más sofisticados y costosos).
3. La información enviada por el vehículo es recibida en el centro de Control.
4. Mediante otra interfaz es entregada a la computadora que posee el mapa digitalizado, convirtiendo esta información en un icono sobre dicho mapa. La ubicación del vehículo se puede obtener a voluntad del operador del sistema, cuando él interroga manualmente la unidad respectiva, denominándose esto localización del vehículo. Otra forma es de manera automática cuando el sistema interroga cada determinado tiempo la unidad respectiva, obteniéndose cada vez una

actualización de su ubicación. Esto último se denomina seguimiento vehicular. Tanto la interrogación del vehículo como su respuesta se realiza a través del radio en mención.

4.2. Equipos requeridos para el sistema AVL

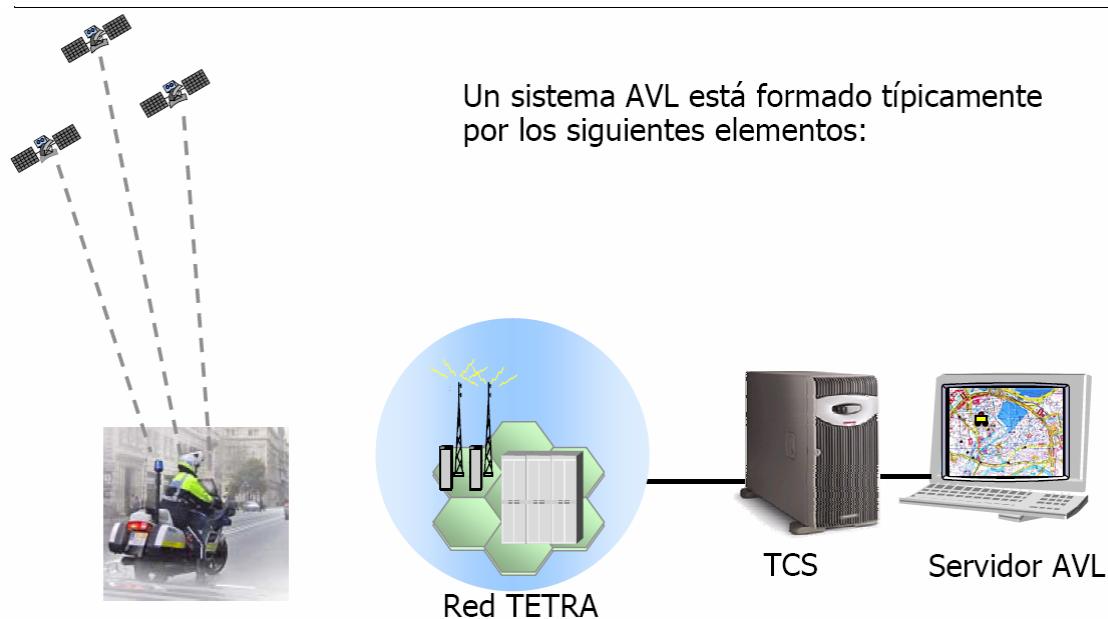


Figura 18. Elementos que componen un Sistema AVL

Los equipos requeridos para el sistema AVL, podemos clasificarlos en dos grupos: los equipos del Centro de Control y los equipos de los vehículos.

Equipos del Centro de Control

El Centro de Control normalmente está conformado por los siguientes equipos: un radio cuyo tipo depende del sistema que se esté utilizando (convencional, troncalizado o celular), con sus respectivas antenas. Una interfaz entre el radio y la computadora principal (servidor) y una computadora o una red local de computadoras dependiendo de la cantidad de terminales que se requieran en el Centro de Control.

Adicionalmente se puede tener una pantalla gigante en un auditorio o un salón múltiple, cuando un grupo de personas requieran coordinar alguna actividad en caso de alguna eventualidad. Por ejemplo, un Comité de Emergencia.

Equipos vehiculares

En resumen, los equipos que se requieren para los vehículos son: receptor GPS (con su respectiva antena) y la interfaz entre éste y el radio, esto normalmente está incorporado en una misma unidad. El radio de comunicaciones con sus respectivas antenas. Para cada vehículo se requiere un kit de elementos como los mencionados.

En todo caso para el medio de comunicación entre los servicios de emergencia y el Centro de Control se puede utilizar la Red de Radio Troncalizada (la red TETRA), bien sea con radios independientes o con los mismos radios que se utilicen para la transmisión de voz, puesto que estos sistemas pueden soportar transmisión de datos y voz. De esta manera se puede aprovechar la infraestructura creada para la Red de Radio, adicionándole los elementos necesarios para la transmisión de datos. La información que se cursa entre los vehículos y el Centro de Control y viceversa, simplemente son datos.

3.3. Implementación de los sistemas AVL

Los servicios de localización pueden implementarse de distintas formas. La solución que se elija dependerá fundamentalmente de los requisitos de los usuarios. Los métodos usados más frecuentemente son:

- Identificación de la estación base de radio TETRA.
- Localización basada en la red.
- Localización basada en GPS (Global Positioning System)

A la hora de dimensionar la red, las aplicaciones de localización AVL basadas en GPS son generalmente las más importantes, puesto que son las que causan típicamente la mayor carga del interfaz radio, debido al corto intervalo existente entre mensajes y la gran cantidad de usuarios a localizar.

4.4. Comportamiento del tráfico

La señalización en el interfaz radio incluye:

- Información de Localización (SDS) enviada desde el vehículo.
- Acuses de recibo (ACK) enviados desde la estación base (TBS).
- Posibles señales de control o *polling* enviadas desde el servidor AVL.

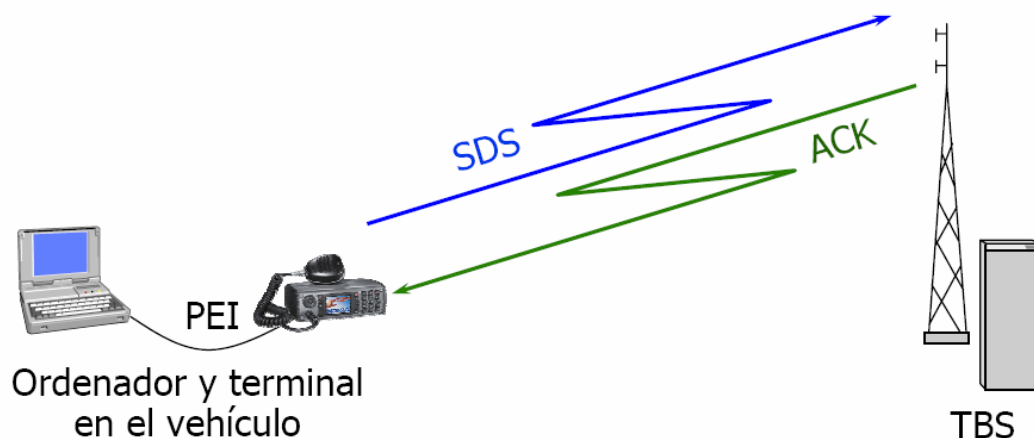


Figura 19. Representación del tráfico de señalización en un Sistema AVL

La carga en el interfaz radio depende de:

- La cantidad de vehículos registrados en la misma estación base.
- Intervalo al que se envían periódicamente los datos.
- Cantidad de datos enviados en cada mensaje.

4.5. Uso eficiente de los recursos

Los datos GPS contienen típicamente una cierta cantidad de información redundante, se debe intentar minimizar la cantidad de información transmitida sobre el interfaz aire sin disminuir la calidad de servicio percibida. Las siguientes reglas básicas pueden reducir de forma significativa la carga causada por un usuario AVL, esto permite ofrecer un mejor grado de servicio a los usuarios finales e incrementar la cantidad potencial de usuarios atendidos por la red:

- Minimizar la longitud de los mensajes AVL
- Enviar mensajes AVL sólo cuando sea necesario
- Implementar técnicas que eviten la congestión

4.6. Sistemas AVL aplicados a los servicios de emergencia

La coordinación entre los distintos cuerpos de seguridad y emergencia no se garantiza sólo con una red de radiocomunicaciones preparada a este efecto, el Centro de Coordinación de emergencias conforma la pieza clave complementaria.



Figura 20. Ejemplos de Centro de Coordinación de emergencias

4.6.1. Modelos de gestión

- Centros localizados orientados a un único organismo, lo que asegura las claves para asegurar la efectividad del servicio específico.
- Centros de coordinación Integrados, aseguran la coordinación de los diferentes agentes y mejoran el servicio al ciudadano.

En este ámbito las recomendaciones y directrices nacionales e internacionales definen las tendencias futuras.

4.6.2. Necesidades y prestaciones

Desde un punto de vista del usuario final, la red de radiocomunicaciones de Seguridad y Emergencia tiene que cumplir con una serie de requerimientos fundamentales:

- Calidad de las comunicaciones de voz y de los servicios de datos.
- Fiabilidad de las comunicaciones y robustez del sistema.
- Flexibilidad en la gestión de los recursos y administración de funcionalidades.
- Mecanismos de autenticación y encriptación.
- Interoperabilidad con otras redes para simplificar la coordinación de los recursos.

- Disponibilidad en cualquier momento y lugar del área de interés.

Todos estos requerimientos se pueden cumplir mediante:

- Una red diseñada específicamente para este tipo de usuarios.
- Una tecnología apropiada y que permita las prestaciones requeridas.
- Unas infraestructuras adecuadas para asegurar la continuidad requerida.
- Unos recursos adecuados para la operación y mantenimiento de la red y sus elementos.
- Personal formado para la gestión correcta de los recursos.

Necesidades y prestaciones – Diseño de red

Los criterios para el diseño de una red de seguridad y emergencia tienen que tener siempre en cuenta la necesidad de disponer en cualquier momento y circunstancia de los recursos necesarios para poder establecer las comunicaciones entre los actores implicados. Esto se traduce principalmente en tres parámetros:

- Nivel de cobertura del área de interés.
- Grado de Servicio (tiempo máximo en cola)
- Disponibilidad del sistema (continuidad del servicio)

Necesidades y prestaciones – Tecnología

Se requiere de un sistema en el cual los usuarios compartan todos los canales disponibles, evitando así que dependan de un canal determinado y no puedan transmitir su mensaje si éste se encuentra ocupado. Para comprender mejor el sistema troncalizado, vale la pena saber cómo funciona el sistema convencional.

En el sistema convencional cada grupo de usuarios cuenta con un canal determinado. Si un usuario desea comunicación con otro usuario de otro grupo, debe cambiar su radio al canal respectivo. De esta manera si el canal al cual está asignado el usuario se encuentra ocupado, éste no puede transmitir su mensaje.

En el sistema troncalizado, se crean grupos de usuarios independientes de los canales o frecuencias con que se cuenta. De tal manera que cuando un usuario desea realizar una llamada, bien sea de voz o datos, el sistema automáticamente le asigna un canal libre. Si en ese momento no se encuentra ningún canal libre, queda en una cola de espera por un determinado tiempo. Este tiempo es programable al igual que otras muchas facilidades.

Como vimos en el capítulo anterior, la tecnología Trunking digital permite cumplir con los requerimientos que plantean los cuerpos de seguridad y emergencia. En concreto el estándar TETRA se está demostrando como la tecnología principal de la mayoría de las redes de seguridad y emergencia de nueva implantación. Los sistemas TETRA ofrecen una plataforma fiable y eficiente para la implementación de múltiples aplicaciones de datos:

- Transmisión de imágenes
- Acceso a bases de datos
- Telemedicina
- WAP sobre TETRA
- Localización Automática de Vehículos (AVL)

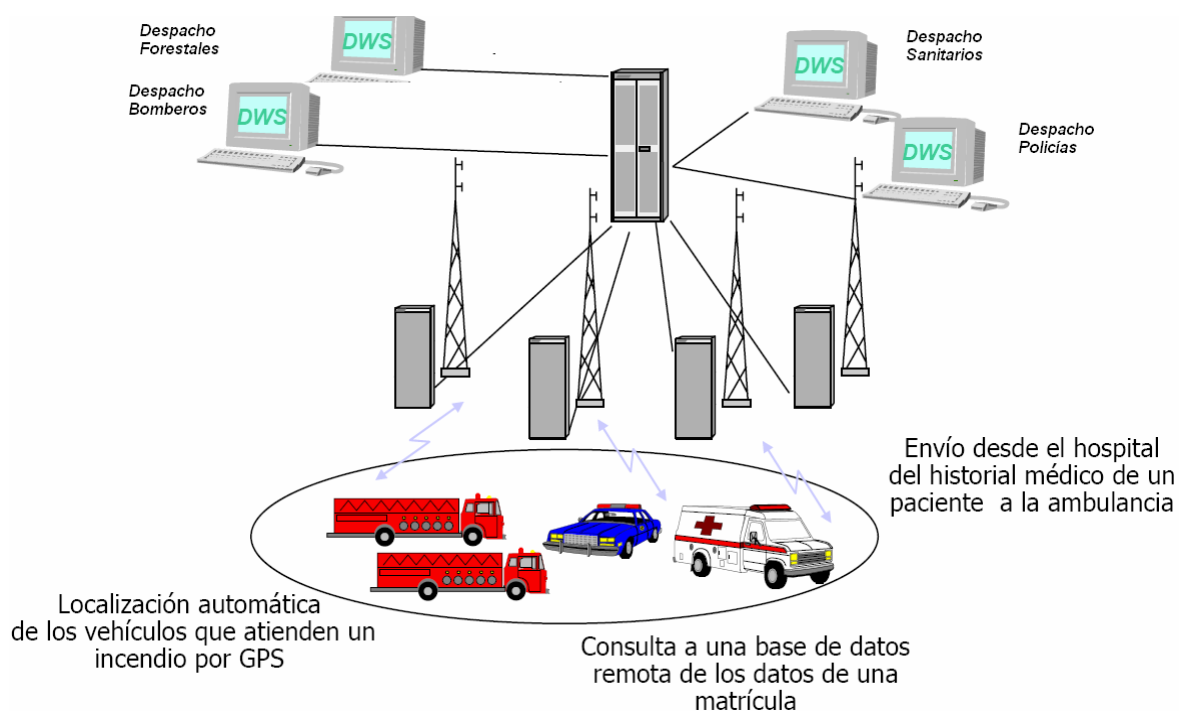


Figura 21. Esquema de funcionamiento

Cada tipo de aplicación necesita de una cierta cantidad de recursos de transmisión que deberán ser proporcionados por el sistema, pero estos recursos son limitados, por este motivo los conjuntos de datos más pequeños se envían normalmente como mensajes de estado o SDS sobre el MCCH (*Main Control Channel*), mientras que los más grandes son transmitidos más eficientemente en forma de datos por paquetes IP.

El sistema TETRA permite el uso simultáneo de los servicios de voz, SDS y datos por paquetes IP.

Necesidades y prestaciones – Infraestructura

El sistema troncalizado es totalmente computarizado, por lo tanto posee elementos de control que permiten detectar rápidamente los fallos que se presenten en su funcionamiento. Así mismo, dependiendo de la marca del sistema, posee mecanismos automáticos para evitar que el sistema falle completamente en caso de que algún componente quede fuera de servicio. Además todos sus parámetros de operación son programables de acuerdo a las necesidades de los usuarios.

La tecnología TETRA permite garantizar las prestaciones de servicios de alta fiabilidad y accesibilidad sólo si ésta es complementada con:

- Sistemas de alimentación con autonomía adecuada (baterías y/o grupo de continuidad).
- Enlaces de transmisiones redundadas y de capacidad adecuada.
- Infraestructuras adecuadas y con control de accesos.
- Telecontrol de emplazamientos y servicios asociados.

El sistema debe incluir todo el *hardware* y *software* necesario para su operación, administración y mantenimiento, puesto que cada fabricante desarrolla su propia tecnología.

En cuanto al tipo y cantidad de equipos que se requieren para poner en funcionamiento una red podemos clasificarlos en dos grupos: equipos de infraestructura y equipos de usuarios.

- **Equipos de infraestructura**: son aquellos que se requieren para garantizar el cubrimiento del área deseada. Dichos equipos son los repetidores, radios microondas de enlaces, torres, antenas, equipos de control, etc. Normalmente estos elementos se instalan en los lugares de mayor altitud de la región en cuestión, denominándose cada lugar de estos, sitio de repetición. La cantidad de sitios de repetición depende del área o la extensión de la zona que se desea cubrir y de su topografía. Una zona geográfica demasiado quebrada, obviamente requerirá más sitios de repetición. A su vez, la cantidad de equipos repetidores que se requieren en cada uno de estos sitios, depende de la cantidad de usuarios y del tráfico de comunicación que se curse. Otro de los elementos que conforma los equipos de infraestructura, es el Centro de Control.

El **Centro de Control**, como su nombre lo dice, es el sitio donde se alojan los equipos que controlan todos los elementos que conforman la red. En este lugar se encuentran los equipos de diagnóstico de fallos, conexión de mensajes entre los diferentes sitios de repetición, etc. y normalmente la Consola de Despacho, desde la cual se regula todo el tráfico de la red.

Para poder saber de la manera más exacta posible la cantidad de sitios de repetición y su respectiva ubicación, se debe realizar un estudio de propagación electromagnética en toda la zona que se desea cubrir.

- **Equipos de usuario**: los equipos de usuarios pueden ser fijos, móviles o portátiles y se requiere uno por cada sitio, vehículo o persona que se integre al sistema.

Los **equipos fijos** son los que se instalan, como su nombre lo indica, en un sitio fijo, edificio, casa, oficina, finca, etc.

Los **equipos móviles** son los que se instalan en los vehículos. Dichos equipos están compuestos por el radio con su respectivo micrófono y la antena vehicular. De estos equipos se requiere uno por cada ambulancia, coche de bomberos....

Los **equipos portátiles** son los que portan las personas que requieren comunicación desde cualquier lugar. Son unidades compactas con antena y batería recargable y de un tamaño muy cómodo para su porte.

Necesidades y prestaciones – Servicio de Operación y Mantenimiento

Una vez operativa la red y las infraestructuras, éstas requieren un servicio de operación y mantenimiento que permitan asegurar que el nivel de servicio requerido pueda garantizarse en todo momento. Concepto que aplica también a los terminales (móviles, portátiles y fijos). Para esto son necesarios:

- Recursos dimensionados adecuadamente, multidisciplinarios y con presencia local para garantizar tiempos de respuesta y resolución adecuada al tipo de servicio prestado.
- Disponibilidad de un centro de control y operación de la red que permita asegurar la disponibilidad necesaria.

Necesidades y prestaciones – Gestión de Recursos

La gestión efectiva de los recursos permite optimizar la operativa de los cuerpos de seguridad y emergencia en el día a día. Para esto es muy importante disponer de unos sistemas de gestión y control adecuados y de personal formado adecuadamente. Una correcta gestión permite mejorar la coordinación entre los cuerpos y la optimización del uso de los recursos de la red.



Figura 22. Gestión de recursos

4.6.3. Criterios de diseño y dimensionado

Los criterios más importantes a tener en cuenta a la hora de diseñar una red son:

- Definición de criterios de cobertura sobre la zona de interés: tanto por ciento de cobertura espacio y/o tiempo sobre el objetivo de interés:

- nivel sobre el conjunto del territorio.
- núcleos urbanos, zonas críticas, vías, parques naturales...

Umbral de cobertura que aseguren un correcto servicio:

- según el tipo de terminal.
- según el entorno de operación.
- márgenes de diseño para asegurar la probabilidad de cobertura deseada.

- Dimensionamiento de los recursos de la red para un determinado GoS (Grado de Servicio):

- Probabilidad de esperar en cola.
- Definición de un tiempo límite de espera en cola.
- Caracterización del tráfico por tipo de usuario: llamada individual, de grupo...

Podemos concluir este capítulo añadiendo que, analizadas las características del sistema TETRA en el capítulo anterior y las necesidades de los sistemas AVL en el presente capítulo, resulta obvio que ambos sistemas se integran perfectamente, satisfaciendo todos los requerimientos implicados. Esta perfecta integración ha sido la que nos ha impulsado en elegir el planteamiento de una red TETRA para la simulación de la llegada de información vehicular que pretendemos monitorizar y gestionar con la herramienta *software* basada en los sistemas de información geográfica desarrollada en este proyecto.

CAPÍTULO 5.

APLICACIÓN DESARROLLADA.- AVLGIS

En este capítulo presentaremos las principales funcionalidades implementadas en la herramienta de gestión y localización de vehículos AVLGIS basada en el Sistema de Información Geográfica (SIG) ARCVIEW 9.1 (de ESRI) que se ha desarrollado en el presente proyecto.

Aprovechando la potencia y versatilidad de los SIG en el manejo de la información geográfica, se ha intentado enfocar la herramienta como un *software* de gestión de bases de datos relacionada con la localización de vehículos. De esta manera, la herramienta permite posicionar incidencias en un mapa geográfico, gestionar bases de datos de rutas realizadas por vehículos individualmente o agrupaciones de varias rutas individuales, llamadas ‘grupos’, así como la simulación de un sistema AVL sobre una red de tecnología TETRA que tiene en cuenta la cobertura radioeléctrica.

5.1. Consideraciones previas

Para la realización de este proyecto, se ha utilizado el editor de Visual Basic para la programación del código de la herramienta AVLGIS desarrollada.

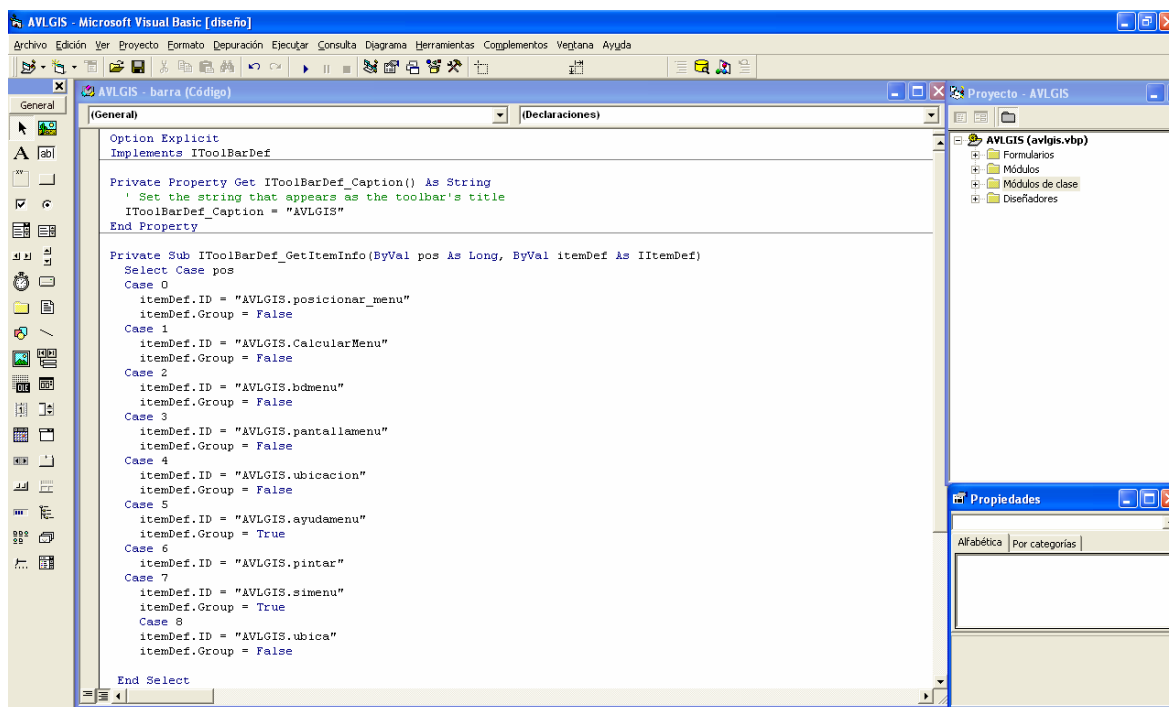


Figura 23. Editor de Visual Basic

Toda la gestión de información, posicionamiento de incidencias, y el resto de posibilidades que ofrece la herramienta desarrollada se realizan sobre un Modelo Digital del Terreno o *mdt*. En este caso el *mdt* utilizado corresponde a una representación de un entorno rural y un entorno urbano. Dicho *mdt* está compuesto por dos capas raster, '*urbano_6*', de una resolución de 6 metros (celda de tamaño 6m x 6m), con la representación de un entorno urbano (alturas de edificios) y la capa '*rural_200*', de resolución 210 metros, con una representación de un entorno rural (altura del terreno).

Además de estos rasters, en el mapa hay tres capas con información vectorial: *Urbano* (delimitación de edificios), *Términos Municipales* (delimitación de términos municipales de territorio rural) y *carreteras* (compuesta por una carretera principal y otra secundaria). Dicho Modelo Digital del Terreno es de la forma mostrada en la siguiente figura:

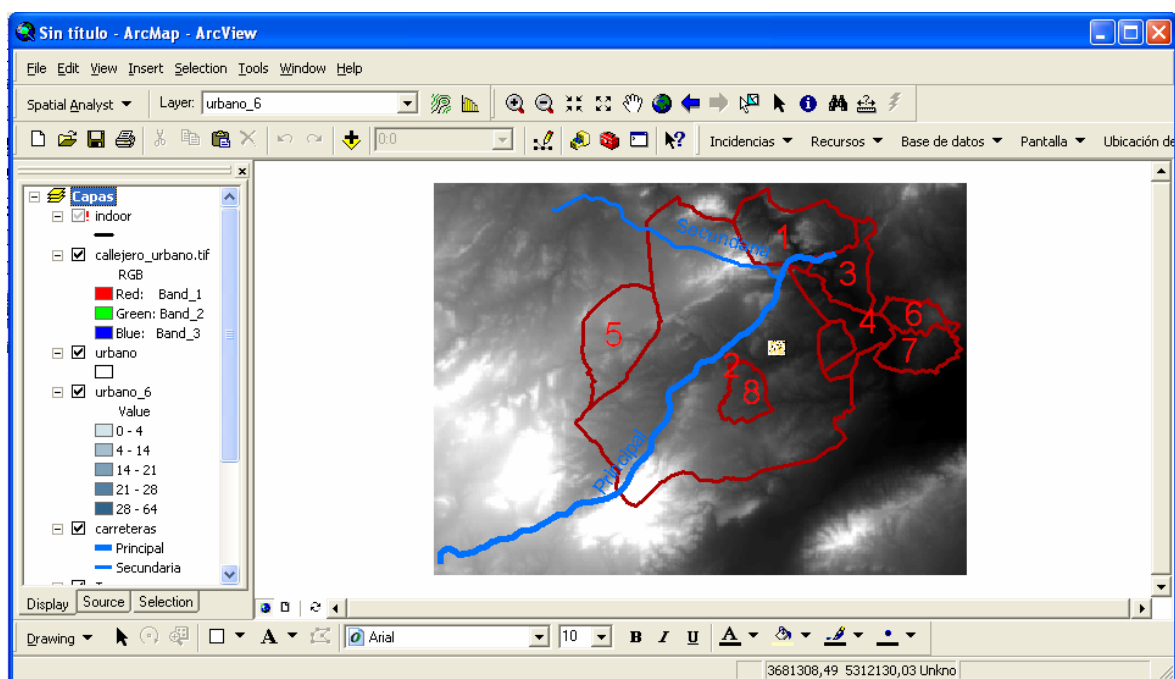


Figura 24. MDT

Un paso previo a la programación de esta aplicación fue la obtención de los puntos que unidos conformaban la capa vectorial “carreteras”.

Las pautas a seguir fueron las siguientes:

1. Pasamos de *features* a *raster*: para este paso hacemos uso de la extensión Spatial Analyst disponible en ArcMap:

Spatial Analyst → Convert → Features to Raster ...

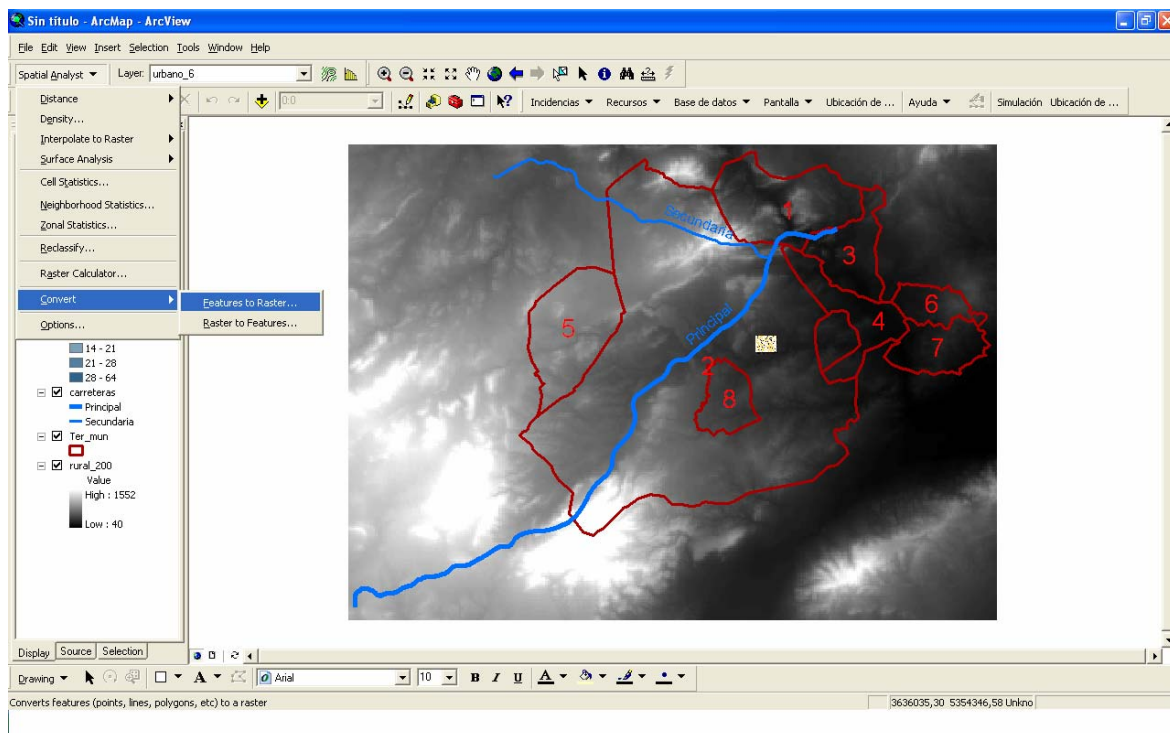


Figura 25. Conversión de capa vectorial a raster

En el cuadro de diálogo que nos aparece tras elegir la opción anterior, ponemos las opciones de las carreteras, ELEVATION, a una distancia de celda de 50 (p.e.) y el nombre con el que deseamos guardar la capa raster generada:

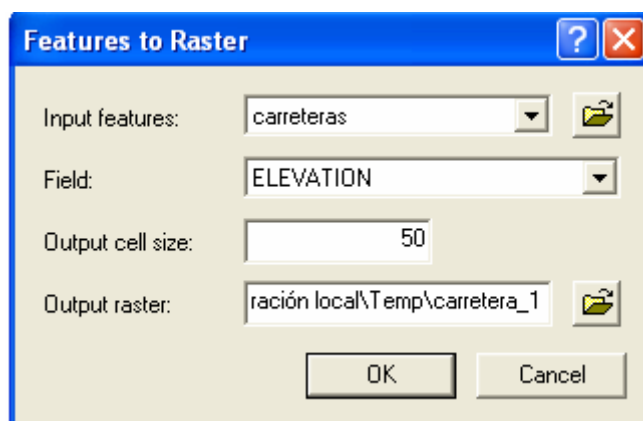


Figura 26. Introducción de parámetros para la conversión

2. Transformamos la capa raster anteriormente generada a punto ASCII, para ello previamente seleccionamos la carretera de interés (la principal y/o secundaria) con el botón ('Select Features') disponible en la herramienta ArcView utilizada:

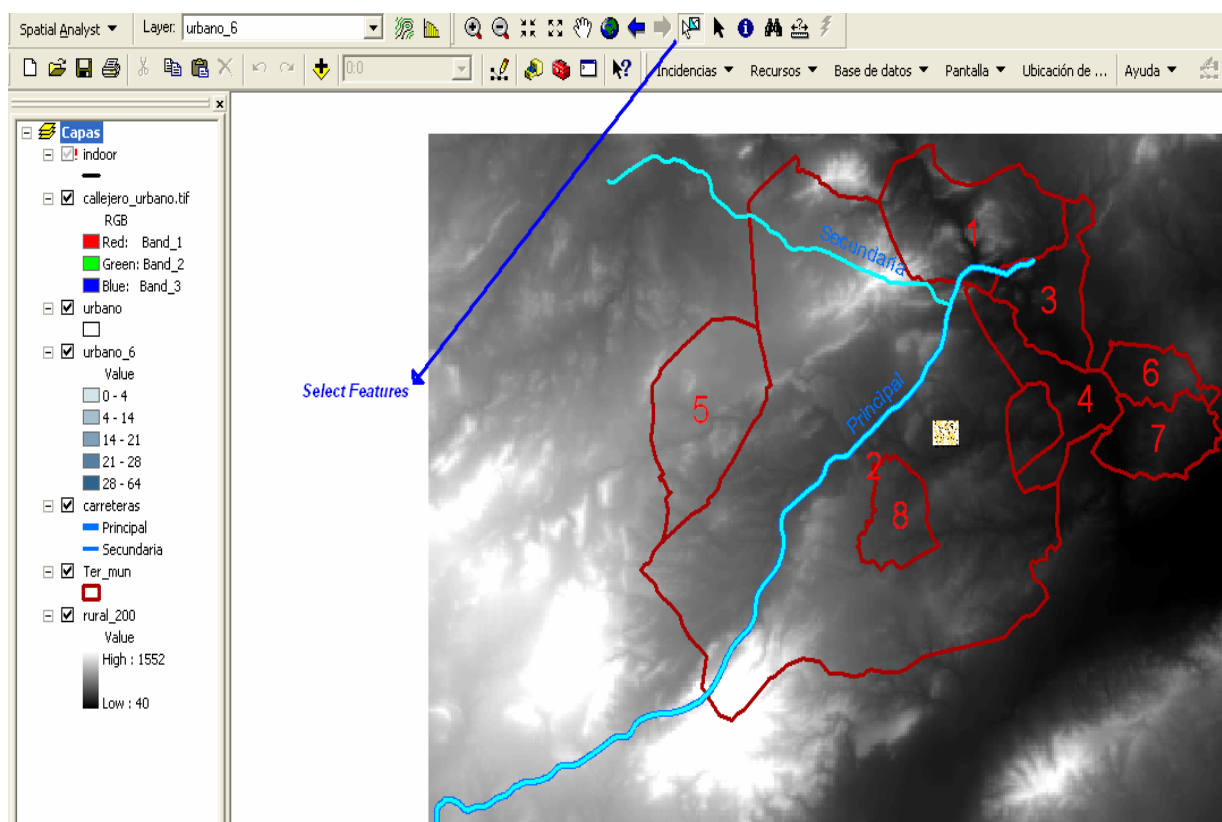


Figura 27. Seleccionamos la capa vectorial correspondiente a la carretera

Para el siguiente paso hacemos uso de la aplicación ArcToolbox de ArcView y elegimos la opción:

Conversion Tools → From Raster → Raster to ASCII

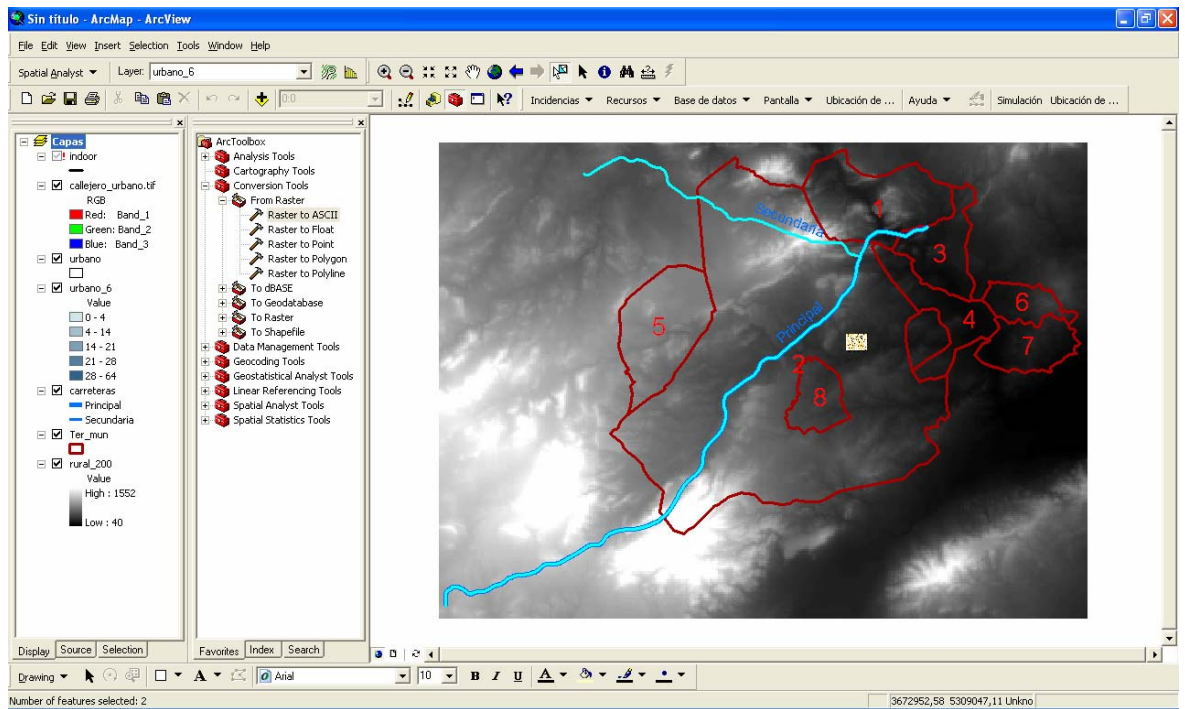


Figura 28. Convertimos la capa raster a datos ASCII

Ahora seleccionamos el fichero raster de origen y el nombre del fichero de texto con las coordenadas ASCII:

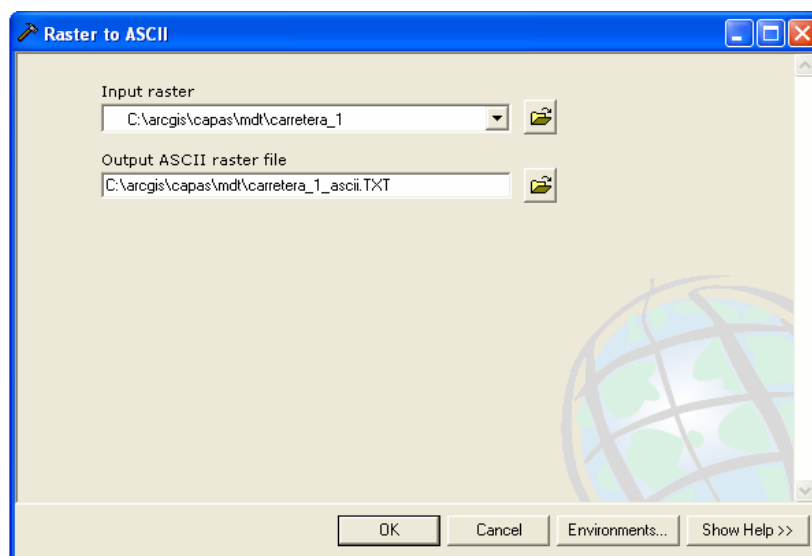


Figura 29. Indicamos las rutas correspondientes


```

----- Código programado en Matlab -----
Clear all
load('carretera_1_ascii.txt');
puntos = 0;
x = zeros(4702,4373);           % Para llevar la cuenta de la coordenada x de
cada uno de los puntos de la carretera
y = zeros(4702,4373);           % Para llevar la cuenta de la coordenada y de
cada uno de los puntos de la carretera
for I = 4701:-1:0
    for j = 4372:-1:0
        if carretera_1_ascii(j+1,i+1)==0
            % Llevamos la cuenta de los puntos que forman la carretera
            puntos = puntos + 1;
            % Conociendo la coordenada x de la esquina izquierda inferior y el espacio de
            celda, sacamos el resto de coordenadas x
            x(i+1,j+1)=(3651278)+(i*10);
            % Conociendo la coordenada y de la esquina izquierda inferior, el nº de columnas
            y el espacio de celda, sacamos el resto de coordenadas y
            y(i+1,j+1)=(5312508)+((4372-j)*10);
        end
    end
end
%Nos definimos una matriz cuyo número de filas será uno de cada nueve valores
de 'puntos' sea distinto de cero y dos columnas, la primera que contenga la
coordenada x, y la otra la coordenada y de dichos puntos.
% Sacamos los índices de la matriz con las coordenadas x de los puntos de la
carretera, que son distintos de cero
[indx,indy] = find(x>0);
j=1;
for i=1:9:puntos
    matriz(j,1) = x(indx(i),indy(i));
    j=j+1;
end
% Sacamos los índices de la matriz con las coordenadas y de los puntos de la
carretera, que son distintos de cero
[indx,indy] = find(y>0);
j=1;
for i=1:9:puntos
    matriz(j,2) = y(indx(i),indy(i));
    j=j+1;
end

```

Obtenemos a partir de dicho programa una tabla (.dbf) con las coordenadas de los puntos de dicha carretera, esta tabla será la que podremos importar en AVLGIS cuando queramos introducir o conocer los datos de los recursos disponibles en una determinada zona. Estas tablas no son más que bases de datos Excel con el contenido que se muestra en la siguiente figura:

	A	B	C
1	X	Y	MATRICULA
2	3698278	5349428	7955BFD
3	3698248	5349398	7955BFD
4	3698168	5349358	7955BFD
5	3698138	5349328	7955BFD
6	3698038	5349298	7955BFD
7	3697948	5349278	7955BFD
8	3697878	5349258	7955BFD
9	3697878	5349248	7955BFD
10	3697788	5349228	7955BFD
11	3697648	5349208	7955BFD
12	3697548	5349198	7955BFD
13	3697538	5349188	7955BFD
14	3697448	5349188	7955BFD
15	3697438	5349178	7955BFD
16	3697348	5349168	7955BFD

Figura 31. Visualización de la tabla ‘t11.dbf’

Estas tablas generadas con las coordenadas (x,y) y un valor inicial introducido para el campo de ‘Matrícula’ están almacenadas dentro del directorio “\tablas”, las tablas disponibles son las siguientes:

- “t11.dbf”: para la ruta de la carretera principal en sentido descendente.
- “t10.dbf”: para la ruta de la carretera principal en sentido ascendente.
- “t13.dbf”: para la ruta de la carretera secundaria en sentido descendente.
- “t14.dbf”: para la ruta de la carretera secundaria en sentido ascendente.

- “t17.dbf”: para la ruta de la carretera secundaria desplazándose descendentemente hasta llegar al final de la carreta principal.
- “t18.dbf”: con las coordenadas de los puntos que forman la misma ruta anterior, pero en sentido ascendente.

Cabe mencionar en este apartado que todas las tablas implicadas en la gestión de la información llevada a cabo en nuestra aplicación, se encuentran organizadas en carpetas que cuelgan del directorio “c:\arcgis\AVLGIS” que, indicada su ubicación en la aplicación AVLGIS, permiten el correcto funcionamiento de nuestro programa.

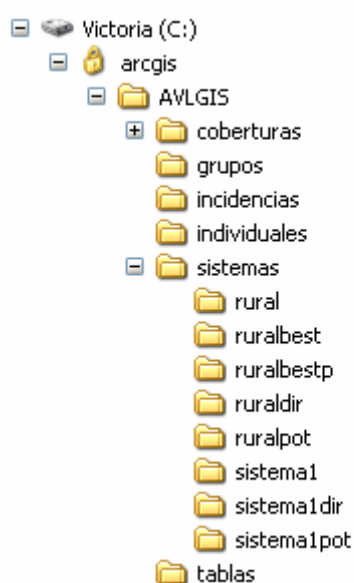


Figura 32. Estructura de directorios

5.2. Estructura de la herramienta

En la figura siguiente podemos ver la barra de menús de la herramienta AVLGIS, estos menús se dividen en submenús y además disponemos de un icono que sólo está activo, es decir está seleccionable, cuando la herramienta dispone de los datos necesarios para la ejecución de esta opción.

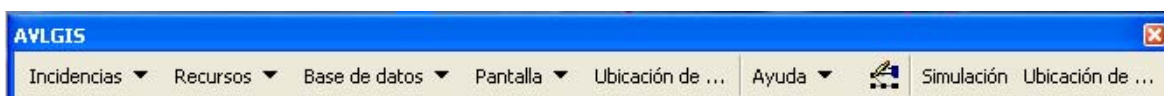


Figura 33. Menú de nuestra herramienta

A continuación, desarrollaremos cada uno de los submenús:

Menú principal de la aplicación:

- Incidencias
 - Nueva
 - Modificar
 - Eliminar
 - Seleccionar incidencia
- Recursos
 - Individual
 - Nuevo
 - Adquirir
 - Grupo
 - Nuevo
 - Grid
 - Cambiar Resolución
 - ASCII a Grid
 - Grid a ASCII
- Base de datos
 - Individual
 - Consultar
 - Eliminar
 - Copiar
 - Grupo
 - Consultar
 - Eliminar
 - Copiar
 - Grid
 - Eliminar
 - Copiar
- Pantalla
 - Borra Elementos
 - Borra Capas
 - Borra Capa
- Ubicación de ...
- Ayuda
- Pintar (se trata de un botón que se activará según la opción seleccionada)

Menú adicional de la aplicación para una supuesta simulación real:

- Simulación
- Ubicación de ...

Los nombres de las diferentes opciones de los menús y submenús tratan de resultar lo más descriptivos posibles, para intuir para qué se utiliza cada uno de ellos, no obstante en los siguientes puntos explicaremos cada una de las diferentes opciones.

5.3.Desarrollo de la aplicación

Las funciones que lleva a cabo la herramienta básicamente podemos clasificarlas en tres grandes grupos: **Gestión de bases de datos**, **Importación de datos de las rutas** y **Adquisición de posiciones de vehículos**.

A continuación comentaremos cada una de estas funciones:

Gestión de bases de datos

La herramienta se comporta como un gestor de bases de datos de incidencias, rutas individuales, agrupaciones de rutas y grids (“mapas rasters”). Para el desarrollo de esta función se ha intentado aprovechar la potencia del GIS en cuanto al uso de estructuras de datos adecuadas para el manejo de la información geográfica y descriptiva. De esta forma, las estructuras de datos que almacenan cada uno de los registros que forman las distintas bases de datos disponen de una tabla de atributos donde, asociada a la información geográfica, se encuentra toda aquella información descriptiva que el usuario desee introducir.

Para el manejo de la base de datos la herramienta introduce las opciones “*Modificar*”, “*Visualizar incidencia*”, “*consultar*”, “*eliminar*” y “*copiar*”.

La **base de datos** referente a las **incidencias** contiene información acerca de la localización de dicha incidencia, al tipo de incidencia, la prioridad, los recursos asignados, etc.

En el caso de la **base de datos de rutas individuales**, la tabla de atributos que se genera a través del SIG contiene registros con el tipo de vehículo (bomberos, policías, sanitarios o forestales), el nombre, información sobre el recurso seleccionado, los comentarios referentes a esa ruta y la ruta donde se ubica la tabla que contiene las posiciones y la matrícula.

La **base de datos de grupos** tiene una estructura semejante a la base de datos de rutas individuales. La tabla de atributos que se genera en este caso contiene la información de cada una de las rutas individuales que componen el grupo.

Con la **base de datos de grids** se pretende tener un recurso con el que poder realizar las funciones de “eliminar” y “copiar” los diferentes grids almacenados.

Por último, dentro del menú adicional de AVLGIS, con el que se pretende simular un sistema AVL sobre una red TETRA, también podemos encontrar las bases de datos referentes al emplazamiento correspondiente con la capa raster seleccionada en la opción “Simulación”, estas tablas de atributos contienen información sobre los parámetros configurables a la hora de generar dichas capas con la herramienta RADIOGIS.

Importar

Otra de las funciones importantes que presenta esta herramienta AVL desarrollada es la importación de incidencias, rutas individuales y creación de agrupaciones de rutas individuales. De esta forma, la herramienta permite realizar importaciones de incidencias, cuando elegimos la opción de “Modificar” dentro del menú “Incidencias”, de rutas individuales, definiendo los parámetros del vehículo y asociándole una tabla que contiene las coordenadas de la ruta...

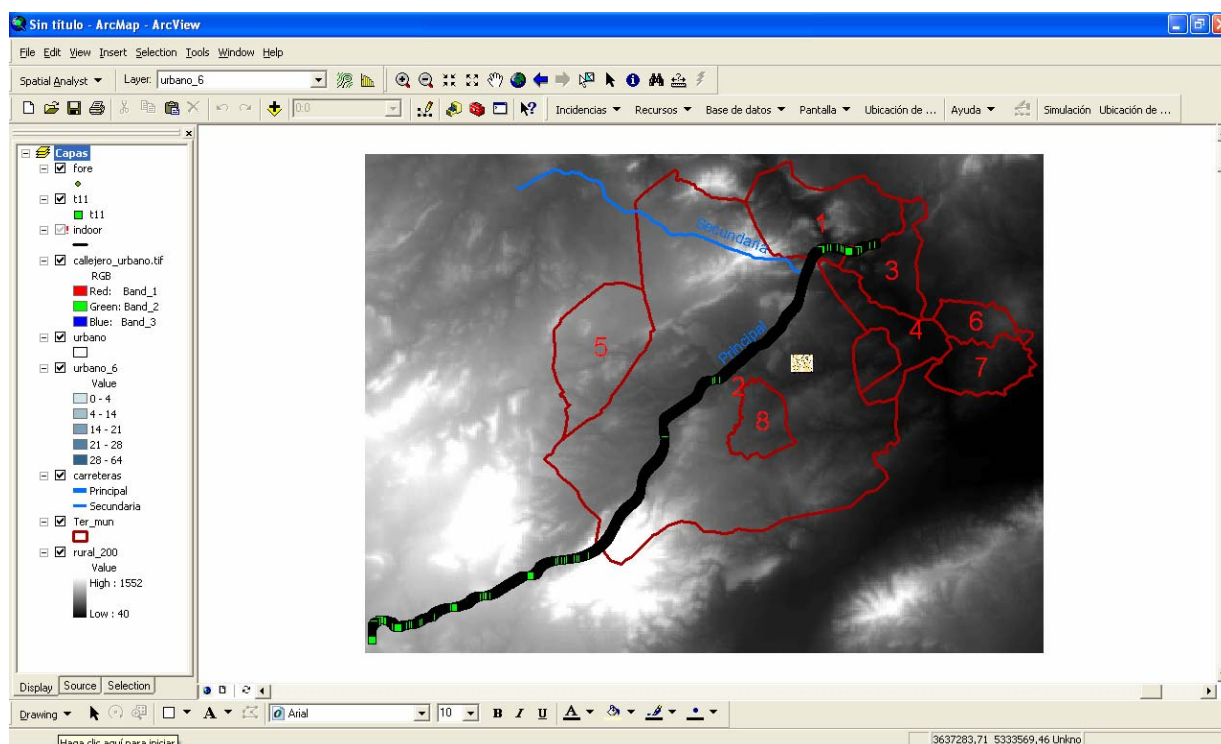


Figura 34. Importación de una ruta individual perteneciente a un forestal

También se han incluido en este apartado operaciones con “*raster*” tales como importar de un fichero con formato ASCII, exportar a un fichero con formato ASCII, cambiar la resolución de un “*raster*” o cargar una capa raster perteneciente a la cobertura de potencia radioeléctrica o a un sistema de potencia.

Posicionar

La última de las funciones importantes que presenta esta herramienta es la de posicionamiento de vehículos en tiempo real, así como la de monitorización de incidencias.

La opción de Adquirir permite visualizar en pantalla la posición de los recursos seleccionados. Los recursos se representan mediante puntos, cuyo formato depende del tipo de recurso (bomberos, policías, sanitarios o forestales). También se muestran las matrículas de los vehículos de los recursos adquiridos para una mejor identificación del recurso adquirido.

En el caso de Incidencias, se pueden crear circunferencias centradas en el punto de la incidencia, rectángulos o seleccionar capas vectoriales que contengan dicha incidencia, obteniendo información en tiempo real del número y tipo de recursos que se mueven por su interior.

5.3.1. Incidencias

La herramienta desarrollada ha sido dotada de un sistema de gestión de incidencias, como ya se ha indicado anteriormente.

Esta gestión de incidencias se implementa con el objetivo principal de poder crear, modificar, eliminar o visualizar incidencias sobre el mapa en el cual nos encontramos trabajando.

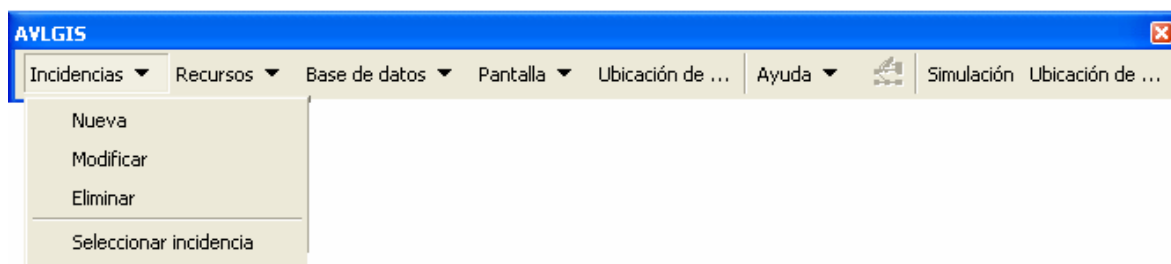



Figura 35. Submenú 'Incidencias' desplegado

La primera de las opciones que nos proporciona este submenú, '**Nueva**', permite la creación y posicionamiento de una incidencia sobre el mapa, además nos informa de las incidencias existentes  hasta el momento. Necesitaremos rellenar los campos que nos aparecen en la ventana visible tras seleccionar esta opción. Algunos de estos campos sólo nos aportarán información adicional para la caracterización de dicha incidencia, por ello pueden dejarse sin rellenar, pero otros son imprescindibles y tendremos que darles valor, ya que serán los que realmente permitan la identificación y visualización de la incidencia, estos son los campos 'Nombre', 'Coordenada X(m)' y 'Coordenada Y(m)'. Para rellenar estos dos últimos campos podemos pinchar en el botón 'ratón' de forma tal que el botón 'Dibujar con el ratón' que nos aparece en el menú principal de AVLGIS quedará activo: permitiéndonos al utilizarlo pinchar directamente sobre el mapa en el punto exacto dónde queremos situar la incidencia, cargándose en dichos campos las coordenadas correspondientes a dicho punto. Una vez rellenados los campos, pinchamos en el botón de

‘Crear’, nos aparecerá un mensaje informándonos de si la incidencia ha sido creada correctamente en cuyo caso la incidencia quedará visible en el punto del mapa seleccionado y en la tabla de contenidos de ArcView aparecerá la tabla de atributos asociada a dicha incidencia, dicha tabla se almacenará en el directorio introducido en el submenú ‘Ubicación de ...’ disponible en AVLGIS y del que hablaremos más adelante. El formulario al que nos acabamos de referir tiene la forma mostrada en la figura siguiente:

Figura 36. Formulario a rellenar para crear/localizar una nueva incidencia

Los campos asignados tanto a este formulario, como al resto de implementados en esta herramienta son susceptibles a ser modificados dependiendo de cuáles sean las necesidades o información requerida para la correcta gestión de la información, éstos incorporados muestran un ejemplo de cómo podrían ser.

La tabla de atributos generada tras crear una nueva incidencia y que aparece disponible en la tabla de contenidos de ArcView, será de la forma siguiente:

FID	Shape	Nombre	X	Y	Calle	Codigo_Pos
0	Point	Inci4	3688825,23	5341684,13	c/ Carlos III, nº 65, 9º izq	30203

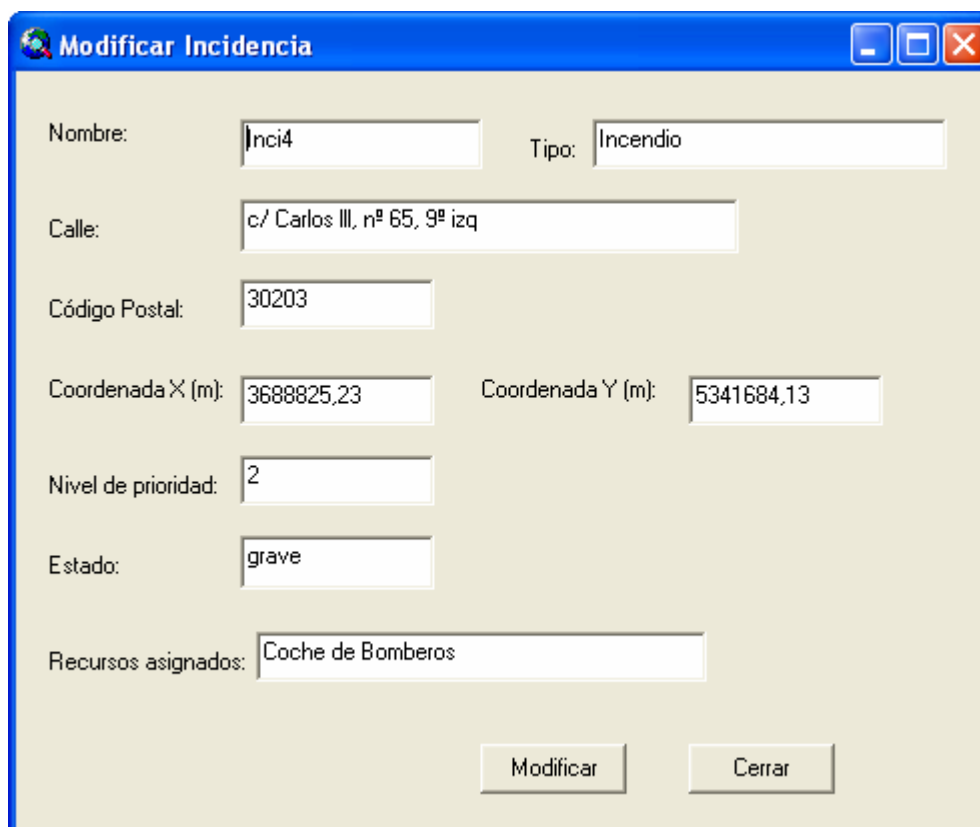
Figura 37. Tabla de atributos correspondiente a la incidencia ‘Inci4’

Esta tabla de atributos se almacena en el directorio correspondiente (por defecto en “\incidencias”) en formato .dbf y que como anteriormente mencionamos, se tratará de una base de datos en Excel de la forma mostrada en la siguiente figura:

Nombre	X	Y	Calle	Codigo_Pos	Tipo	Prioridad
Inci4	3688825,23000000000	5341684,13000000000	c/ Carlos III, nº 65, 9º izq	30203	Incendio	2

Figura 38. Base de datos en formatos Excel correspondiente a ‘Inci4.dbf’

La segunda opción del submenú ‘Incidencias’ es la de ‘Modificar’, elegida ésta podremos modificar el valor de alguno de los campos de la incidencia seleccionada para modificar, al modificar alguno de los campos, la incidencia se cargará de nuevo en el mapa, al igual que su tabla de atributos. Si el campo modificado es el nombre, se generará una nueva incidencia con dicho nombre, y sino, la incidencia modificada reemplazará a la anterior. El aspecto de este formulario es el que aparece en la próxima figura:



The screenshot shows a window titled "Modificar Incidencia" with a blue header bar. The form contains the following fields:

- Nombre: Inci4
- Tipo: Incendio
- Calle: c/ Carlos III, nº 65, 9º izq
- Código Postal: 30203
- Coordenada X (m): 3688825,23
- Coordenada Y (m): 5341684,13
- Nivel de prioridad: 2
- Estado: grave
- Recursos asignados: Coche de Bomberos

At the bottom of the form are two buttons: "Modificar" and "Cerrar".

Figura 39. Formulario asociado a la opción de 'Modificar'

La siguiente opción es la de **'Eliminar'**, al eliminar una incidencia se borrará la tabla de atributos asociada, por lo que si ésta se encontraba presente en la tabla de contenidos, dejará de estarlo, en cambio si dicha incidencia se encontraba dibujada sobre el mapa, el punto que la identifica sí desaparecerá, pero no se borrará tras esta acción la etiqueta con el nombre de dicha incidencia, para borrarla podemos fácilmente elegir la opción del submenú 'Pantalla' 'borrar elementos', sobre estas opciones de borrado trataremos más tarde. El formulario de esta opción es el que aparece en la figura de a continuación:

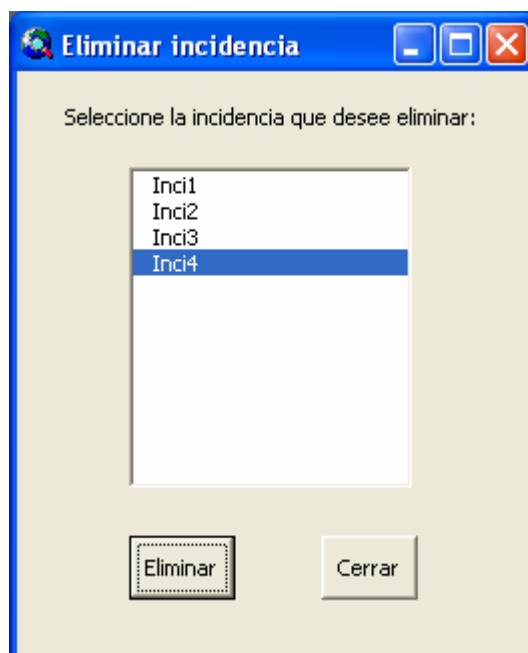


Figura 40. Formulario asociado a la opción de 'Eliminar'

Tras pulsar el botón de 'Eliminar' nos aparecerá la siguiente ventana de 'Aviso':

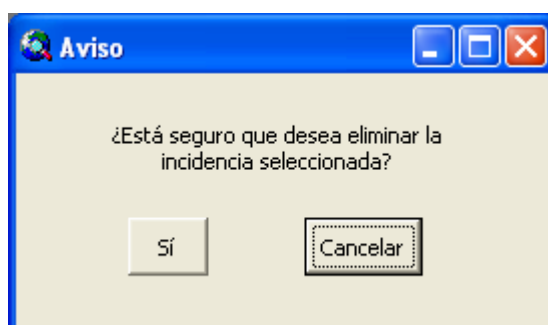



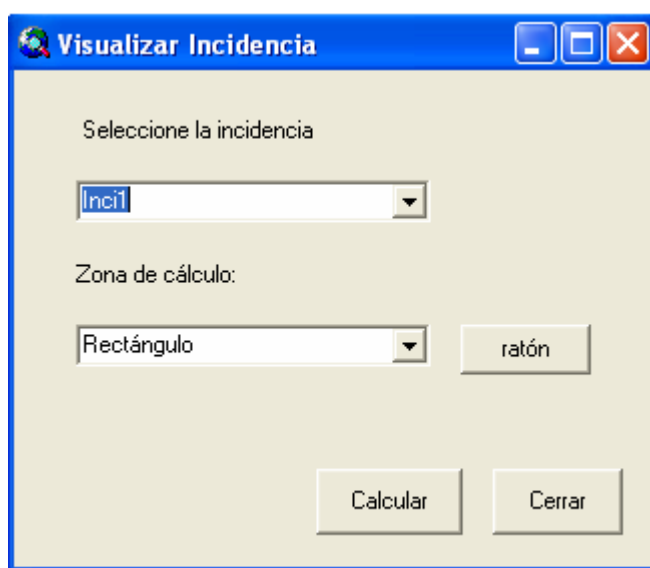
Figura 41. Ventana de 'Aviso' antes de eliminar la incidencia seleccionada

En la cual pincharemos sobre el botón 'Sí' si estamos seguros de eliminar dicha incidencia.

Y por último, la opción de '**Seleccionar incidencia**' nos permitirá definir una zona de cálculo alrededor de la incidencia seleccionada, sobre la cuál monitorizaremos el número de recursos que se encuentran presentes en dicha zona en un instante determinado. Las zonas de cálculo disponibles son: 'Rectángulo', 'Círculo' y 'Capa vectorial', la dos primeras serán trazadas utilizando el botón de 'Dibujar con el ratón', y la capa vectorial será seleccionada utilizando el botón 'Select Features' de ArcView: 

Elegida una de entre estas tres opciones, pincharemos en el botón de **‘Calcular’** tras lo cual nos aparecerá una ventana asociada a la incidencia en cuestión que nos proporcionará la información que buscábamos, esta ventana podrá mantenerse activa mientras seguimos trabajando con la herramienta, ya que la información que nos proporciona será susceptible a cualquier cambio que se produzca en la incidencia, concretamente en el momento en el que adquirimos algún recurso.

El formulario de la opción de ‘Seleccionar incidencia’ tiene la forma:



The image shows a software dialog box titled "Visualizar Incidencia". It has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. The main area is light beige and contains the following elements:

- A label "Seleccione la incidencia" followed by a dropdown menu showing "Inci".
- A label "Zona de cálculo:" followed by a dropdown menu showing "Rectángulo" and a button labeled "ratón".
- At the bottom, two buttons: "Calcular" and "Cerrar".

Figura 42. Formulario para la opción ‘Visualizar Incidencia’

5.3.2. Recursos

La gestión de recursos desarrollada por la herramienta está basada en recursos del tipo: **‘Individual’**, **‘Grupo’** y **‘Grid’**.

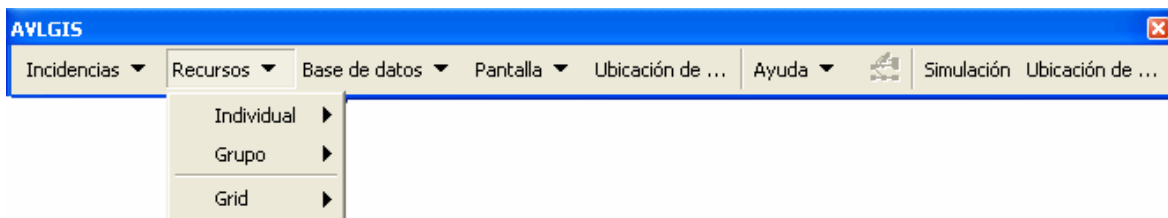


Figura 43. Submenú ‘Recursos’ desplegado

La opción de **‘Individual’**:



Nos permite generar rutas individuales asociadas a un tipo de recurso que podrá ser: ‘Bomberos’, ‘Policías’, ‘Sanitarios’ y ‘Forestales’ mediante la opción ‘Nuevo’, y mediante la opción de ‘Adquirir’ podremos desplegar el/los recurso/s seleccionado/s.

Cuando procedemos a la creación de un nuevo recurso a través del botón ‘Nuevo’ nos aparecerá una ventana de la forma:

Figura 44. Opción: Nuevo Recurso

Igual que sucedía con los campos a rellenar para una incidencia, algunos de los campos para un recurso son opcionales, pero otros, como el nombre, el tipo y la tabla con las coordenadas de los puntos que forman la ruta asociada a dicho recurso, son necesarios para la definición del nuevo recurso. Al seleccionar el tipo (bombero, policía, sanitario o forestal) se rellena automáticamente el cuadro de texto ‘Tipo’ con la opción seleccionada. El campo de ‘Matrícula’ es opcional, pero es aconsejable rellenarla con un valor, ya que al

adquirir dicho recurso aparecerá sobre él la matrícula asignada, lo que permitirá una mejor identificación de éste.

El campo ‘Tabla’ hace referencia a las tablas .dbf que contienen los puntos de las rutas sobre las carreteras, estas tablas fueron generadas al comienzo del desarrollo de la aplicación de la forma indicada en el apartado 4.1. *Consideraciones previas*, y de las mostramos su forma en formato .dbf . Cada uno de los recursos creados tendrá también una tabla de atributos asociada. Esta tabla de atributos tiene la forma que se muestra en la siguiente figura:

FID	Shape	Nombre	Comentario	Directorio	Tabla	Tipo
0	Point	B1	Experiencia: 2 años	C:\arcgis\AVLGIS\tablas\	t11.dbf	Bomberos

Figura 45. Tabla de atributos del recurso ‘B1’ desplegada desde ArcView

Y la base de datos .dbf almacenada en el directorio asignado (por defecto “\individuales”) será la siguiente:

A	B	C	D	E	F
Nombre	Comentario	Directorio	Tabla	Tipo	Fecha_Inic
B1	Experiencia: 2 años	C:\arcgis\AVLGIS\tablas\	t11.dbf	Bomberos	25/11/2006

Figura 46. Base de datos asociada al recurso ‘B1’ abierta con Excel

Al rellenar los campos y crear el recurso, tanto la tabla con las coordenadas de los puntos de la ruta como la tabla de atributos, se cargan en la tabla de contenidos y en el mapa se dibuja la ruta de dicho recurso, esta ruta se representará con diferentes tipos de puntos y colores según el tipo de recurso generado.

La otra opción de este submenú es la de ‘Adquirir’, aquí podremos adquirir tantos recursos como deseemos (tanto individuales como de grupo, de los que hablaremos a continuación), cuando nos referimos a adquirir queremos decir que se visualizará el desplazamiento de los recursos seleccionados a través de sus rutas asociadas.

El formulario correspondiente a esta opción del menú presenta la siguiente forma:

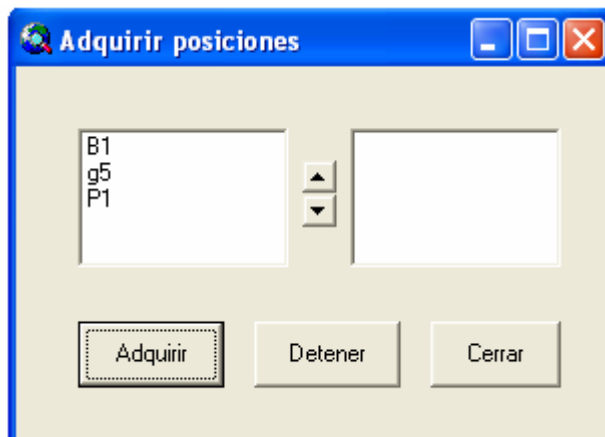


Figura 47. Formulario perteneciente a la opción de 'Adquirir'

En la lista situada a la izquierda del formulario mostrado en la anterior figura nos aparecerán los recursos disponibles, entre éstos podremos seleccionar aquellos cuyos desplazamientos deseemos visualizar en el mapa.

Dependiendo de cuál sea el recurso adquirido, éste se representará con una distinta simbología dependiendo de si se trata de un policía, un bombero, un sanitario o un forestal. El código implementado para esta diferenciación es el siguiente:

Formulario '**tiempo**' al pulsar sobre el botón '**Adquirir**':

```
Private Sub adquirir_Click()      ' cuando pulsamos adquirir

If numero.text = "" Then        'Si se trata de un nuevo caso:
numero.text = "1"              'Inicializamos el nº de puntos a adquirir
End If

Timer1.Interval = CInt(tiempo.intervalo.text)      'asignamos el
intervalo de tiempo introducido en el cuadro de texto "intervalo"
Timer1.Enabled = True          ' habilitamos el temporizador
End Sub
```

Dentro de dicho formulario, durante el intervalo en el que el temporizador se encuentra activo encontramos el siguiente código:

```

Private Sub Timer1_Timer()
'durante el intervalo de tiempo hacemos:

Dim pmxdoc As IMxDocument
Set pmxdoc = Carga_form.thisdocument.Document
Dim puntico As IPoint
Dim name As String
Dim comentarios As String
Dim directorio As String
Dim tabla As String
Dim Tipo As String
Dim matricula As String
Dim i As Integer

borra.pantalla          ' borramos la pantalla

'borramos los cuadros de texto del formulario tiempo:
tiempo.X.Clear
tiempo.Y.Clear
tiempo.coche.Clear

'para cada uno de los recursos adquiridos
For i = 0 To tiempo.ind_sis.ListCount - 1
  'Obtenemos los datos de dicho recurso
  individuales.datos tiempo.ind_sis.List(i), name, comentarios,
  directorio, tabla, Tipo, matricula
  'Obtenemos las coordenadas del punto de la ruta que corresponda
  Set puntico = individuales.leer_shape(directorio, tabla,
  CInt(numero.text))

'comprobamos si nos encontramos realizando una simulación, si no es
el caso no tendremos en cuenta el umbral y dibujaremos siempre el
punto, en caso contrario tendremos que cumplir con la restricción
establecida.

  If simulacion = False Then    'Si no estamos simulando:

      'dibujamos el punto según proceda:
      dibuja.punto puntico, Tipo
      'representamos la matrícula del vehiculo del recurso
      sobre el punto :
      dibuja.AddLabel matricula, puntico, "matricula"

      .....

' AQUI SERÁ DONDE DECIDIREMOS SI LO PINTA O NO, (* Este caso se
explicará más adelante, en el apartado de simulación)

```

Código implementado para dibujar el punto con la representación que corresponda según el tipo de recurso: Módulo '**dibuja**', función '**punto**':

```
Public Sub punto(ByVal punto As IPoint, ByVal Tipo As String)

    Dim pmxdoc As IMxDocument
    Set pmxdoc = Carga_form.thisdocument.Document
    Dim pelement As IElement
    Dim pmarkerelement As IMarkerElement
    Dim pgraphicscontainer As IGraphicsContainer
    Set pgraphicscontainer = pmxdoc.FocusMap
    Set pmarkerelement = New MarkerElement
    Set pelement = pmarkerelement
    pelement.Geometry = punto
    Dim pmarkersymbol As ISimpleMarkerSymbol

    If Tipo = "Sanitarios" Then
        'Si se trata de un Sanitario, lo representamos con una cruz azul:
        Set pmarkersymbol = MakeMarkerSymbol(vbBlue, esriSMSCross, 5#)
    ElseIf Tipo = "Bomberos" Then
        'Si se trata de un Bombero, lo representamos con una círculo rojo:
        Set pmarkersymbol = MakeMarkerSymbol(vbRed, esriSMSCircle, 5#)
    ElseIf Tipo = "Policia" Then
        'Si se trata de un Policía, lo representamos con un diamante blanco:
        Set pmarkersymbol = MakeMarkerSymbol(vbWhite, esriSMSDiamond,
        5#)
    ElseIf Tipo = "Forestales" Then
        'Si se trata de un Forestal, lo representamos con un cuadrado verde:
        Set pmarkersymbol = MakeMarkerSymbol(vbGreen, esriSMSSquare,
        5#)
        'Si solo queremos representar un punto cualquiera (no corresponde a
        ningún recurso):
    ElseIf Tipo = "normal" Then
        Set pmarkersymbol = MakeMarkerSymbol(vbYellow, esriSMSX, 5#)
    End If

    pmarkerelement.Symbol = pmarkersymbol
    pgraphicscontainer.AddElement pelement, 0
    Set pmarkerelement = Nothing
    Set pmarkersymbol = Nothing

End Sub
```

La visualización del desplazamiento de los recursos adquiridos es la representada en la siguiente figura, observamos en ésta que hemos adquirido dos recursos, un policía (Poli8) con matrícula 111111F y un sanitario (Sanita3) con matrícula 334243A, ambos se encuentran desplazándose por la carretera principal pero en sentidos contrarios:

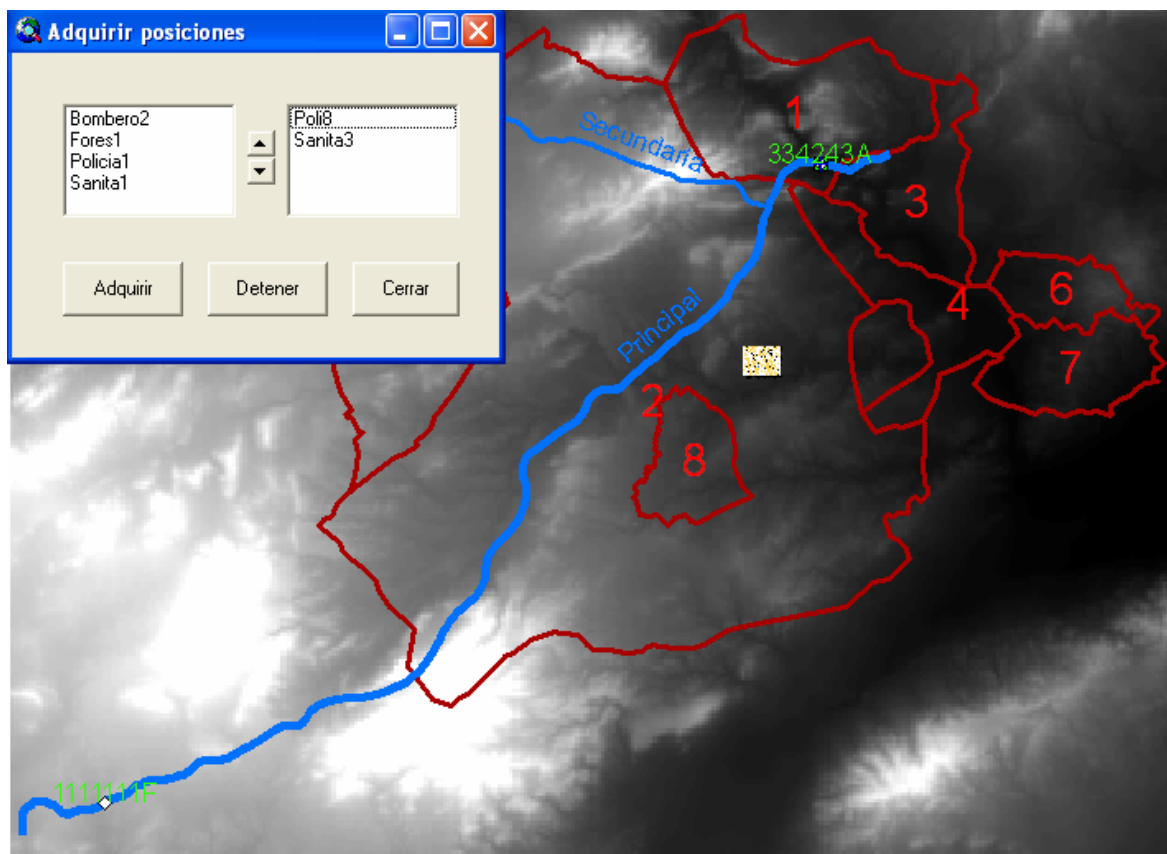


Figura 48. Adquisición de los recursos Poli8 y Sanita3

Llegados a este punto podemos hacer referencia a uno de los objetivos perseguidos con esta opción de adquirir, supongamos que habíamos definido previamente la zona de cálculo para una incidencia (un círculo por ejemplo), veamos cómo se lleva a cabo el proceso de monitorización.

Inicialmente:

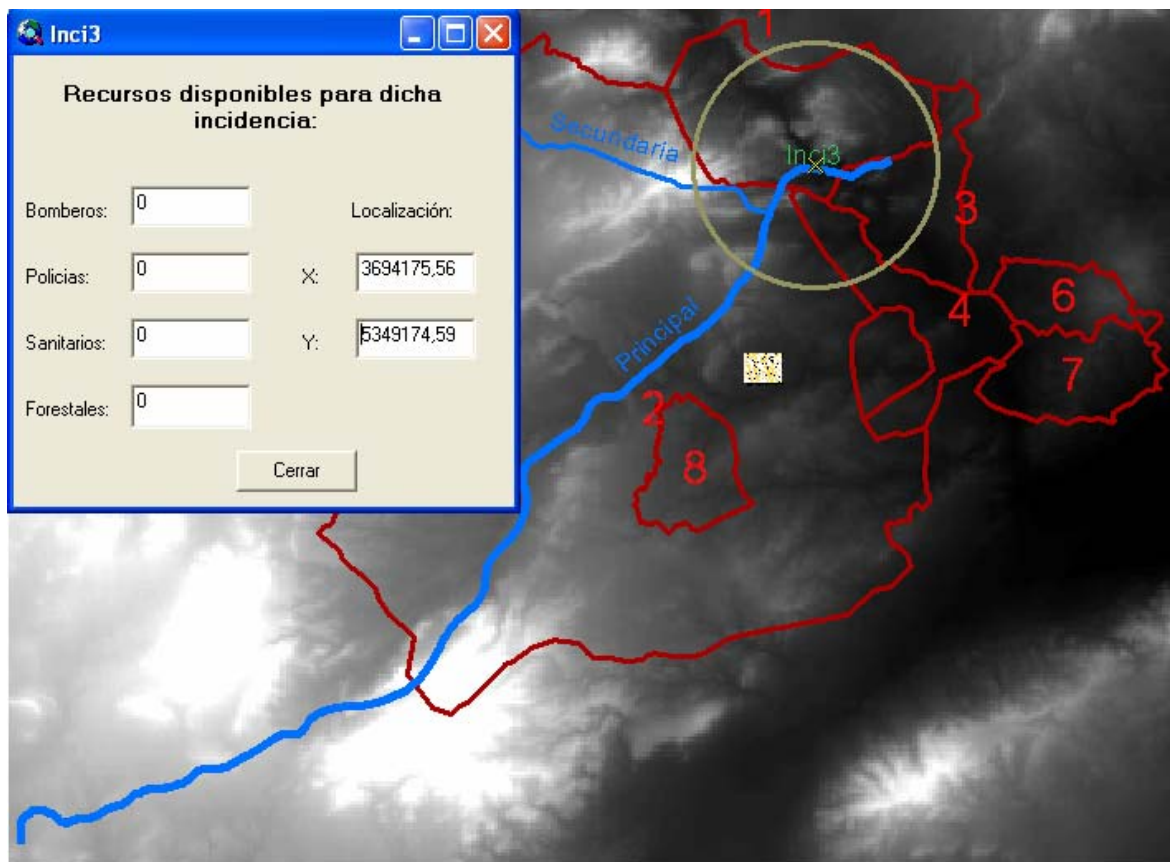


Figura 49. Definición de la zona de cálculo para la incidencia Inci3

Observamos que tenemos activa la incidencia ‘Inci3’ en el mapa, para la que se ha definido la zona de localización a monitorizar, en este caso un círculo centrado en el punto dónde se situó la incidencia. En un primer momento, la incidencia no tendrá disponible ningún recurso en dicha zona de cálculo, como nos indica los contadores correspondientes a cada uno de los recursos.

Durante la adquisición de un recurso que se desplaza atravesando dicha zona de cálculo:

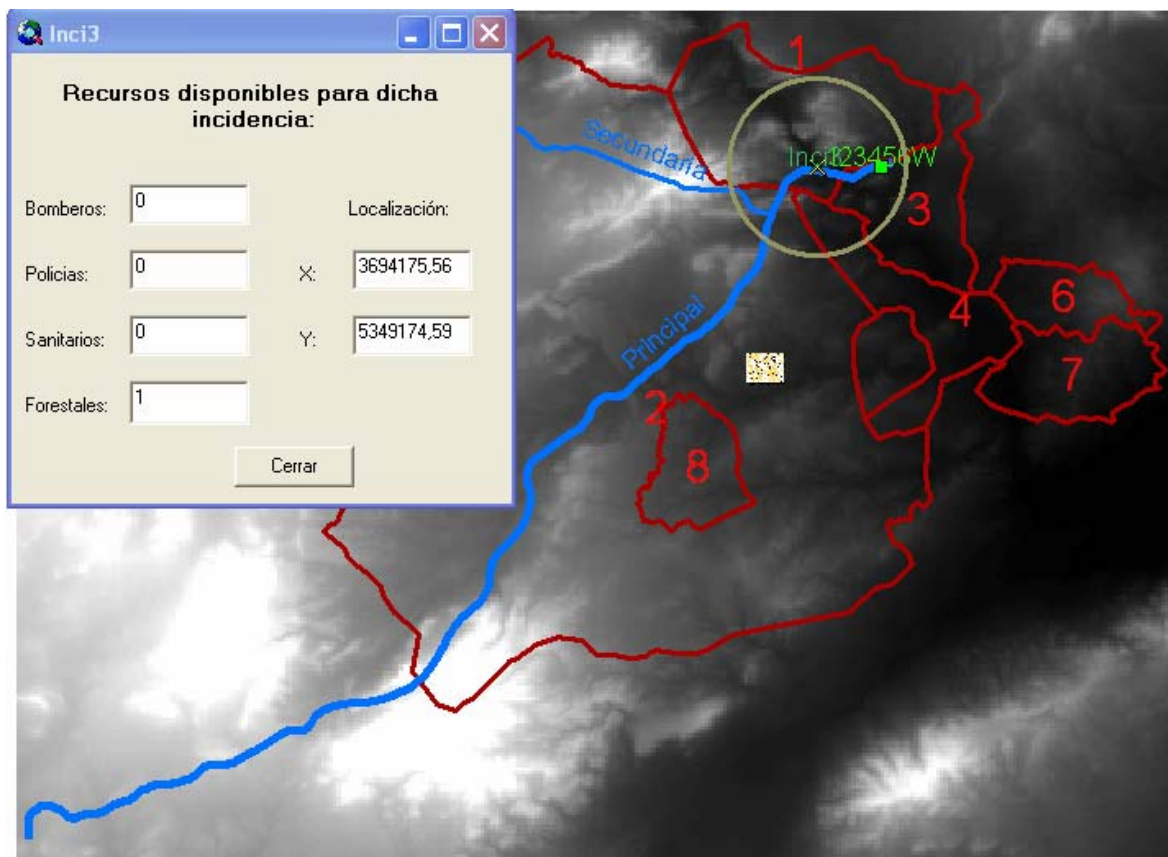


Figura 50. Adquisición del recurso Fores9

Observamos cómo el contador de ‘Forestales’ se incrementa en una unidad al pasar dicho recurso por la zona de cálculo activa, evidentemente cuando dicho recurso salga de dicha zona el contador decrementará una unidad.

Con este proceso de monitorización podremos controlar si existen o no recursos disponibles para una determinada incidencia en un determinado periodo de tiempo, y si el número de estos es el necesario, y a partir de dicha conclusión estaremos en disposición de tomar las decisiones pertinentes.

Resulta de interés el código implementado para el desarrollo de esta monitorización, dependiendo de cuál haya sido la zona de cálculo elegida, el incremento o decremento de los contadores de los recursos disponibles estarán sujetos a distintas condiciones, este código ha sido el siguiente:

```

Private Sub Timer1_Timer()
Dim x As Double
Dim y As Double
Dim modulo As Double
Dim i As Integer
Dim punto As IPoint
Dim b, p, s, f As Integer
b = 0
p = 0
s = 0
f = 0
Set punto = New Point
punto.x = Me.xcentro.text
punto.y = Me.ycentro.text

For i = 0 To tiempo.x.ListCount - 1
    x = CDb1(tiempo.x.List(i)) - CDb1(Me.xcentro.text)
    y = CDb1(tiempo.y.List(i)) - CDb1(Me.ycentro.text)
    modulo = Sqr(x ^ 2 + y ^ 2)

    If Me.capa.text = "Capa vectorial" Then      '--> caso de capa vectorial
        If tiempo.Timer1.Enabled = True Then
            dibuja.AddLabel Me.nombre.text, punto, "incidencia"
        End If

        If Incidentes.PointsFromPolygon(CDb1(tiempo.x.List(i)),
        CDb1(tiempo.y.List(i)), Me.capaVectorial) = True Then
            Select Case tiempo.coche.List(i)
                Case "Bomberos"
                    b = b + 1
                Case "Policia"
                    p = p + 1
                Case "Sanitarios"
                    s = s + 1
                Case "Forestales"
                    f = f + 1
            End Select
        End If
    End If
End If

```



```

If Me.capa.text = "Rectángulo" Then          '--> caso del rectángulo
  If tiempo.Timer1.Enabled = True Then
    dibuja.punto2 CDb1(Me.xcentro.text), CDb1(Me.ycentro.text)
    dibuja.dibuja_rect_mouse CDb1(Me.rectaXmax.text), CDb1(Me.rectaYmax.text),
CDb1(Me.rectaXmin.text), CDb1(Me.rectaYmin.text)
    dibuja.AddLabel Me.nombre.text, punto, "incidencia"
  End If
  If      CDb1(Me.rectaXmin.text)      <      CDb1(tiempo.x.List(i))      And
CDb1(Me.rectaXmax.text) > CDb1(tiempo.x.List(i)) And CDb1(Me.rectaYmin.text) <
CDb1(tiempo.y.List(i)) And CDb1(Me.rectaYmax.text) > CDb1(tiempo.y.List(i)) Then
    Select Case tiempo.coche.List(i)
      Case "Bomberos"
        b = b + 1
      Case "Policia"
        p = p + 1
      Case "Sanitarios"
        s = s + 1
      Case "Forestales"
        f = f + 1
    End Select
  End If
End If

If Me.capa.text = "Círculo" Then          '--> caso del círculo
  If tiempo.Timer1.Enabled = True Then
    Dim topoint As IPoint
    Set topoint = New Point
    topoint.x = punto.x + Me.radio.text
    topoint.y = punto.y
    dibuja.punto punto, "normal"
    dibuja.circulo dibuja.poligono
    dibuja.AddLabel Me.nombre.text, punto, "incidencia"
  End If

```

```

        If modulo < CDb1(Me.radio.text) Then
            Select Case tiempo.coche.List(i)
                Case "Bomberos"
                    b = b + 1
                Case "Policia"
                    p = p + 1
                Case "Sanitarios"
                    s = s + 1
                Case "Forestales"
                    f = f + 1
            End Select
        End If
    End If
Next

Me.bomberos.text = CStr(b)
Me.policias.text = CStr(p)
Me.sanitarios.text = CStr(s)
Me.forestales.text = CStr(f)

End Sub

```

Este código forma parte del formulario **"incidencia2"** dentro del método asociado al temporizador de dicha incidencia. Ésta incidencia fue generada durante la visualización de incidencias y definición de la zona de cálculo de la incidencia seleccionada, cada incidencia seleccionada y definida su zona de cálculo mantendrá asociada dicha zona de cálculo (con sus respectivas características) durante el tiempo en el que su ventana de monitorización permanezca activa. Este hecho nos permite conocer qué zona de cálculo tiene asociada cada incidencia a monitorizar, así como las dimensiones de dicha zona.

Cuando la zona de cálculo sea una capa vectorial, utilizaremos el método de ArcObject :

```
pRelationalOperator.Contains(pPoint)
```

Al que se llama dentro de la función:

```
Public Function PointsFromPolygon(ByVal X As Double, ByVal Y As Double, ByVal capa As IRelationalOperator) As Boolean
```

Disponible en el módulo **"Incidentes"** .

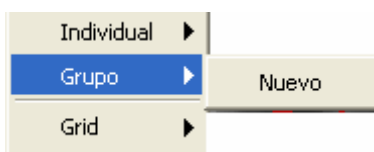
pPoint será cada uno de los puntos que compone una ruta. Para comprobar si dicho punto se encuentra dentro del área de cálculo, en cuyo caso incrementaremos el contador

del recurso que se encuentra dentro en dicho instante, así como lo decrementaremos cuándo el recurso en cuestión salga de dicha zona.

Cuando la **zona de cálculo** sea un **círculo**, el cual tendrá asociado un radio conocido, bastará comprobar si el módulo del vector que une el centro de dicho círculo con cada uno de los puntos de la ruta en cuestión es menor o igual que el radio del círculo, en cuyo caso será porque está dentro o en el límite de la zona de cálculo.

Cuando la **zona de cálculo** sea un **rectángulo**, del cual conoceremos las coordenadas (x,y) de cada una de sus esquinas, comparando éstas con las coordenadas de cada uno de los puntos de la ruta podremos determinar si dichos puntos estarán o no contenidos en la zona de cálculo.

La opción de **‘Grupo’**:



permite introducir los datos para la creación de un grupo de rutas individuales. Una de las ventajas que proporciona esta opción es la comodidad a la hora de adquirir recursos, ya que al adquirir un grupo estaremos adquiriendo varios recursos individuales en un solo paso.

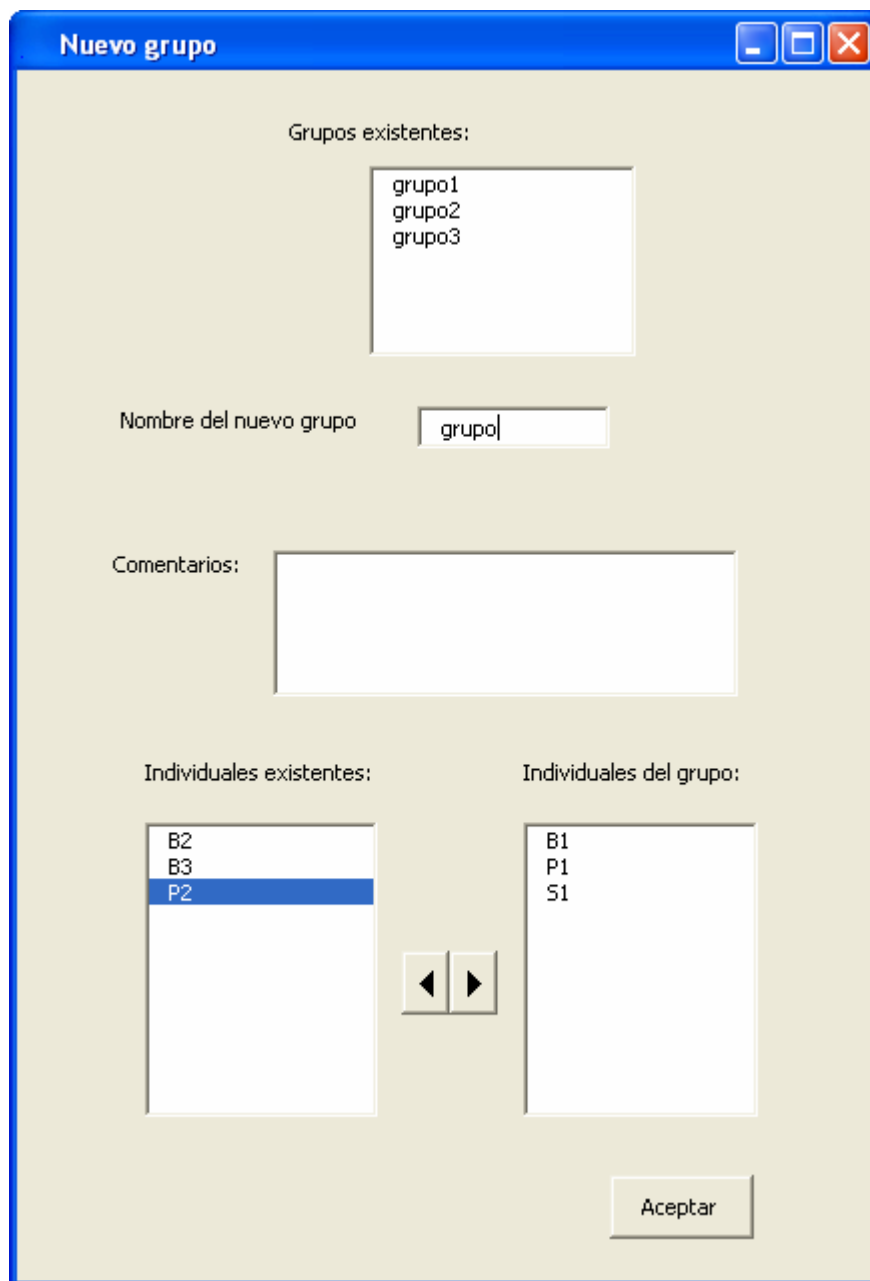
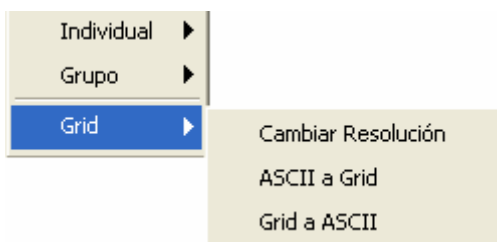


Figura 51. Ventana desplegada para crear un 'grupo' de recursos individuales

La opción de ‘Grid’:



Se han incluido en este apartado operaciones con “*raster*” tales como importar de un fichero con formato ASCII, exportar a un fichero con formato ASCII o cambiar la resolución de un “*raster*”.

5.3.3. Base de datos

Las bases de datos asociadas a los recursos y a los grids que se manejan con esta herramienta, se encuentran disponibles en este menú.

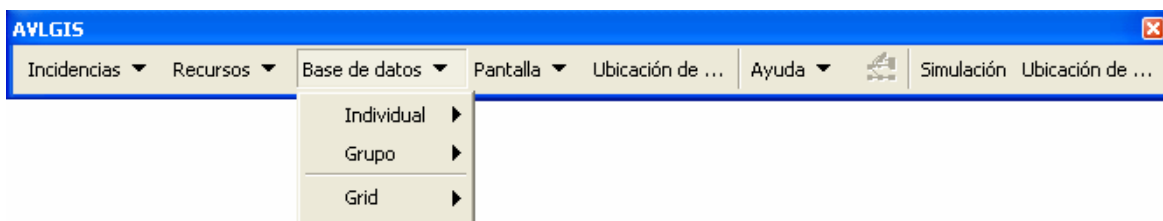


Figura 52. Submenú ‘Base de datos’ desplegado

La opción ‘Individual’:



Nos permitirá **consultar** las bases de datos de los recursos individuales creados hasta el momento y que se encuentran disponibles en formato .dbf en el directorio indicado en ‘Ubicación de...’. Dentro de la opción de ‘Consultar’ podremos también modificar

alguno de los campos del recurso, para ello pincharemos en el botón ‘Modificar’, modificaremos el/los campo/s deseados y para que tengan efecto dichos cambios, tendremos que pinchar en el botón ‘Aceptar’, cuando procedemos de esta forma, la tabla de atributos se cargará en la tabla de contenidos de ArcView, a lo igual que la ruta quedará dibujada en el mapa. Igual que sucedía con las incidencias, si el campo modificado es el nombre, se generará un nuevo recurso con dicho nombre actualizado, y si no es el caso, el recurso modificado reemplazará al anterior.

Si no queremos modificar ningún campo, sino que sólo deseamos consultar la base de datos, sólo se cargará en la tabla de contenidos la tabla con las coordenadas de los puntos de la ruta asociada a dicho recurso.

Podremos también eliminar un recurso individual, borrando así su tabla de atributos de la tabla de contenidos, así como del directorio correspondiente.

Todas las acciones descritas que hacen referencia a la opción de ‘Consultar’ del menú de ‘Base de datos’ se realizan sobre el formulario que nos aparece al elegir dicha opción y cuya forma es la que muestra la figura siguiente:

Datos individuales

Nombre:

Información sobre el recurso seleccionado:

Inicio de la actividad:

Fecha: Hora:

Fin de la actividad:

Fecha: Hora:

Características del recurso:

Estado inicial del recurso:

Matrícula:

Tipo:

Labor que desarrolla:

Comentarios:

Nombre tabla:

Directorio tabla:

Figura 53. Ventana desplegada tanto para visualizar, como para modificar un recurso

Otra opción es la de 'Copiar', ésta nos permite copiar un recurso individual de un directorio a otro, o si lo deseamos, copiar un recurso con un nombre distinto o el mismo en el mismo directorio, en este caso, si los nombres coincidieran, el nuevo recurso reemplazaría al anterior.

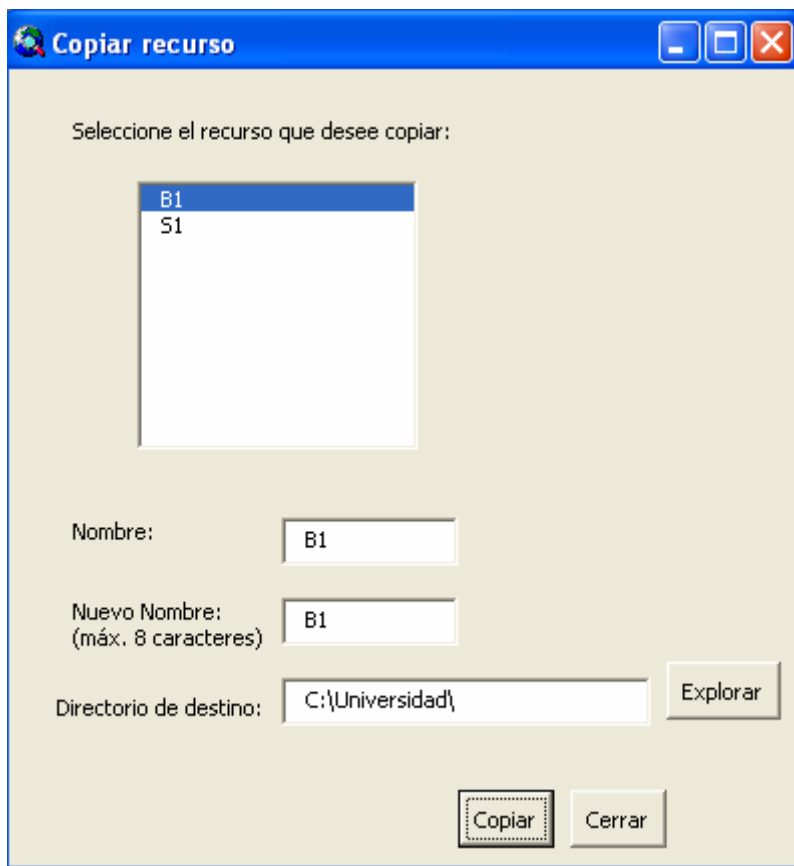
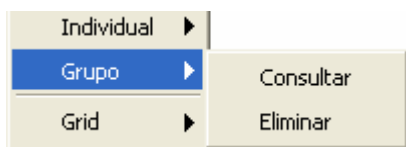


Figura 54. Ventana desplegada para copiar un recurso

La opción ‘**Grupo**’:



Nos permite realizar las acciones de: ‘Consultar’ y ‘Eliminar’, sobre las bases de datos correspondientes a grupos de recursos individuales.

La opción 'Grid':



Con esta opción podremos eliminar una capa raster existente, indicando su ubicación:

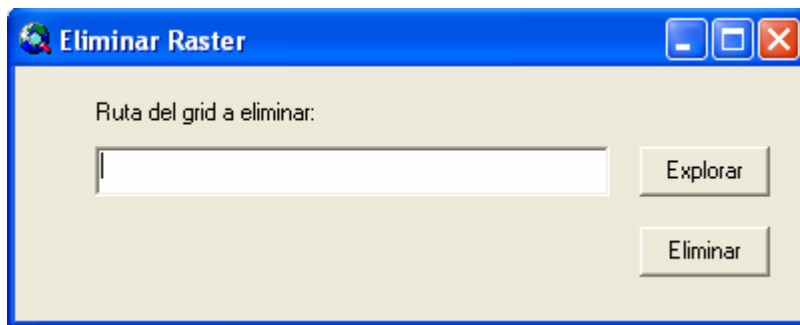


Figura 55. Ventana desplegada para eliminar un Raster

O copiar un raster:

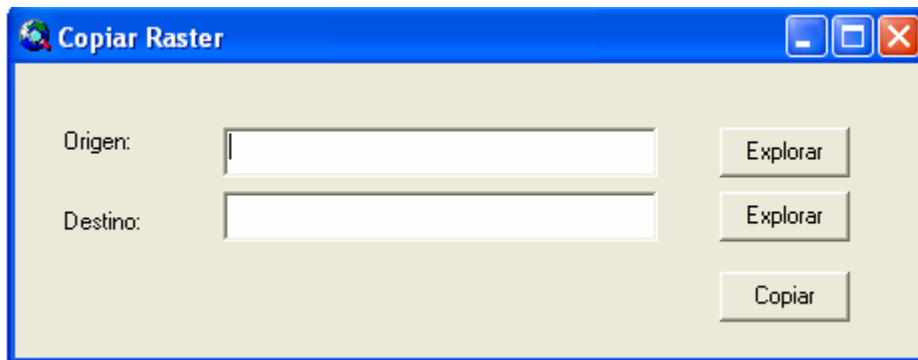


Figura 56. Ventana desplegada para copiar un Raster

5.3.4. Pantalla

El submenú ‘Pantalla’ nos permitirá borrar elementos (etiquetas, zonas de cálculo...) dibujados sobre el mapa, así como eliminar la/s capa/s activa/s (puntos, rutas ...).

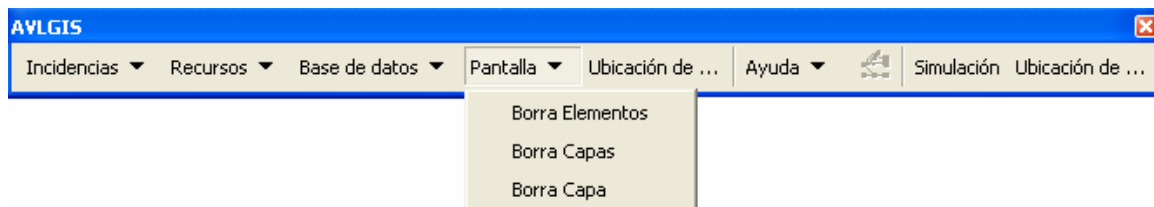


Figura 57. Submenú ‘Pantalla’

5.3.5. Ubicación de...

Este submenú es el que hemos ido referenciado en apartados anteriores, en él se asignarán los directorios en los que se irán almacenando las bases de datos manejadas por la herramienta.

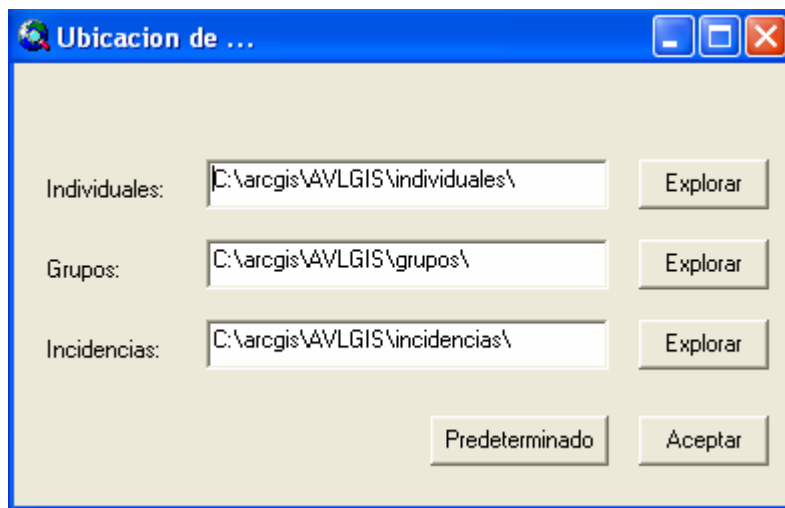


Figura 58. Submenú ‘Ubicación de ...’

Disponemos de la posibilidad de asignar nosotros las rutas de los directorios dónde se almacenará la información generada, mediante los botones de ‘Explorar’, o bien, pinchando sobre el botón ‘Predeterminado’ se asignará a los distintos paths una ruta por defecto, las cuales se corresponden con los directorios que se observan en la figura 36.

5.3.6. Ayuda

En el menú principal de la herramienta AVLGIS nos parecerá el submenú de ayuda:

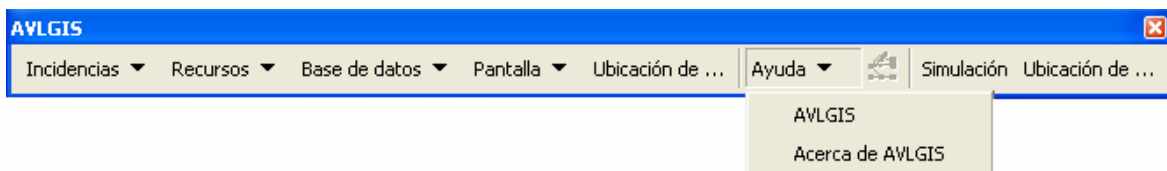


Figura 59. Submenú de Ayuda

Cuando pinchamos sobre el botón AVLGIS, nos aparecerá un archivo de ayuda que nos proporcionará la siguiente información acerca de la aplicación:

- Resumen
- Desarrollo
- Estructura

La ayuda proporcionada será tanto analítica como gráfica, de forma que facilite al usuario el manejo de la herramienta.

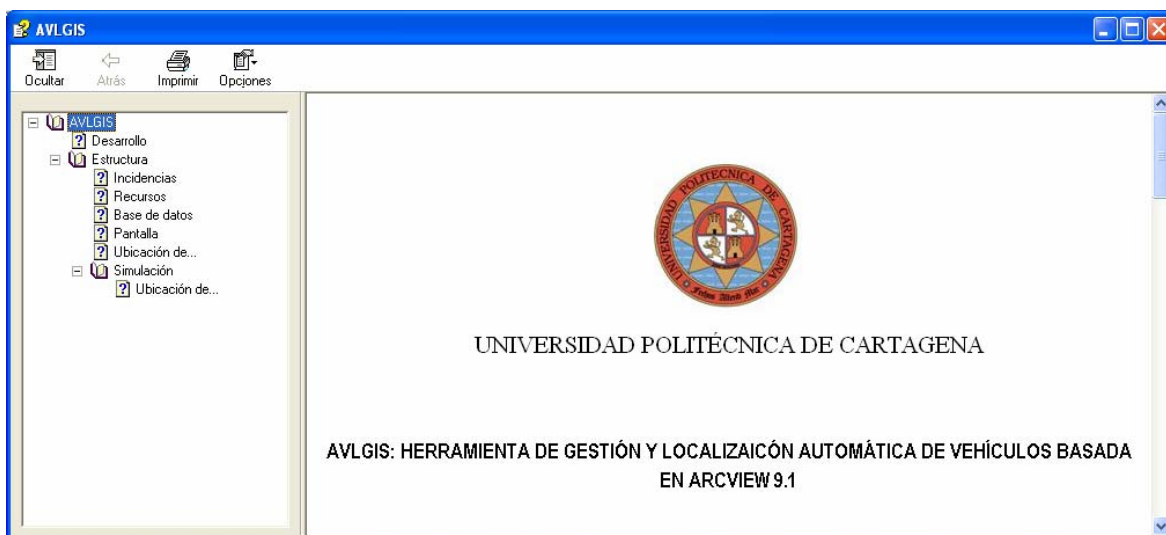


Figura 60. Aspecto general del archivo de ayuda sobre AVLGIS

El botón ‘Acerca de AVLGIS ’ incorporado en el submenú de ‘Ayuda’ nos permitirá visualizar una ventana con un resumen de la aplicación desarrollada, así como del equipo de personas involucradas en dicho desarrollo.

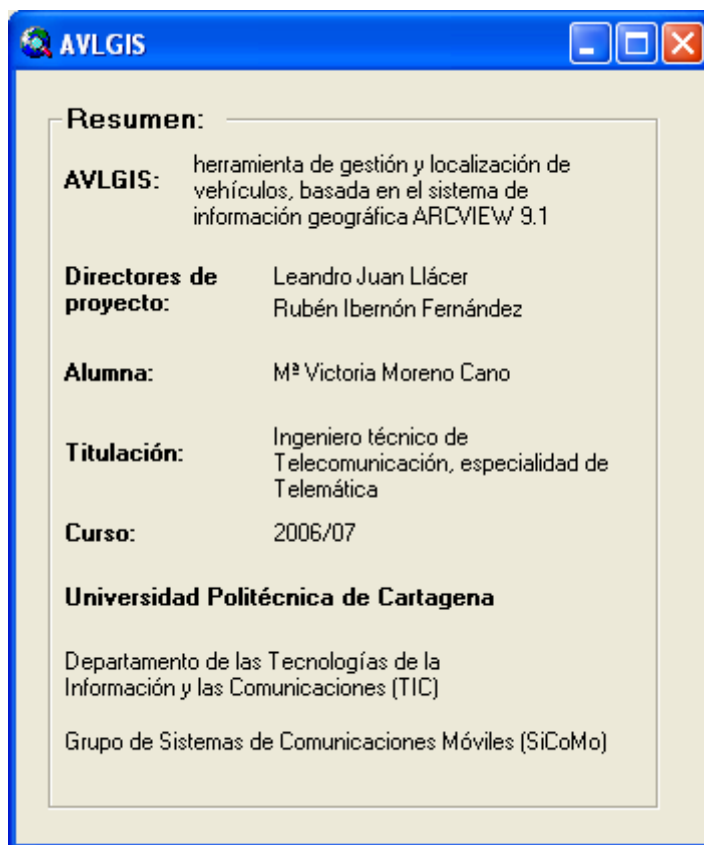


Figura 61. Resumen sobre la herramienta: AVLGIS

5.3.7. Simulación

Con este submenú pretendemos presentar un ejemplo de aplicación de la herramienta AVLGIS desarrollada en el presente proyecto. Este ejemplo se basa en la simulación de un caso real de la llegada de las coordenadas GPS enviadas desde los terminales de los servicios de emergencia desplegados en el momento de la simulación, un esquema de este proceso se muestra en la siguiente figura:

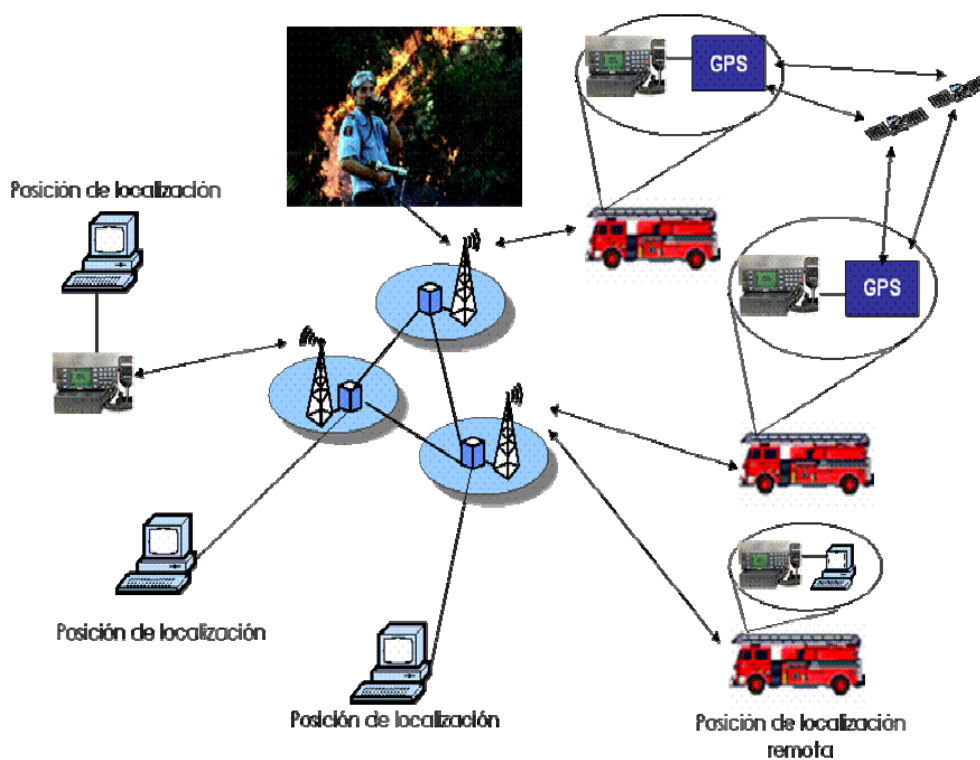


Figura 62. Esquema ejemplo de un caso real

En nuestras simulaciones partiremos del hecho de que tenemos localizadas en el mapa de carreteras las incidencias que pretendemos monitorizar, así como sus correspondientes ventanas con el número de recursos disponibles dentro del área de localización previamente definida.

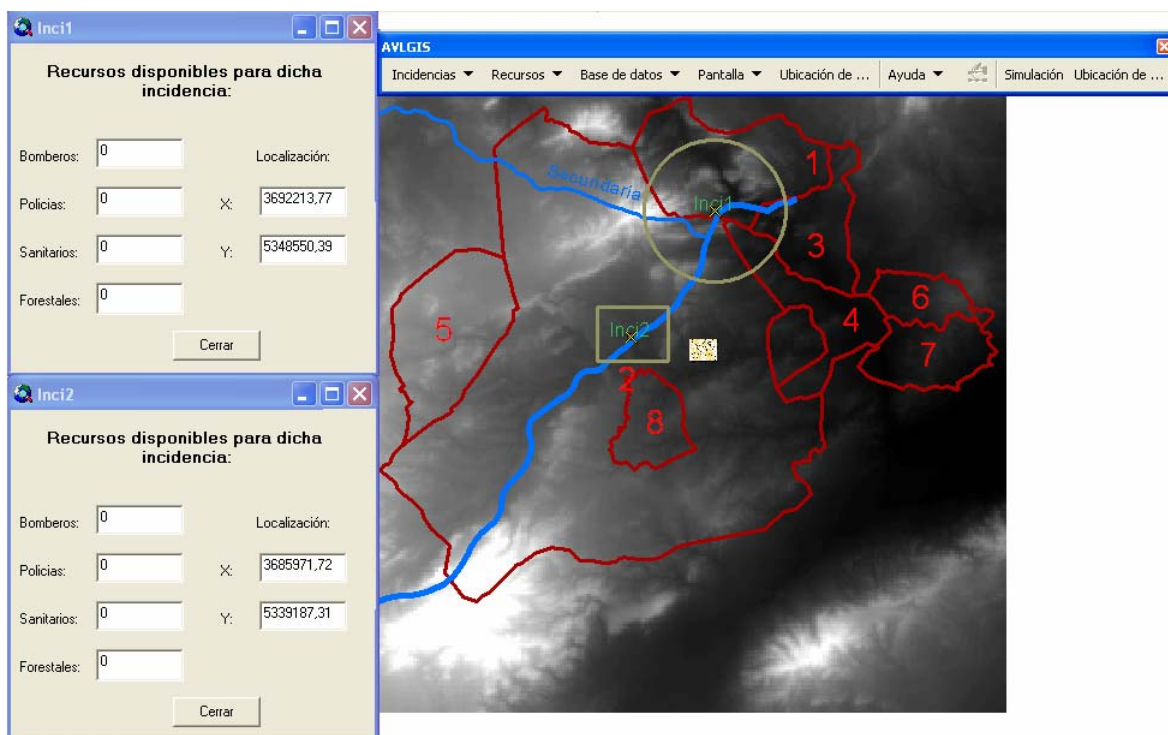


Figura 63. Visualización de las incidencias

El submenú al que hacemos referencia en el actual apartado es el que aparece en la siguiente figura:

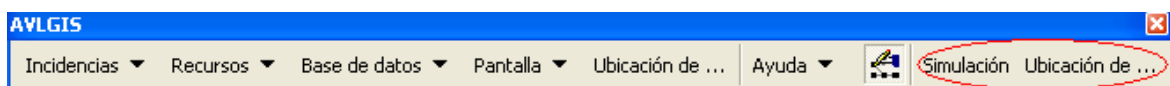


Figura 64. Submenú para la simulación en tiempo real

Cuando pinchamos sobre el botón de 'Simulación' nos aparecerá una ventana como la siguiente:

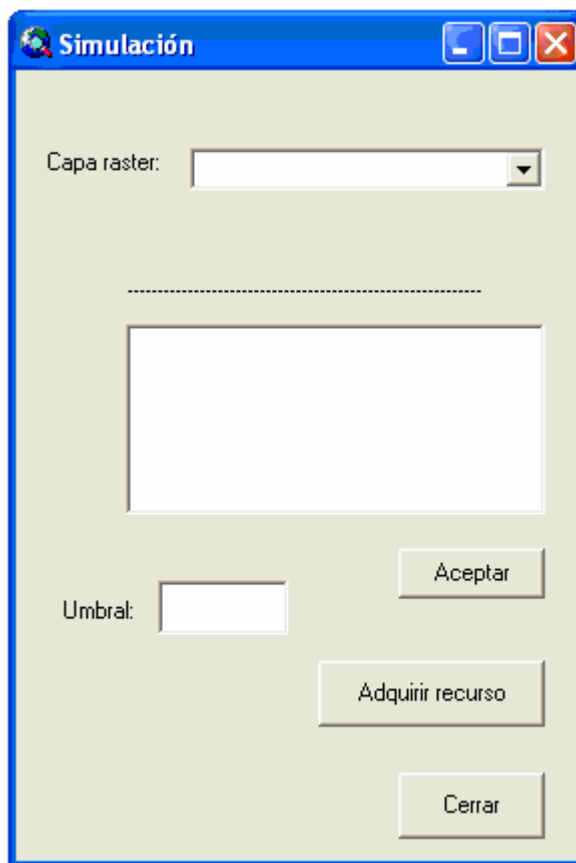


Figura 65. Ventana correspondiente a la opción de simulación

En la opción de ‘Capa Raster’ nos aparecerán las capas raster almacenadas en el directorio correspondiente, y el cual podemos conocer o modificar seleccionando ‘Ubicación de ...’ de la parte del menú ‘simulación’ y que trataremos más adelante. Estas capas *raster* fueron calculadas utilizando la herramienta RADIOGIS, mencionada en apartados anteriores, y de cuyo proceso de obtención hablaremos en el siguiente capítulo en el apartado de “*Generación de mapas de cobertura*”.

Las posibles capas raster que nos proporcionará la aplicación serán las siguientes:

- Coberturas de Potencia:
 - rural_1
 - rural_2
 - rural_3
 - rural_4
 - rural_5

- Sistemas de Potencia:
 - rural: formado por la agrupación de las cinco coberturas individuales.
 - sistema_1: formado por la agrupación de las coberturas de potencias: rural_3 y rural_5.

- Otro: con esta opción podremos cargar cualquier capa raster que deseemos utilizar para llevar a cabo la simulación.

Al elegir qué tipo de capa raster queremos utilizar, nos aparecerá en la lista del centro de la ventana las distintas capas disponibles de esa categoría, si la elección fue 'otro' directamente podremos elegir nosotros cuál será dicha capa.

Al pinchar sobre una de las capas de la lista y luego en el botón de aceptar, se cargará en el mapa dicha capa raster, así como en la tabla de contenidos de ArcView aparecerán dos tablas de atributos asociadas a dicha capa, una de ellas nos proporcionará información detallada referente a los parámetros tenidos en cuenta a la hora del cálculo y la otra tabla nos informará gráficamente del intervalo de valores de potencia radioeléctrica obtenido para esta capa raster.

La primera tabla de atributos a la que hemos hecho referencia presenta la forma mostrada en la siguiente figura:

	A	B	C	D	E	
1	NOMBRE	EMPLAZAMIE	X	Y	ALTURA_EST	ANTENA
2	rural_1	rural_1	3686976,000000000000	5348405,000000000000	10,000000000000	C:\RADIOGIS\diagramas
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

Figura 66. Tabla de atributos perteneciente a la capa de cobertura: rural_1

Dicha tabla de atributos contendrá los valores asignados a los parámetros necesarios para el cálculo de dicho mapa de cobertura, esta asignación de valores, llevada a cabo utilizando la aplicación ya mencionada RADIOGIS, se explicará en el siguiente capítulo.

Ya estamos en disposición de introducir en el cuadro de texto ‘Umbral’ el valor del umbral de potencia radioeléctrica que nos limitará, es decir, cuál es el mínimo valor de potencia, para cada uno de los puntos implicados en las rutas desplegadas sujetos a la capa raster activa, que debe existir para que la supuesta recepción de coordenadas se lleve a cabo de forma correcta, esto es, que se reciban.

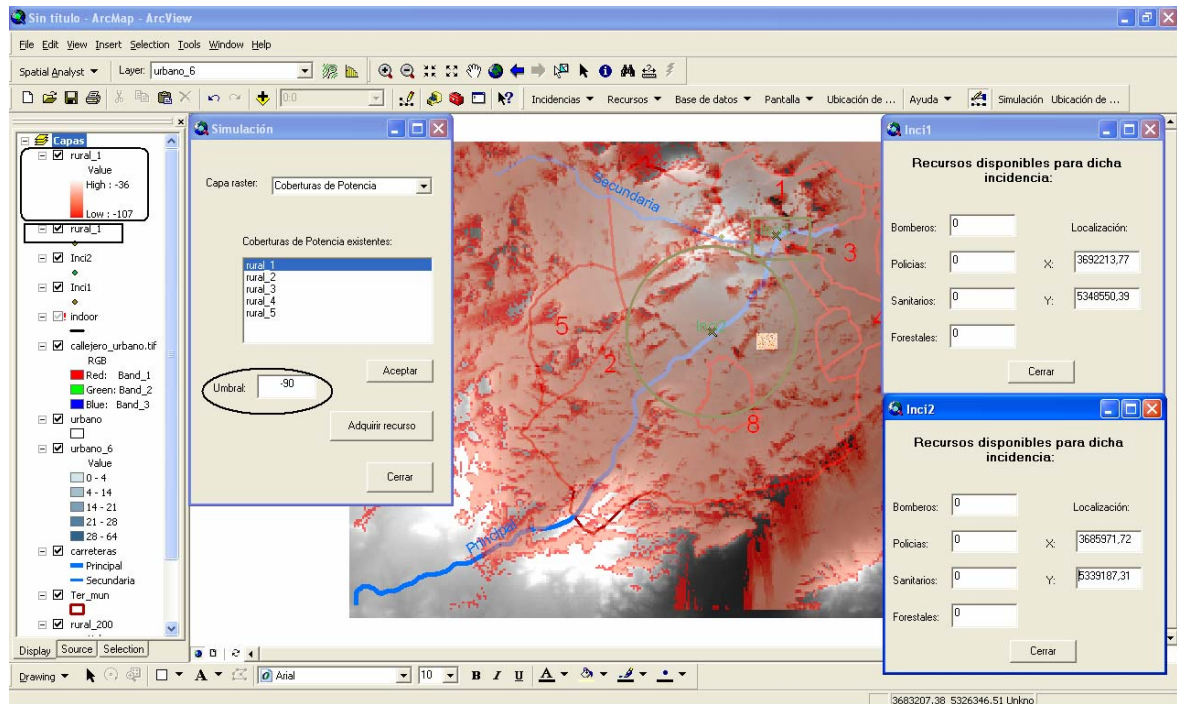


Figura 67. Introducción de valores y visualización de resultados

En la figura 67 mostramos el caso en que ya tenemos posicionadas en el mapa las incidencias implicadas, en este caso las incidencias ‘Inci1’ e ‘Inci2’, así como sus respectivas zonas de cálculo, un rectángulo y un círculo, tenemos también sus ventanas de monitorización activas y visibles en primer plano de forma tal que podamos controlar cualquier cambio que se produzca en los contadores de recursos, asociados a dichas incidencias, en todo momento.

Dicha figura muestra que la elección de la capa raster con el mapa de cobertura a considerar ha sido la capa ‘rural_1’, cuya tabla de atributos y rango de valores de potencia radioeléctrica nos aparecen en la tabla de contenidos de ArcView.

El umbral introducido, según indica la figura, ha sido de -90 dBm, por tanto podemos deducir que para dicho umbral existirán zonas donde se cumpla la restricción impuesta y zonas donde no se cumpla, ya que como vemos el rango de valores de potencia para dicha capa están comprendidos en el intervalo [-107, -36].

En el caso de que no se reciban las coordenadas, es decir, que nos encontremos en un punto de la carretera en el cual la potencia radioeléctrica (según el mapa de cobertura implicado) no supere el umbral introducido, dejaremos de visualizar el punto que representa al recurso en cuestión y que se encuentra desplazándose a lo largo de dicha ruta.

En el momento en que la restricción impuesta por el umbral introducido sea superada, el punto volverá a aparecer sobre el mapa y continuaremos viendo su desplazamiento a lo largo de su ruta asociada, hasta llegar a un punto que no verifique la restricción.

Para que todo este proceso se lleve a cabo, tras haber sido introducido el valor del umbral, pincharemos en el botón de ‘Adquirir Recurso’, al hacer esto nos aparecerá la ventana correspondiente a la opción de ‘Adquirir’ disponible en el submenú:

‘Recursos → Individual → Adquirir’

Aquí indicaremos cuáles serán los recursos que queremos implicar en la simulación, el desplazamiento de éstos serán los que estén sujetos a la restricción impuesta por el umbral introducido.

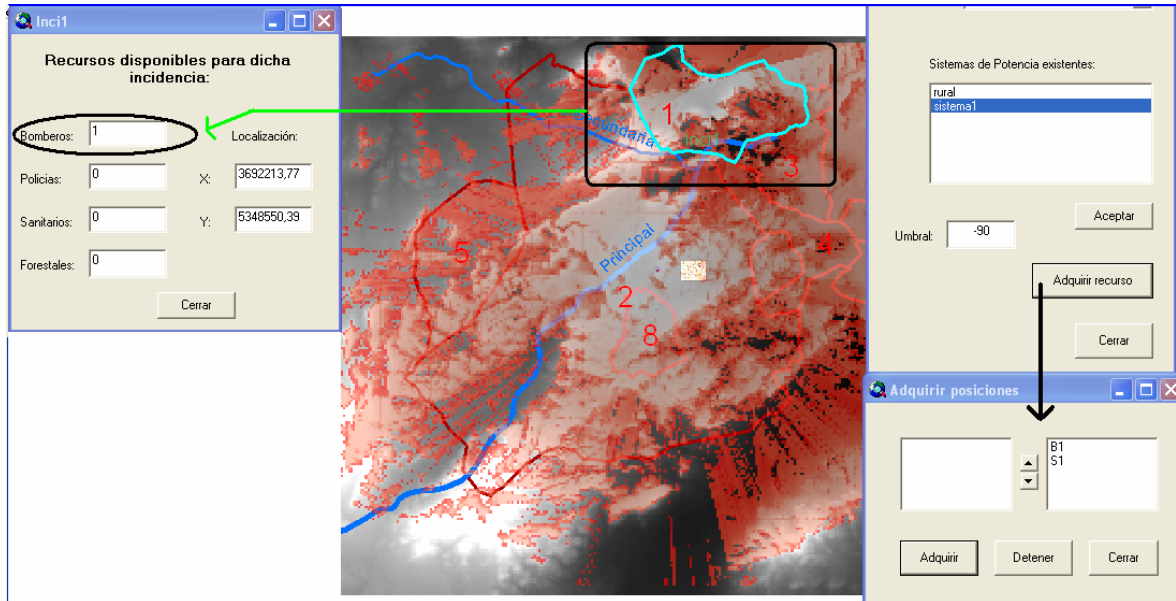
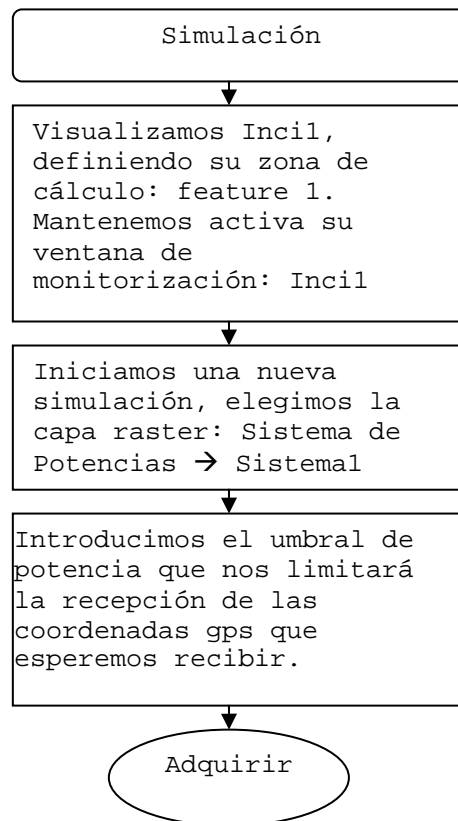
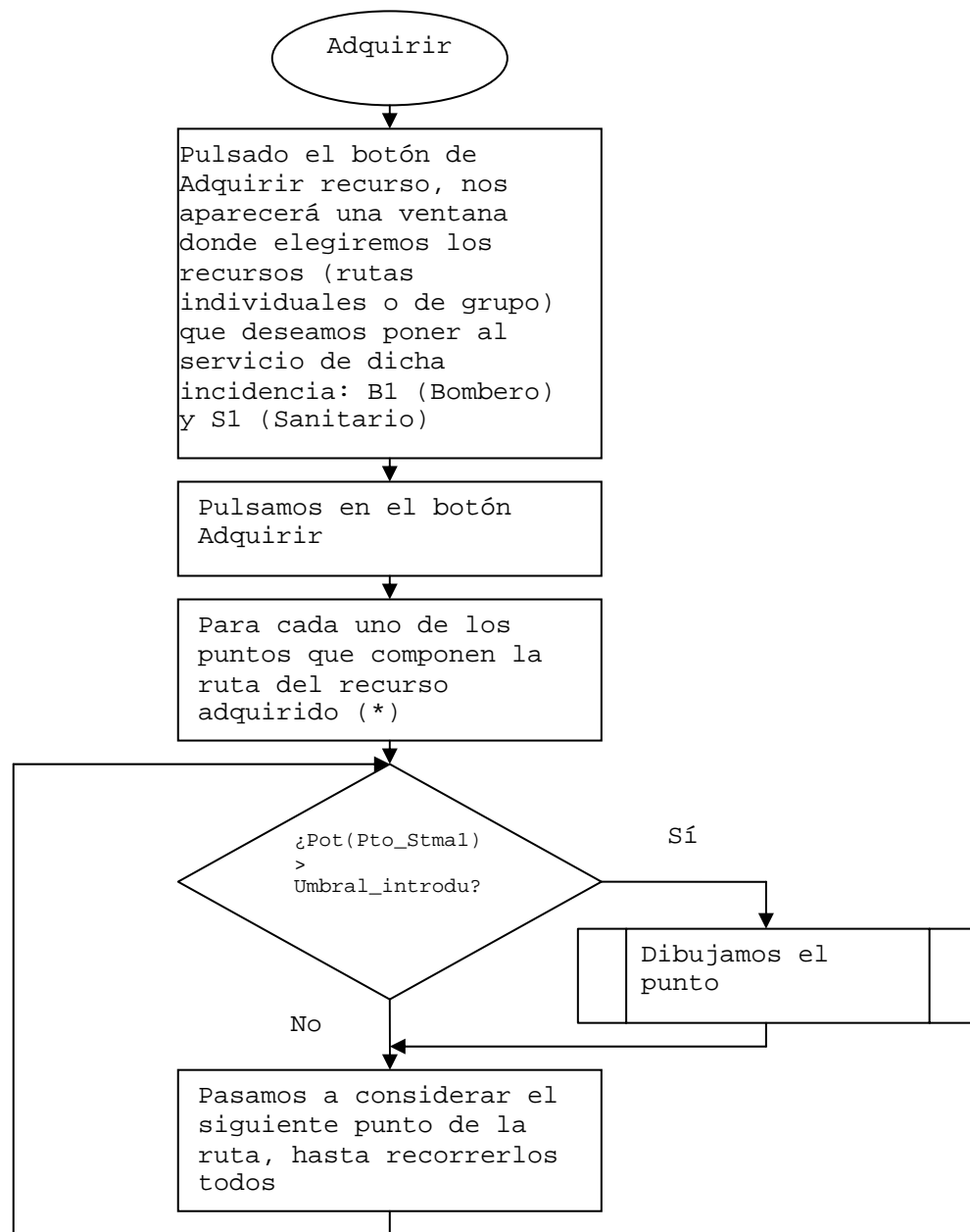


Figura 68. Representación de una simulación

La figura 68 muestra un ejemplo de simulación, para comprender la metodología considerada en este ejemplo, la desglosaremos mediante el siguiente flujograma :





En la figura 68 podemos observar que el valor de la potencia radioeléctrica, correspondiente al punto considerado en ese instante, es menor que el umbral introducido por el usuario, por lo que no se representa el punto perteneciente al bombero (B1), que en dicho momento se encuentra dentro del área de localización de la incidencia a monitorizar (Inci1) como nos indica el contador ‘Bomberos’ perteneciente a dicha incidencia.

El código implementado para desarrollar la comprobación de si la potencia radioeléctrica existente en cada uno de los puntos pertenecientes a la ruta asociada al recurso adquirido, según el balance de potencias calculado, y que en el ejemplo anterior se correspondía a un sistema de potencias formado por dos emplazamientos, es el siguiente:

Formulario '**tiempo**' al pulsar sobre el botón '**Adquirir**' durante el intervalo de tiempo en el que el temporizador está activo y se ha comprobado de que se trata de una simulación¹:

```
'No tenemos en cuenta el umbral → ya comentado
If simulacion = False Then
    dibuja.punto puntico, Tipo
    dibuja.AddLabel matricula, puntico, "matricula

'tenemos en cuenta el umbral
Else
'si la potencia para dicho punto, según la capa raster seleccionada
(carga.nombre), es mayor que el umbral introducido:
    If carga.Altura(puntico.X, puntico.Y, carga.nombre) >
        carga.umbral Then
        dibuja.punto puntico, Tipo
        dibuja.AddLabel matricula, puntico, "matricula"
    End If

End If

'Genérico a ambos casos. . .:
X.AddItem puntico.X
Y.AddItem puntico.Y
coche.AddItem Tipo

Next
pmxdoc.ActivatedView.Refresh

'Guardamos el nº de puntos adquiridos:
numero.text = CStr(CInt(numero.text) + 1)
End Sub
```

¹ El código completo ha sido comentado con anterioridad, en el apartado correspondiente a la opción de [adquirir](#)

Función '**Altura**' del módulo '**carga**', a la que le pasamos como argumentos de entrada las coordenadas x e y del punto en cuestión y la capa raster con los valores de la potencia radioeléctrica, y nos devuelve la potencia para dicho punto:

```
Function Altura(ByVal mapX As Double, ByVal mapY As Double, ByVal
capa As String) As Double

Dim indice As Integer
Dim pPixelBlock As IPixelBlock
Dim vValue As Variant
Dim pmxdoc As IMxDocument
Dim MapControll As IMap
Set pmxdoc = Carga_form.thisdocument.Document
Set MapControll = pmxdoc.FocusMap
Dim i As Long, j As Long
Dim sPixelVals As String
sPixelVals = "No Raster"
Dim pRasterProps As IRasterProps
Dim dXSize As Double, dYSize As Double
Dim pPixel As IPnt
Set pPixel = New DblPnt
Dim pBlockSize As IPnt
Set pBlockSize = New DblPnt
pBlockSize.SetCoords 1#, 1#

If capa <> "" Then
    For i = 0 To MapControll.LayerCount - 1
        If capa = MapControll.layer(i).name Then
            indice = i
            Exit For
        End If
    Next i
Dim pLayer As IRasterLayer
Set pLayer = MapControll.layer(indice)
Set pPixelBlock = pLayer.Raster.CreatePixelBlock(pBlockSize)
Set pRasterProps = pLayer.Raster
dXSize = pRasterProps.Extent.xmax - pRasterProps.Extent.xmin
dYSize = pRasterProps.Extent.ymax - pRasterProps.Extent.ymin
dXSize = dXSize / pRasterProps.Width
dYSize = dYSize / pRasterProps.Height
pPixel.X = (mapX - pRasterProps.Extent.xmin) / dXSize
pPixel.Y = (pRasterProps.Extent.ymax - mapY) / dYSize
pLayer.Raster.Read pPixel, pPixelBlock
```

```
For j = 0 To pPixelBlock.Planes - 1
    If (sPixelVals = "No Raster") Then
        sPixelVals = ""
    Else
        sPixelVals = sPixelVals & ", "
    End If
    vValue = pPixelBlock.GetVal(j, 0, 0)
    sPixelVals = sPixelVals & CStr(vValue)
Next j

If (sPixelVals <> "No Raster") Then Altura = sPixelVals

End If
End Function
```

5.3.8. Ubicación de...

Esta opción incluida en la parte del menú de AVLGIS de la *simulación* nos permite modificar los directorios de trabajo para las bases de datos implicadas, en este caso, las correspondientes a las de los cálculos radioeléctricos: *Potencia radioeléctrica* y *Sistemas de potencia*.

Por defecto estos directorios son:

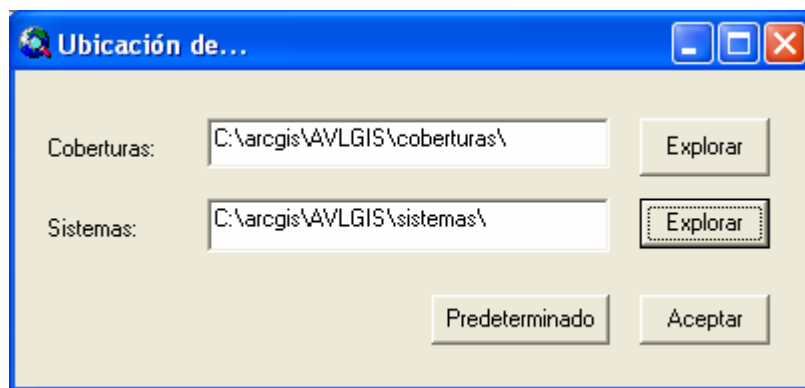


Figura 69. Directorios asignados por defecto a las bases de datos de Coberturas y Sistemas

Dentro de estos directorios estarán almacenadas las capas raster que AVLGIS nos proporciona para la simulación.

CAPÍTULO 6.

SIMULACIONES CON AVLGIS

Para el desarrollo, en el presente proyecto, de la opción de simulación se ha requerido del uso de RADIOGIS para el cálculo de potencias radioeléctricas, así como para la obtención de los sistemas de potencias implicados. Como se mencionó con anterioridad en el capítulo 3, RADIOGIS genera archivos asociados a los cálculos radioeléctricos realizados, estos archivos, en concreto las capas raster obtenidas, son las que hemos utilizado para la importación en AVLGIS de los mapas de cobertura seleccionados, así como para la comprobación del valor de la potencia radioeléctrica para cada uno de los puntos que forman las rutas sobre las que hemos trabajado.

6.1. Generación de mapas de cobertura

Para el proceso de generación de los mapas de cobertura implicados en nuestra herramienta, AVLGIS, se han tomado como referencia los siguientes emplazamientos rurales:

Nombre	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)
rural_1	3686976	5348405
rural_2	3692574	5325258
rural_3	3688358	5338274
rural_4	3681035	5331832
rural_5	3692749	5354010

Una vez creados mediante RADIOGIS, cada uno de los emplazamientos es almacenado en la carpeta especificada en *Ubicación de...*, moviéndonos por el árbol de directorios podemos comprobar que por cada emplazamiento se ha generado un fichero **.shp** y un fichero **.dbf** que es la tabla de atributos correspondiente y que contiene los campos: X, Y, **NOMBRE**.

Utilizando cada uno de estos emplazamientos, generamos ahora la cobertura individual de potencia para dichos emplazamientos. Por ejemplo, para el emplazamiento rural_1, elegimos la opción: *Calcular/Cobertura de potencia/Datos cobertura/nueva* de RADIOGIS e introducimos los valores obtenidos de los parámetros implicados en la realización del balance de enlaces que presentamos en el apartado 3.3. del capítulo 3:

Transmisión:

- Potencia isotrópica radiada equivalente PIRE=31dBm,

Recepción:

- Ganancia G_r : 11dB
- Pérdidas L_r : 7dB
- Sensibilidad S_r : -107dBm.

Pérdidas de propagación.

Estación Base:

- Emplazamiento: rural_1
- Altura del mástil: 10m
- Diagrama de radiación: isotrópico

Estación móvil:

- Altura móvil: 2m
- Diagrama de radiación: isotrópico

Parámetros comunes:

- Frecuencia: 395 MHz

Zona de cálculo:

- Rectangular. Todo el MDT rural.

Otros parámetros configurados:

- modelo de propagación: UIT-526
- resolución de 200 metros
- ningún mapa de pérdidas adicionales por uso del suelo

Completados todos los menús, elegimos la opción ‘calcular’ mediante la opción *Calcular/Cobertura de potencia/Calcular* o mediante el botón correspondiente. La cobertura de potencia calculada ha sido almacenada en la carpeta especificada en *Ubicación de...* en RADIOGIS. Entre otra información se ha generado un fichero **.dbf** que almacena todos los datos utilizados para el cálculo de la cobertura, esta tabla de atributos se cargará en nuestra aplicación cuando elijamos este mapa de cobertura y cuyo contenido se mostró en la figura x del capítulo anterior dentro del apartado de la opción de ‘simulación’. Estos mismos parámetros han sido utilizados para generar el resto de mapas de coberturas individuales (rural_2, rural_3, rural_4 y rural_5) asociados al emplazamiento correspondiente.

Para la obtención de los mapas de sistemas de potencia, una vez calculadas las coberturas individuales, calculamos la cobertura de potencia del sistema con el nombre deseado, mediante la opción *Calcular/sistema de potencia/nuevo* y pulsando seguidamente el botón de cálculo de sistema de potencia habilitado.

En nuestro caso, los sistemas de potencia generados han sido:

- rural: utilizando los cinco mapas de cobertura individuales generados previamente.
- sistema1: utilizando las coberturas individuales: rural_3 y rural_4.

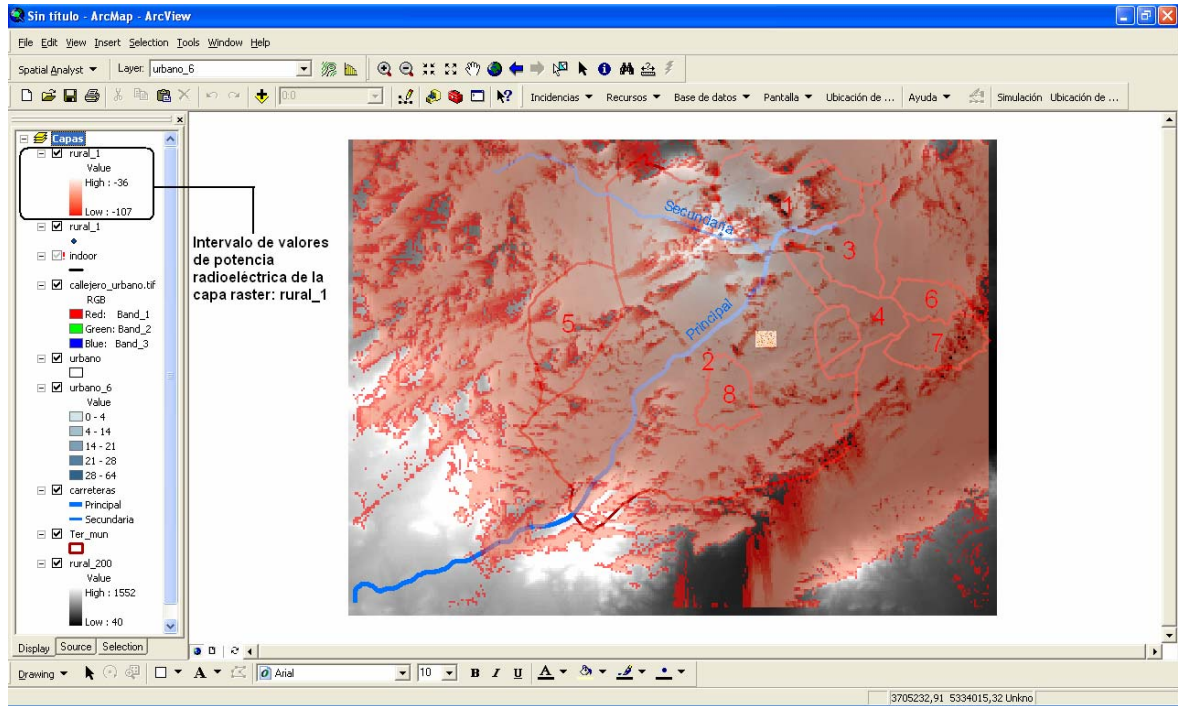


Figura 70. Mapa de cobertura: rural_1

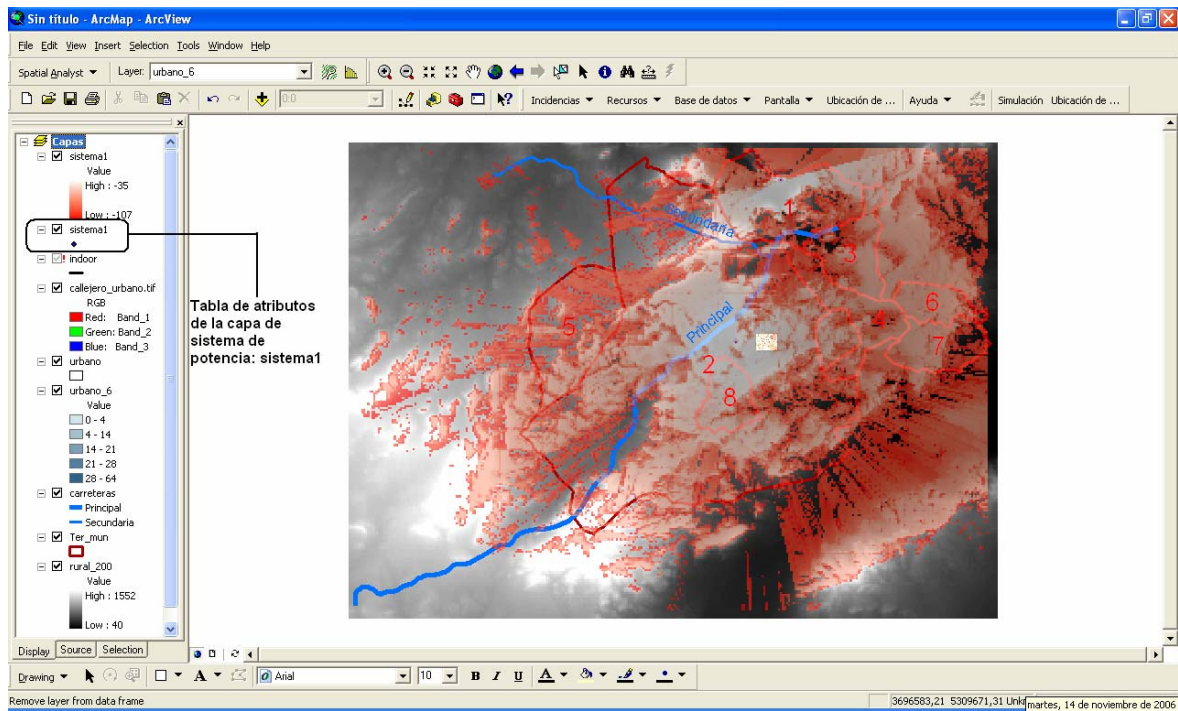


Figura 71. Mapa del sistema de potencias: sistema1

6.2. Simulación con AVLGIS

A continuación mostraremos un ejemplo de simulación para una de las capas de cobertura radioeléctrica que nos proporciona nuestra aplicación desarrollada, AVLGIS.

Para ello, como mencionamos en la explicación del submenú de ‘simulación’ en el capítulo anterior, debemos tener posicionadas en el mapa las incidencias que deseamos monitorizar con nuestra aplicación.

Partimos de que se han definido tres incidencias con sus respectivas zonas de localización, en este ejemplo las zonas de cálculo asignadas han sido: un rectángulo para ‘Inci1’, un círculo para ‘Inci2’ y la capa vectorial perteneciente al municipio 2 para la incidencia ‘Inci3’.

La localización de éstas dentro del mapa es la que se muestra en la siguiente figura.

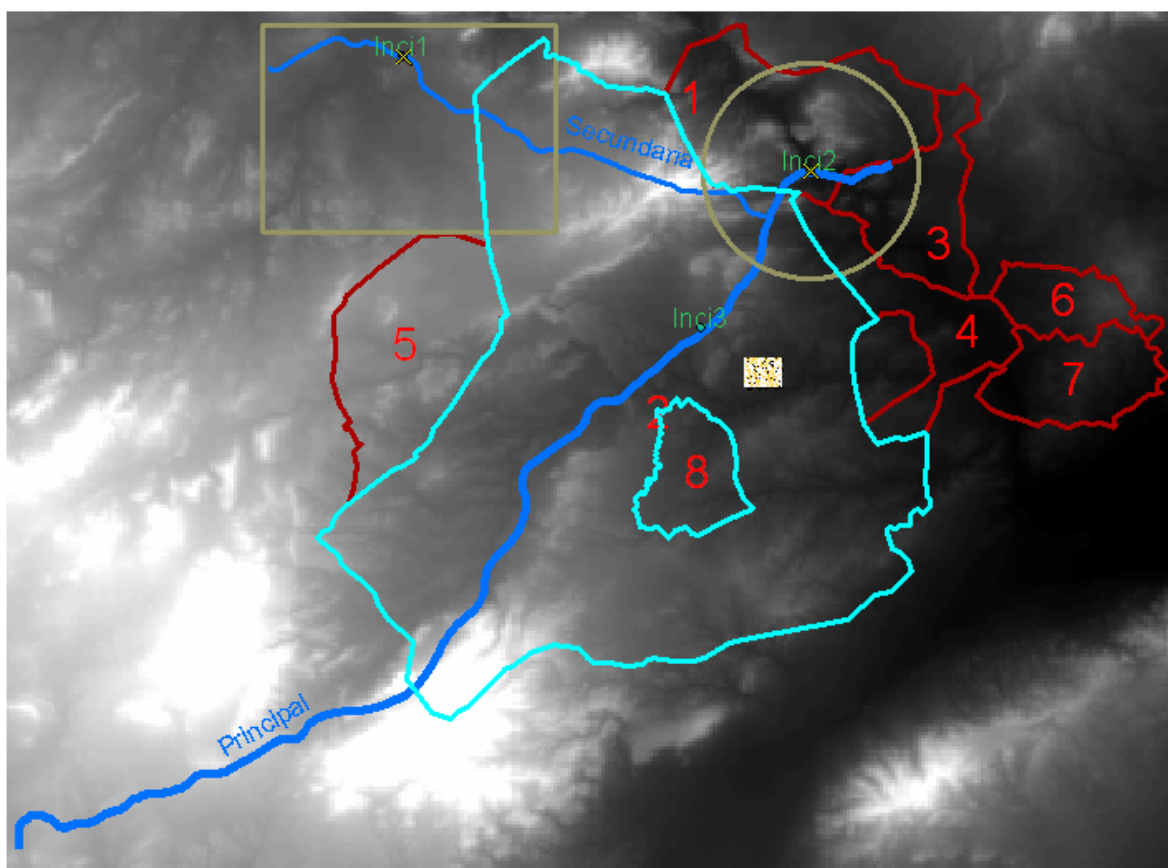


Figura 72. Ejemplo de simulación con AVLGIS

Las ventanas asociadas a cada una de estas incidencias con los contadores de los recursos disponibles inicializados en un primer momento a cero, ya que todavía no se ha adquirido ningún recurso, presentan la forma que muestra la figura siguiente:

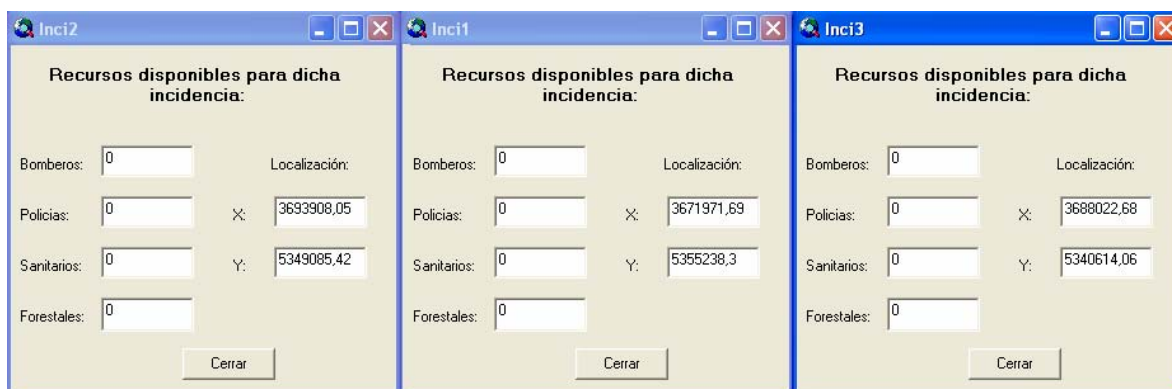


Figura 73. Ventanas de monitorización

Ahora es el momento de comenzar con la simulación, para ello seguimos los pasos descritos en el flujograma el capítulo 5, e importamos así el mapa del sistema de potencia ‘sistema1’, en la siguiente figura representamos dicha capa raster:

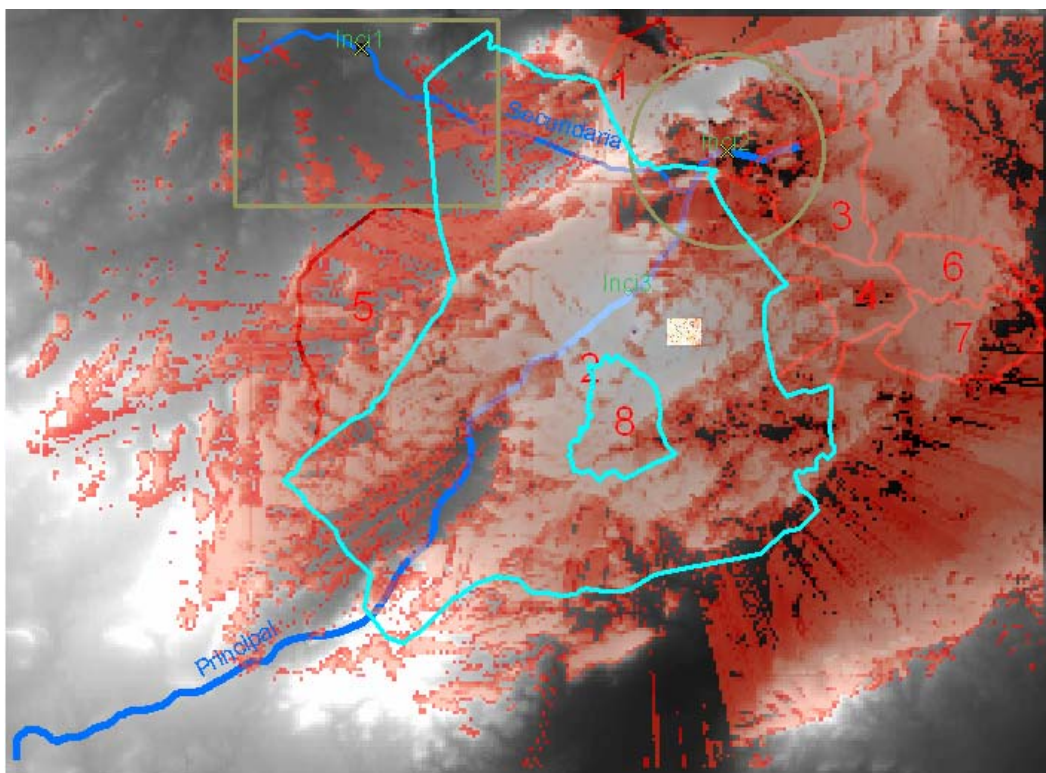


Figura 74. Mapa del sistema de potencia ‘sistema1’

Introducimos el valor del umbral de potencia que deseamos que sea el mínimo que exista en cada uno de los puntos implicados en las rutas a seguir por los recursos que adquiramos durante la simulación, en este ejemplo se asignará un valor de -100 dBm, introducido este valor, elegimos la opción de ‘Adquirir recurso’ y en este caso adquiriremos los siguientes recursos: dos policía (‘g5’ y ‘P1’) y un bombero (‘B1’).

Al recurso ‘g5’ se le ha asociado la ruta perteneciente a la carretera Principal en sentido descendente, a este vehículo no se le ha asignado ningún valor al campo de la matrícula con vista a que no se solapase la representación de ésta en el mapa con la del bombero ‘B1’ al que se le ha asignado la misma ruta, éste, bombero ‘B1’, se representará con un punto circular rojo y la matrícula asignada ha sido ‘12342A’.

Ambos policías se representarán mediante un punto cuadrado de color blanco, el policía ‘P1’ se desplazará por la carretera Secundaria en sentido descendente, y el valor asignado a la matrícula del vehículo ha sido ‘34654R’.

Para una mejor comprensión e identificación posterior de las rutas asignadas a cada uno de estos recursos, mostramos a continuación las representaciones de éstas

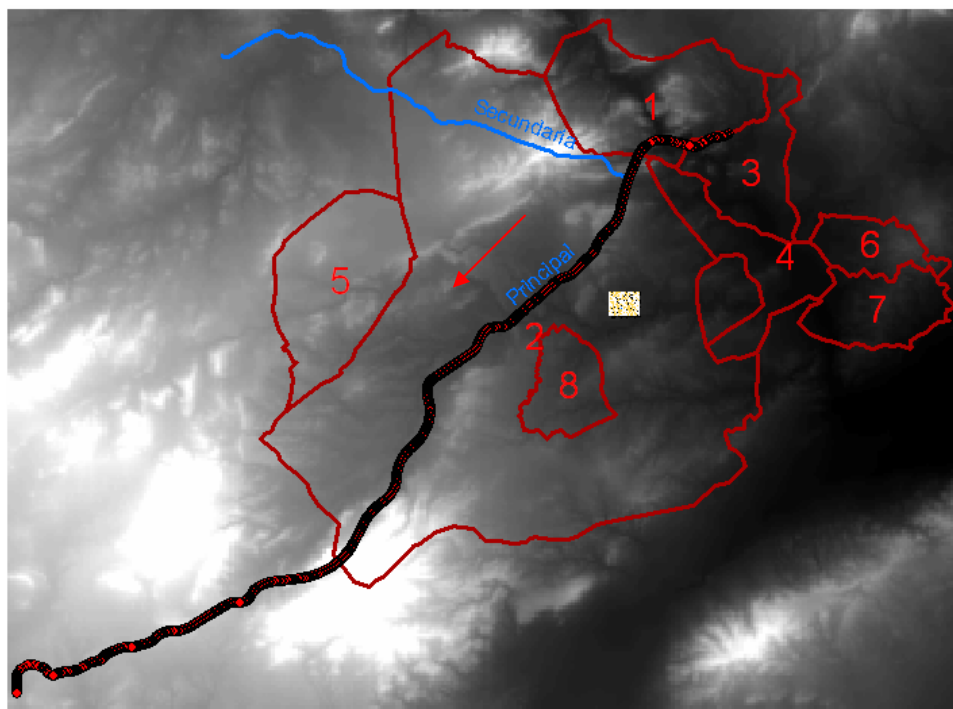


Figura 75. Ruta asignada al Bombero: B1

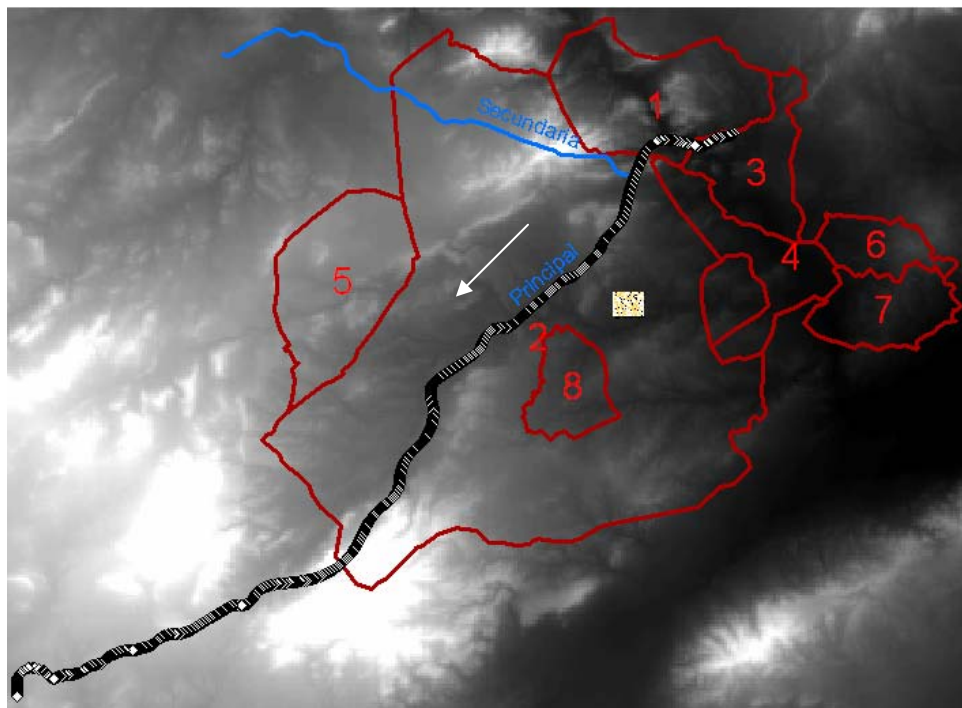


Figura 76. Ruta asignada al policía: g5

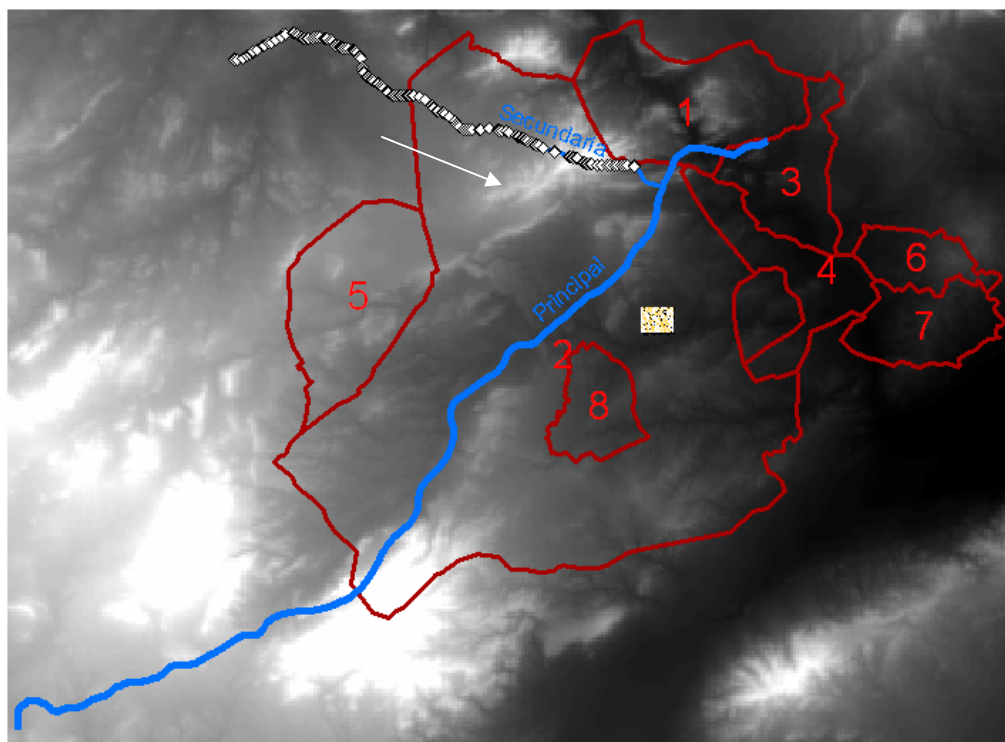


Figura 77. Ruta asignada al policía: g5

Una vez aclarados todos estos aspectos, es el momento para dar paso a la simulación.

Pulsamos en el botón de ‘Adquirir’ de la ventana de ‘Adquirir posiciones’ que vemos en la figura siguiente, y de esta forma se inicia la simulación.

Transcurridos unos escasos segundos, vemos cómo se han modificado los contadores de recursos de las incidencias ‘Inci1’ e ‘Inci2’, y cómo observamos la representación de los recursos ‘B1’ y ‘g5’ sí se visualizan en el mapa para dicho punto, lo que nos indica que en éste la potencia radioeléctrica es igual o superior al umbral introducido de -100 dBm, esto en un caso real sería el equivalente a recibir las coordenadas gps de dicho punto y por tanto la posibilidad de dibujarlas en el mapa.

Para este mismo instante comprobamos sin embargo, que la representación del policía ‘P1’ no se visualiza a pesar de que sabemos que se encuentra dentro del área de monitorización definido para la incidencia ‘Inci1’ ya que el contador de este recurso está puesto a uno, esto nos está indicando que en dicho punto de la carretera Secundaria el valor de la potencia radioeléctrica es inferior a -100 dBm, lo que se traduciría en un caso real en la no recepción de las coordenadas gps de dicho punto y como consecuencia la imposibilidad de localizarlo en el mapa.

En la figura x podemos ver también cómo los contadores de recursos asociados a la incidencia ‘Inci3’ siguen a cero, evidentemente es fácil deducir que transcurridos unos escasos segundos desde que ponemos en marcha a los recursos de los servicios de emergencia, éstos no habrán alcanzado la zona de cálculo definida para esta incidencia.

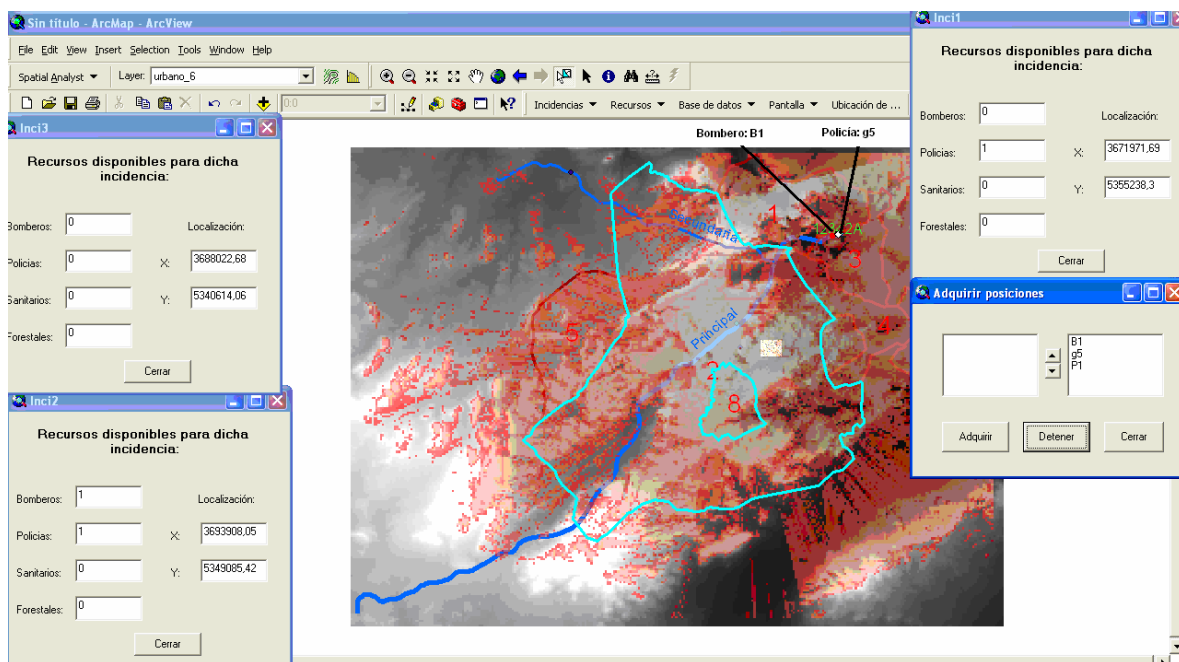


Figura 78. Estado de la simulación transcurridos unos segundos desde la adquisición de datos

Si dejamos transcurrir unos pocos segundos más, observamos en la figura siguiente que aún manteniéndose los mismos valores para los contadores implicados en la simulación, en el mapa no se visualiza la representación de ninguno de estos recursos, esto nos indica que en dicho instante los recursos desplegados se encuentran en un punto del mapa donde la cobertura radioeléctrica no supera el umbral establecido, en un caso real significaría que no recibiríamos las coordenadas gps de dicho punto.

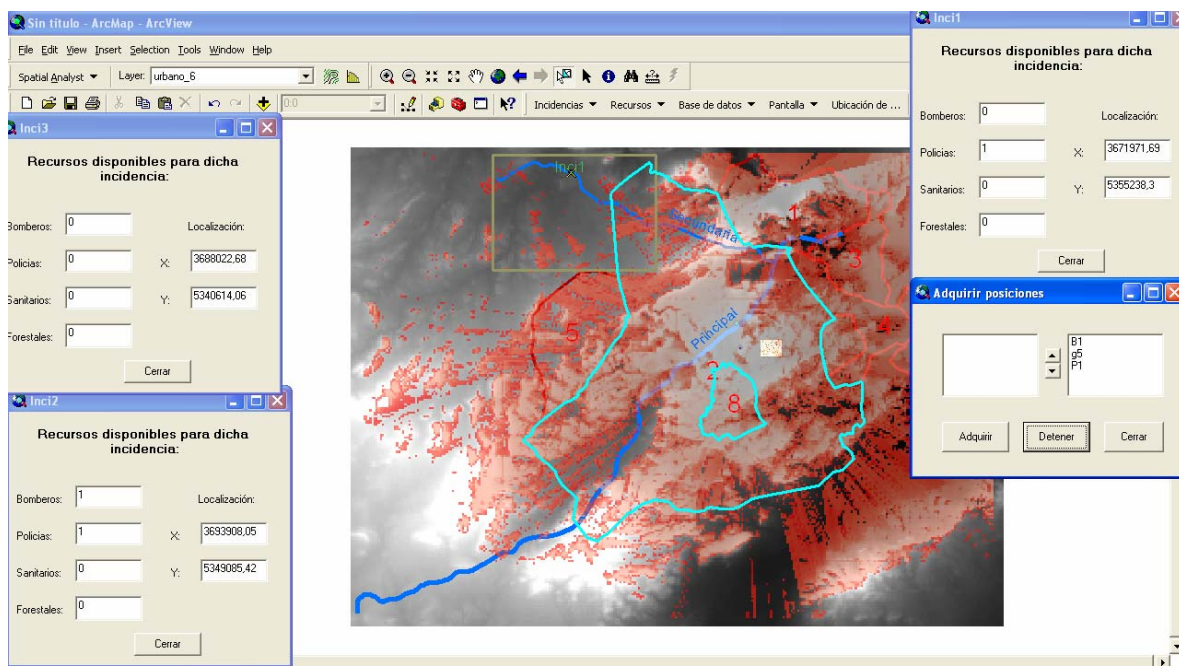


Figura 79. Estado de la simulación transcurridos unos segundos desde la última adquisición

Con este ejemplo de simulación queda claro el funcionamiento de la aplicación desarrollada en este proyecto, así como el significado de dicha aplicación en la vida real.

Podríamos añadir llegados a este nivel de conocimiento a cerca de la aplicación desarrollada y de los objetivos perseguidos, que AVLGIS podría ser un ejemplo de las herramientas de gestión de información geográfica requeridas en los centros de control de los que hablamos en el capítulo 4 correspondiente a la introducción a los sistemas AVL, ya que como indicamos en dicho capítulo, la coordinación entre los distintos cuerpos de seguridad y emergencia no sólo se garantiza con una red de radiocomunicaciones preparada a este efecto, sino que el Centro de Coordinación de emergencias conforma la pieza clave complementaria, y dichos Centros de Coordinación trabajan sobre herramientas cómo la desarrollada en este proyecto.

CAPÍTULO 7.

CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

7.1. Conclusiones

En este capítulo haremos mención de las distintas conclusiones obtenidas tras la realización de este proyecto.

Para evaluar estas conclusiones debemos recordar los objetivos planteados en el capítulo 1 dentro del apartado *1.1. Fundamentos y objetivos del proyecto*, de esta forma podemos decir que como primera conclusión se ha conseguido la introducción en el manejo del Sistema de Información Geográfica ArcGis para la realización de todo el proyecto.

Este punto comprende diversos aspectos como el manejo y representación de información espacial (rasters) y vectorial (capas, *features* y sus tablas de atributos correspondientes) y utilización del lenguaje de desarrollo ArcObjects, también cabe mencionar la utilización del lenguaje Visual Basic para aplicaciones, así como el uso de objetos propios de la aplicación Excel.

Si recordamos el objetivo principal del proyecto, éste era el desarrollar una aplicación *software* AVL basada en el sistema de información geográfica Arcview 9.1 de ESRI, que sirviera para la gestión de bases de datos relacionadas con la localización de vehículos, así la aplicación debía permitir gestionar bases de datos de rutas realizadas por vehículos (de sanitarios, policías, extinción de incendios o forestales) o agrupaciones de varias rutas individuales, llamadas ‘grupos’ (de sanitarios, policías, extinción de incendios o forestales), y analizando la herramienta desarrollada en el presente proyecto, podemos concluir que dicho objetivo ha sido completamente abordado.

Además, se ha conseguido adquirir un nivel de conociendo amplio a cerca de los Sistemas de Localización Automática de Vehículos (AVL), se han abordado las características principales de estos sistemas en cuanto a los equipos necesarios para la implementación de dichos sistemas, se ha hablado de cómo se comporta el tráfico en estos sistemas, y las técnicas requeridas para un uso eficiente de los recursos necesarios, y concretamente nos hemos centrado en el estudios de los sistemas AVL aplicados a los servicios de emergencia.

Por último, el proyecto plantea una red TETRA formada por varias estaciones base radio que ofrecen servicio a una determinada área geográfica, y se ha conseguido simular rutas individuales y de grupo que tienen en cuenta la cobertura radioeléctrica ‘realista’ (obtenida mediante simulaciones a través de otra aplicación de cálculo de cobertura) de la red TETRA.

7.2. Futuras líneas de trabajo

Para que la aplicación AVL desarrollada pueda ser utilizada es necesario disponer de Arcview. De hecho, la aplicación AVLGIS se integra en ArcView como una barra de herramientas más. Una futura línea de trabajo es conseguir crear una aplicación que funcione independientemente de ArcView. Esto sería posible realizando los cambios necesarios en los programas implementados utilizando el Kit de desarrollo de ESRI ArcGis Engine.

En este proyecto, se han introducido algunas funcionalidades como localizar una incidencia y conocer el número de bomberos, policías o sanitarios que están interviniendo en esa incidencia. Otra línea de trabajo, sería ampliar las funcionalidades de AVLGIS, adaptándolas a las necesidades particulares de los servicios de urgencias y emergencias.

Por otra parte, aunque a la hora de definir los formularios de los recursos y de las incidencias en este proyecto, se ha intentado tener en cuenta las especificaciones comúnmente utilizadas para este tipo de sistemas AVL, deberían ser adaptados en un futuro a la operativa real de un centro de coordinación de emergencias.

CAPÍTULO 8.

REFERENCIAS

-
- [1] *Exploring ArcObjects, Vol. 1 y Vol. 2*, ESRI
- [2] *Modeling Our World. The ESRI Guide to Geodatabase Design*, ESRI
- [3] *Microsoft Visual Basic 6.0. Manual del programador*, Mc Graw Hill
- [4] ESRI Support Center: <http://www.support.esri.com>
- [5] RADIOGIS: herramienta de gestión y de cálculo de cobertura radioeléctrica basada en sistemas de información geográfica.
- [6] Curso de verano (2006): “*Las telecomunicaciones y los servicios de emergencia*” impartido en la Universidad Politécnica de Cartagena.
- [7] Manual/Curso sobre “Análisis espacial ARCVIEW”, “Proyecto regional: Ordenamiento territorial rural sostenible”.
- [8] “AHCINET” (Asociación Hispanoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones); *Revista de Telecomunicaciones*: Año XXIII – N.º 101 Enero/Marzo 2005; John Chambers, Presidente y CEO de Cisco Systems.
- [9] Documentos Técnicos: “ArcPAD” y “ArcPAD Application Builder”; Official Esri distributor.