

Capítulo 2

Cartografía Digital. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica

2.1. Cartografía Digital

Tradicionalmente la cartografía se ha representado sobre papel utilizando para su estudio todo el conjunto de técnicas introducidos en el tema anterior por no existir otro medio mejor. Esta cartografía, aunque muy adecuada para determinados usos por su facilidad de transporte y manejo, presenta ciertos inconvenientes:

- Los datos originales se simplifican para hacer el mapa legible (generalización), de este modo muchos detalles locales se pierden;
- Las áreas grandes quedan divididas entre varias hojas que, si han sido realizadas por diferentes autores presentarán información diferente en sus bordes.
- Resulta complejo e inexacto combinar información de diferentes mapas, especialmente si están a diferente escala;
- Se trata de documentos estáticos, ya que por su elevado coste tardan muchos años en ser actualizados, y fundamentalmente cualitativos ya que resulta difícil representar medidas cuantitativas salvo que se utilicen isoclinas lo que implica una discretización importante de los valores;
- Disparidad de criterios entre hojas y entre ediciones.

A partir de mediados del siglo XX se producen un conjunto de fenómenos que llevan al desarrollo de la cartografía digital:

- Se incrementan tanto la demanda como la disponibilidad de datos espaciales y de técnicas para su análisis.

- La necesidad de controlar los cambios acelerados que sufre la superficie terrestre debido a procesos de naturaleza dinámica convierten a los mapas en papel en herramientas completamente inadecuadas debido a su naturaleza estática.
- El trabajo en diversas líneas de investigación básica y aplicada en ciencias de la Tierra y medioambientales suele requerir la combinación de varios mapas representando diferentes propiedades para una misma zona y en diferentes períodos de tiempo, así como la incorporación de bases de datos temáticas¹.
- El conjunto de desarrollos tecnológicos globalmente denominados *tecnologías de la información* han permitido manejar grandes volúmenes de datos espaciales a muy bajo coste.
 - Desarrollo de herramientas de digitalización y automatización de la cartografía.
 - Desarrollo de programas y herramientas destinados a la integración y análisis de la misma, especialmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG).
 - Disponibilidad de información espacial a intervalos regulares de tiempo (imágenes de satélite).
 - Reducción del coste del *hardware* (ley de Moore²) con lo que los SIG y la teledetección dejan de ser privativos de grandes centros de investigación o la administración.
 - Aparición de CDs y desarrollo de internet con lo que desaparecen los costes de almacenamiento y distribución de información digital.

Las diferencias fundamentales entre cartografía en papel y cartografía digital son:

- Mientras que la Cartografía en papel tiene un carácter estático, la Cartografía Digital es dinámica en el sentido de que es mucho más sencillo, tanto desde el punto de vista tecnológico como económico, su actualización.
- La información debe estar perfectamente estructurada y sin ambigüedades para que los programas la puedan interpretar. Los ordenadores no pueden deducir la información eliminada o modificada por los procesos de generalización que puedan haberse utilizado. Un ejemplo habitual son las curvas de nivel cortadas para introducir una etiqueta de texto.
- Se introduce el concepto de **capa** como fichero, o parte de un fichero, que contiene información espacial de una sola variable (en algunos casos un fichero puede almacenar varias capas). Se reserva el término **mapa** para una combinación de capas preparadas para su visualización o impresión. No debe mezclarse información de diferentes tipos en una misma capa.

Tres tipos de programas se han utilizado tradicionalmente para el manejo de datos espaciales:

¹Cuando se trabaja con SIG se suele hacer la distinción entre base de datos espacial y temática. La primera hace referencia al conjunto de mapas en formato digital (un mapa de términos municipales por ejemplo) y la segunda a las tablas que aportan variables no espaciales asociadas a las diferentes entidades representadas en la base de datos espacial (una tabla con información a nivel municipal).

²La capacidad de almacenamiento de los componentes de un ordenador se dobla cada 18 meses manteniéndose el precio aproximadamente constante.

- Programas de CAD (Diseño Asistido por Ordenador). Permiten dibujar puntos, líneas y áreas en pantalla a partir de un sistema de coordenadas definido por el usuario. Se han utilizado sobre todo en arquitectura, ingeniería y diseño. Podían emplearse también, aunque de forma limitada, para hacer mapas.
- Programas de cartografía automática. Programas para crear mapas en impresoras de texto utilizando diferentes caracteres para simbolizar diferentes entidades o valores de variables.
- Programas para teledetección. Permitían generar mapas como nuevas imágenes obtenidas a partir de las imágenes originales captadas por el satélite. Hasta principios de la década de los noventa requerían hardware específico por la escasa potencia de los ordenadores personales.

Todos estos programas, junto con otros como los programas de gestión de bases de datos o las aplicaciones estadísticas, empiezan a converger a principios de los setenta hacia un nuevo tipo de aplicación informática, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) orientados a la codificación, gestión y cartografía de variables y entidades espaciales (figura ??).

Los SIG se han desarrollado por tanto a partir de la confluencia de conceptos, ideas, métodos de trabajo, terminología e incluso prejuicios aportados por profesionales procedentes de diferentes campos. La interacción de estos profesionales ha supuesto que el desarrollo no haya seguido siempre la misma dirección y que aparezcan incluso perspectivas bastante diferentes de lo que es un SIG. Por ejemplo, pensando en la importancia que se otorga al tiempo aparecerían en un extremo los cartógrafos y en el otro los ecólogos. Para los primeros el tiempo no tiene importancia³ mientras que los segundos estudian procesos que ocurren en el espacio pero a una velocidad relativamente alta.

2.2. ¿Que es un SIG?

2.2.1. Sistemas de Información y Sistemas de Información Geográfica

En general, un *Sistema de Información* (SI) consiste en la unión de información en formato digital y herramientas informáticas (programas) para su análisis con unos objetivos concretos dentro de una organización (empresa, administración, etc.). Un SIG es un caso particular de SI en el que la información aparece *georreferenciada* es decir incluye su posición en el espacio utilizando un sistema de coordenadas estandarizado resultado de una proyección cartográfica (generalmente UTM).

Cuando se habla de Sistemas de Información, suele pensarse en grandes sistemas informáticos que prestan apoyo a empresas u organismos de cierta envergadura. Este apoyo implica:

- El **almacenamiento** de la información relativa al capital de la empresa y a todas las transacciones,
- Permitir la **consulta** de datos particulares con cierta facilidad y desde diferentes puntos,
- **Analizar** estos datos para obtener un mejor conocimiento de las vicisitudes que atraviesa la empresa,

³De otro modo no se invertirían millones de euros en hacer mapas de usos del suelo que quedan rápidamente obsoletos.

- Ayudar en la **toma de decisiones** importantes.

En el caso del Sistema de Información de una compañía aérea, el sistema de reserva y venta de billetes debe actualizarse constantemente para permitir la consulta al mismo desde cualquier punto de venta. Toda esta información debe quedar almacenada para analizar la marcha de la compañía, cuantificar el impacto de determinados acontecimientos⁴ y apoyar decisiones como la compra de nuevos aparatos o la cancelación de vuelos.

Si pensamos en el SIG de una región, este contendrá información ambiental y socioeconómica de manera que podamos consultar las características de un determinado espacio o cuales son las áreas que cumplen con el conjunto de criterios recomendables para, por ejemplo, instalar un parque eólico. De este modo un SIG se convierte en una herramienta fundamental para llevar a cabo estudios de *Ordenación del Territorio* o *Evaluación de Impacto Ambiental*. Más adelante se expondrán algunos ejemplos de consultas, análisis y tomas de decisión basados en SIG.

Podríamos considerar, en sentido amplio que un SIG está constituido por:

Bases de datos espaciales en las que la realidad se codifica mediante unos modelos de datos específicos.

Bases de datos temáticas cuya vinculación con la base de datos cartográfica permite asignar a cada punto, línea o área del territorio unos valores temáticos.

Conjunto de programas que permiten manejar estas bases de datos de forma útil para diversos propósitos de investigación, docencia o gestión.

Conjunto de ordenadores y periféricos de entrada y salida que constituyen el soporte físico del SIG. Estas incluyen tanto el programa de gestión de SIG como otros programas de apoyo. Debido a los requerimientos de velocidad, almacenamiento y memoria RAM de un SIG, generalmente es preferible destinar un ordenador en exclusiva a la implementación del SIG, bien sea actuando como servidor⁵ o como ordenador personal.

Comunidad de usuarios que pueda demandar información espacial.

Administradores del sistema encargados de resolver los requerimientos de los usuarios bien utilizando las herramientas disponibles o bien produciendo nuevas herramientas.

2.2.2. Bases de datos

Desde el punto de vista de los datos, un SIG se basa en una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables (figura ??), o bien capas que representan entidades (figura ??) a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Estas capas corresponden, al menos en parte,

⁴Por ejemplo los atentados del 11 de Septiembre de 2001 o el maremoto en el Océano Indico en 2004.

⁵Se denomina servidor a un ordenador de gran potencia en el que diversos usuarios pueden trabajar de forma simultánea conectados desde varios ordenadores menos potentes denominados *terminales*.

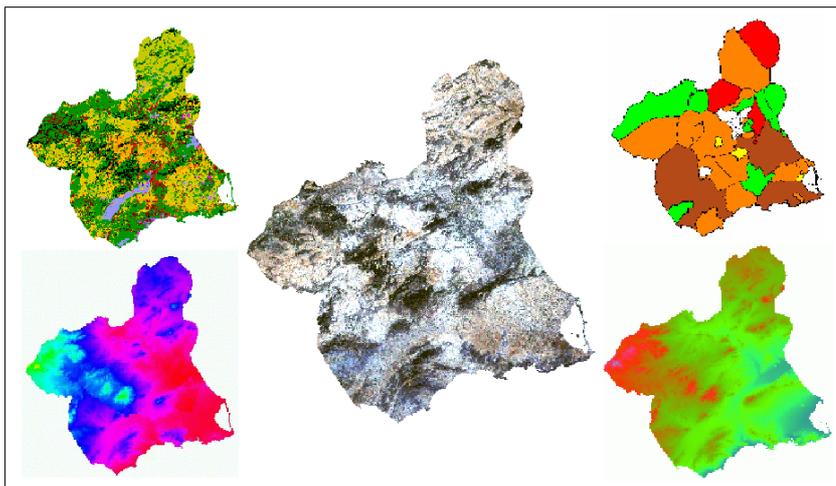


Figura 2.1: Superposición de capas de información representando superficies y entidades

a la misma zona, de manera que pueden analizarse en conjunto. De este modo puede combinarse, en un mismo sistema, información espacial y temática, con orígenes y formatos muy diversos.

De las diversas disciplinas que convergen en los SIG, la cartografía es una de las que tiene una contribución más relevante. Los SIG representan así una visión “cartográfica” del mundo apoyada en un espacio absoluto dotado de un sistema cartesiano de coordenadas obtenido a partir de un sistema de proyección. La fortaleza que supone el apoyo de la enorme tradición cartográfica implica también inconvenientes como el carácter estático y plano de los mapas y la incapacidad para reflejar el nivel de incertidumbre asociado a estos datos o la necesidad de unificar sistemas de proyección si los de las capas de información original son diferentes.

2.2.3. Programas

Desde el **punto de vista de los programas**, los Sistemas de Información Geográfica se han desarrollado a partir de la unión de diversos tipos de aplicaciones informáticas: la cartografía automática tradicional, los sistemas de gestión de bases de datos, las herramientas de análisis digital de imágenes, los sistemas de ayuda a la toma de decisiones y las técnicas de modelización física (figura ??).

Por ello tienden a veces a ser considerados un producto de las facultades de informática para ser usados por informáticos, sin embargo la fuerte carga teórica de los SIG exige al usuario conocimientos adecuados acerca de la *ciencia espacial* con la que está trabajando para escoger, en cada caso, las herramientas adecuadas a cada análisis en particular. Las particularidades del manejo de datos espaciales, en buena parte comunes a todas las ciencias de la Tierra y ambientales, ha fomentado el uso del término *Ciencia de la Información Geográfica*. Por otro lado, para un experto en estas materias (ciencias de la tierra y ambientales) que desee introducirse en el manejo de los SIG, resulta imprescindible, lógicamente, una formación informática sólida.

Estas herramientas (programas) son muy variados hasta el punto de partir de distintas concepciones acerca de como entender y representar el espacio y los fenómenos en el ubicados. Estas diferencias reflejan diferentes tipos de teorías acerca del espacio procedentes de disciplinas científicas diversas; por tanto utilizar una determinada herramienta SIG para resolver un problema implica la aceptación, al menos implícita, de una teoría, una hipótesis, acerca de los datos que se manejan. Por ejemplo un mapa del pH del suelo puede hacerse de dos maneras:

- asignando a cada polígono que representa un tipo de suelo un valor de pH medio de dicho suelo
- interpolando un conjunto de medidas de pH obtenidas en diferentes puntos

y cada una de ellas asume hipótesis completamente diferentes acerca de la variabilidad espacial de las propiedades edáficas.

Este problema está en el centro de los debates acerca de si los SIG deben considerarse tan sólo como una herramienta neutra o como una disciplina científica, debates con consecuencias profundas en el modo en que la docencia y práctica de los SIG debe plantearse en las universidades.

El desarrollo de los SIG no ha supuesto en realidad un cambio real en los modos de analizar la información. Gran parte de los algoritmos utilizados se conocían desde antes de la aparición de los ordenadores y simplemente era inviable hacer los cálculos a mano. De hecho el progresivo aumento en la potencia de los ordenadores hace que cada cierto tiempo se incorporen nuevas técnicas ya conocidas pero más exigentes en cuanto a potencia del ordenador que las disponibles hasta el momento.

Pero hay que tener en cuenta que la utilización de grandes ordenadores y herramientas sofisticadas no garantiza tampoco la calidad de los resultados. Sólo con buenos datos de partida, un modelo de datos adecuado a los mismos y técnicas de análisis también adecuadas podrán obtenerse buenos resultados.

Uno de los errores más comunes cuando alguien se inicia en el uso de los SIG es confundir el manejo de un programa con el dominio de una técnica. Igual que no es lo mismo saber estadística que saber pulsar los botones de funciones estadísticas de una calculadora, tampoco es lo mismo conocer las técnicas SIG que saber manejar un determinado programa y obtener salidas gráficas más o menos estéticas. De hecho, aunque una de las primeras percepciones que se tienen de un SIG son las salidas gráficas a todo color, impresas o en la pantalla de un ordenador; conviene recordar que hay una diferencia fundamental entre los programas de manejo de gráficos y los SIG. En los primeros, lo fundamental es la imagen que vemos, siendo irrelevante como se codifique, en un SIG la imagen es sólo una salida gráfica sin mayor importancia, lo relevante son los datos que se están representando y el análisis de los mismos.

Aunque en sentido estricto no sería necesario, se han desarrollado un tipo específico de aplicaciones informáticas para el manejo de un SIG. Estos programas es lo que popularmente se conoce como SIG (IDRISI, ArcInfo, GRASS, Erdas, etc.), pero que realmente constituyen tan sólo un componente de lo que es realmente un Sistema de Información Geográfica.

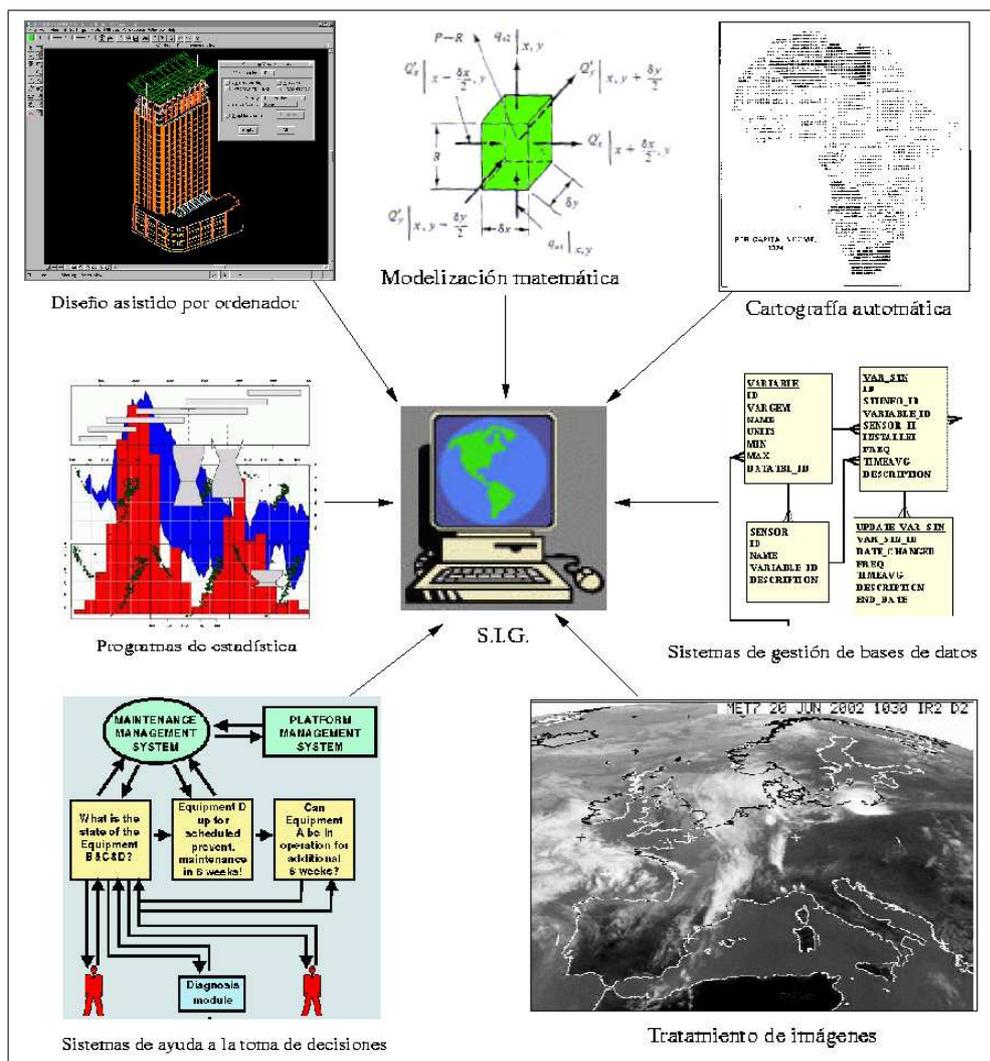


Figura 2.2: En los SIG convergen diversas líneas de trabajo

2.2.4. Usuarios

Los SI, o en concreto los SIG, de la envergadura de los aquí planteados están al servicio de una estructura organizativa, tienen una gran número de usuarios con diferentes niveles de acceso, administradores del sistema y personal responsable de tomar decisiones en función de los informes aportados por el Sistema. Por tanto, salvo casos triviales como el de un SIG personal desarrollado para hacer un trabajo personal, los aspectos administrativos se convierten, junto a las bases de datos y las herramientas informáticas para su análisis, en el tercer pilar de un SIG.

Debido a la complejidad y a la utilidad de este tipo de sistemas resulta importante distinguir entre tres formas de interacción con el SIG:

- **Usuarios**, su misión es obtener información del SIG y tomar decisiones en función de la misma. Suelen necesitar una interfaz de usuario sencilla para enmascarar la complejidad del sistema debido a la falta de conocimientos informáticos.
- **Técnicos en SIG**, encargados de seleccionar las herramientas, los datos, la escala adecuada de representación para los fines propuestos para el Sistema, y los procedimientos para su introducción en el SIG. Suele ser preferible que tengan formación y experiencia en el campo de las ciencias de la Tierra y Medioambientales, especialmente en el campo más relacionado con los objetivos que se quieren cubrir con el SIG.
- **Informáticos**, en sistemas de cierta importancia, son los encargados de su administración. Esto incluye modificar o incluso crear desde cero las herramientas que contiene el SIG para adaptarlas a los requerimientos de los usuarios cuando estos no puedan ser llevados a cabo por los técnicos en SIG a partir de las herramientas disponibles en el sistema

Esta división puede difuminarse de forma considerable en los diferentes casos reales.

Debido a la imparable implantación de los SIG como herramienta de análisis y gestión de datos espaciales el número de usuarios de SIG (no siempre voluntarios) crece enormemente. Por otro lado la necesidad de basar ciertas decisiones políticas en los resultados de un SIG ha llevado a algunos gestores a interesarse por estos programas.

Estos nuevos usuarios, con bastante menos conocimientos informáticos que los usuarios tradicionales, no tienen necesidad de un programa altamente sofisticado sino que simplemente necesitan visualizar y consultar comodamente información espacial. Para cubrir esta necesidad han aparecido programas sencillos (ArcView, Idrisi) pero menos potentes que los SIG tradicionales (ArcInfo, GRASS). A raíz de estos hechos, se ha abierto cierta polémica entorno a la aparente contradicción entre programas de gran potencia y flexibilidad pero difícil manejo y programas sencillos pero menos potentes. Quizás la solución habría que buscarla en el mundo de las bases de datos. Una base de datos potente (Oracle, Postgresql, SQL server) distingue entre:

- La **base de datos** en sí, como conjunto de ficheros que almacenan la información;

- El programa **servidor de bases de datos** que recibe las consultas de los usuarios y accede a la base de datos;
- Los programas **clientes de bases de datos** son programas sencillos que permiten al usuario escribir consultas, las lanzan al servidor, reciben la respuesta de este y presentan los resultados al usuario.

Los usuarios acceden a la base de datos a través de programas clientes, estos se comunican con el programa servidor que analiza sus consultas y suministra sus resultados. Los programas clientes pueden ser más o menos complejos en función de las necesidades del usuario, puede tratarse de un simple visualizador de tablas o de un cliente con capacidad para hacer consultas y modificaciones complejas a la base de datos.

2.3. Utilización de un Sistema de Información Geográfica

Las funciones básicas, y más habitualmente utilizadas, de un SIG son el almacenamiento, visualización, consulta y análisis de datos espaciales. Un uso algo más avanzado sería la utilización de un SIG para la toma de decisiones en ordenación territorial o para la modelización de procesos ambientales.

2.3.1. Almacenamiento

El primer problema que se plantea al trabajar con un SIG es el como codificar y almacenar los diferentes fenómenos que aparecen en la superficie terrestre. El primer paso para conseguirlo es desarrollar modelos de datos adecuados. Es decir, el almacenamiento de datos espaciales implica modelizar⁶ la realidad y codificar de forma cuantitativa este modelo. Los temas 3, 4 y 8 tratarán con cierta profundidad los diversos aspectos de la modelización y el almacenamiento de datos espaciales

2.3.2. Visualización

La diferencia básica entre un Sistema de Información en sentido amplio y un SIG es que este último maneja datos espaciales. Estos se presentan en un espacio de cuatro dimensiones (3 espaciales y el tiempo) pero debido al peso que la tradición cartográfica tiene sobre los SIG, una de las formas prioritarias de presentación de los datos es en su proyección sobre el espacio bidimensional definido mediante coordenadas cartesianas.

Hoy en día están apareciendo un gran número de programas sencillos que se centran en la visualización y consulta de datos espaciales, lo que se conoce como *desktop mapping*, que es un complemento a los SIG más que SIG en si mismo. Sin embargo gran parte de la popularización de los SIG se debe a este tipo de aplicaciones ya que han permitido introducir la dimensión espacial de la información de forma sencilla en entornos de trabajo en los que no existía una tradición a este respecto (empresas por ejemplo).

⁶Extraer los elementos esenciales obviando aquellos no necesarios para los objetivos perseguidos

2.3.3. Consultas

Un paso adelante sería la obtención de respuestas a una serie de *consultas* sobre los datos y su distribución en el espacio. Una consulta a una base de datos implica:

- Seleccionar el subconjunto de datos que el usuario necesita en función de un conjunto de criterios previamente definidos. Por ejemplo todos los municipios con una población mayor de 30000 habitantes.
- Presentarlo al usuario de forma útil bien sea tablas (con listados de los municipios ordenados según diversos criterios), gráficos o mapas en los que los municipios de más de 30000 habitantes aparezcan de un determinado color. Las tablas dan una información más exacta, pero los mapas presentan sobre las tablas la ventaja de que aportan información espacial.

En un Sistema de Información convencional o en una base de datos, las consulta se basan en propiedades temáticas. En un SIG las consultas se basan tanto en atributos temáticos como en propiedades espaciales, estas pueden definirse mediante un par de coordenadas o pinchando directamente sobre un mapa.

El lenguaje de consulta más utilizado en programas de gestión de bases de datos es SQL (Lenguaje Estructurado de Consultas). Sus resultados son tablas, sin embargo estas tablas pueden combinarse con capas de información espacial preexistentes para obtener, como presentación, una nueva capa. En el tema 9 se hablará de la integración de SIG con bases de datos.

Los tipos básicos de consulta a un SIG serían:

- ¿Que objeto aparece en el punto de coordenadas X e Y.
- ¿Cuales son los valores de las variables V_1, V_2, \dots en dicho punto?
- ¿Que puntos cumplen una determinada condición? Por ejemplo tener una pendiente inferior al 5 % y no estar cultivados
- ¿Que entidades cumplen una determinada condición? Por ejemplo cuantos embalses de la Cuenca del Segura superan el 50 % de su capacidad.
- ¿Que relación hay entre los objetos A y B? Por ejemplo, ¿Está Sucina dentro del municipio de Murcia o de Cartagena?
- ¿Cual es la distancia entre dos puntos?
- ¿Cual es la conexión entre dos puntos? Por ejemplo, ¿Cual es la mejor ruta entre murcia y La Azohía?

2.3.4. Análisis

Más sofisticado sería el uso de herramientas de *análisis espacial* y *álgebra de mapas* para el desarrollo y verificación de hipótesis acerca de la distribución espacial de las variables y objetos. Los temas 5, 6 y 8 se centrarán en estos aspectos.

- ¿Disminuye la temperatura con la altitud?
- Los individuos de una determinada especie vegetal, ¿tienden a agruparse o permanecen aislados?
- ¿Cual es el tamaño mínimo de un área de bosque para mantener una población viable de lince ibérico?

En algunos casos (los dos primeros ejemplos) resulta necesaria la utilización de programas de análisis estadístico externos a los programas de SIG, debe buscarse entonces la mayor integración posible entre ambos tipos de programas en cuanto a tipos de datos manejados y compatibilidad de formatos de ficheros. En otros casos se tratará de implementar modelos ya formulados apoyados en el conocimiento de expertos bien en comunicación directa o bien a través de una búsqueda bibliográfica (es el caso del tercer ejemplo).

A partir de los resultados de este tipo de análisis podemos, en algunos casos, generar nuevas capas de información. Por ejemplo, una vez determinada la relación entre temperatura y altitud, puede generarse una capa de temperaturas a partir de una capa de elevaciones mediante técnicas de *modelización cartográfica*.

2.3.5. Toma de decisiones

Un punto más allá de sofisticación sería la utilización de un SIG para resolver problemas de *toma de decisión* en planificación física, ordenación territorial, estudios de impacto ambiental, etc. mediante el uso de instrucciones complejas del análisis espacial y álgebra de mapas. En definitiva se trataría de resolver preguntas del tipo:

- ¿Que actividad es la más adecuada para un area concreta? Por ejemplo cual es el uso del suelo más adecuado para una parcela concreta teniendo en cuenta una serie de criterios basados en variables espaciales de las que se cuenta con capas de información.
- ¿Cual es el mejor lugar para la instalación de determinada actividad deseada (un centro de ocio) o indeseada (un vertedero)?
- ¿Cual es la forma y tamaño adecuados de los espacios naturales para cumplir con sus funciones (por ejemplo la conservación de biodiversidad)?
- ¿Cual es la ubicación óptima de una red de torres de vigilancia forestal?

2.3.6. Modelización

Finalmente, las aplicaciones más elaboradas de los SIG son aquellas relacionadas con la integración de *modelos matemáticos* de procesos naturales, dinámicos y espacialmente distribuidos. Los objetivos perseguidos pueden ser tanto científico como de planificación y ordenación. Por ejemplo:

- ¿Que áreas pueden inundarse en caso de producirse un episodio lluvioso dado?
- ¿Que consecuencias ambientales puede tener un embalse aguas abajo de su ubicación?
- ¿Cómo podría mejorarse la eficiencia en el uso del agua?
- ¿Cual va a ser el impacto sobre el medio de dicha actividad?

En estos casos los SIG deben integrarse con un modelo dinámico, esta integración puede llevarse a cabo de varios modos:

- El SIG se utiliza sólo para crear las capas de entrada al modelo y visualizar las de salida. El modelo se implementa en un programa aparte que importa y exporta los formatos de fichero del SIG. Ambos programas son totalmente independientes. Un ejemplo de funcionamiento similar sería el caso de una hoja de cálculo cuyo contenido se grabara en formato de texto (*.txt) y este fichero se leyera con un procesador de textos para su incorporación en un documento;
- Ambos programas se integran más estrechamente compartiendo el mismo formato de ficheros y pudiendo ejecutarse al mismo tiempo. Por ejemplo los diferentes programas de una *suite* ofimática.
- El modelo se incorpora como un módulo del SIG. Sería el caso de un procesador de textos que incorporara una pequeña aplicación de hoja de cálculo para incorporar, y trabajar con, tablas en el documento.

2.4. Aplicaciones de los SIG

Un Sistema de Información Geográfica es una herramienta que permite la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos. Por tanto cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con SIG. Entre las aplicaciones más usuales destacan:

- Científicas
 - Especialmente en ciencias medioambientales (en sentido amplio) y relacionadas con el espacio.
 - Desarrollo de modelos empíricos, por ejemplo los que relacionan temperatura con altitud, orientación, etc. a partir de medidas tomadas en el lugar.
 - Modelización cartográfica (aplicación de modelos empíricos para hacer mapas de temperatura a partir de mapas de altitud, orientación, etc.)

- Modelos dinámicos (utilización de las leyes de la termodinámica y la dinámica de fluidos para hacer un mapa de temperatura utilizando un mapa de elevaciones, entre otros, como *condiciones de contorno*).
 - Teledetección, las imágenes de satélite son estructuras raster que se manejan de forma óptima en un SIG
- Gestión
 - Cartografía automática
 - Información pública, catastro
 - Planificación de espacios protegidos
 - Ordenación territorial
 - Planificación urbana
 - Estudios de impacto ambiental
 - Evaluación de recursos
 - Seguimiento de las consecuencias de determinadas actuaciones (presas, diques, carreteras)
 - Empresarial
 - Marketing (envío de propaganda a los residentes cerca del local que cumplan determinadas condiciones)
 - Estrategias de distribución (optimización de las rutas que una flota de camiones debe realizar para distribuir mercancía desde varios almacenes a varios clientes)
 - Localización óptima de una sucursal en función de los clientes potenciales situados alrededor

2.5. Infraestructuras de Datos Espaciales

A pesar de la demostrada utilidad de los SIG, no resulta fácil ponerlos en marcha, siendo uno de los principales problemas el elevado coste de adquisición y mantenimiento de la información espacial. Las dificultades en el acceso a esta conlleva varios problemas:

- Duplicación de esfuerzos
- Duplicación de bases de datos, no siempre coherentes
- Diseminación de copias más o menos legales de los datos pero muchas veces sin la necesaria metainformación

Varias organizaciones han impulsado la creación de **Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE)** para facilitar la explotación y el intercambio de datos espaciales. Estas infraestructuras definen una serie de normas y estándares que los productores de datos espaciales (generalmente organismos públicos) deben seguir.

La Comisión Europea publicó en 1999 un informe acerca de la necesidad de crear formatos y servicios de metadatos para facilitar el intercambio, búsqueda y recuperación de los mismos.

Posteriormente la Comisión promovió la iniciativa INSPIRE (Infraestructura para la Información Espacial en Europa) en colaboración con los estados miembros. Se trata de incentivar la creación de una IDE europea que proporcione a los usuarios la posibilidad de identificar y acceder a la información espacial en base a los siguientes principios:

- Los datos básicos deben recogerse una vez y debe mantenerlos el centro que lo pueda hacer de forma más eficaz
- Debería ser posible combinar fácilmente información espacial de distintas fuentes europeas
- La información recogida a un nivel debe ser compartida entre distintos niveles
- La información espacial debería ser abundante y estar disponible de forma que no se frene su uso masivo
- Debería ser fácil descubrir que información geográfica está disponible
- Los datos geográficos deberían ser fáciles de entender e interpretar y poder ser visualizados adecuadamente.

El objetivo final es que los diferentes organismos productores de información espacial contaran con servidores de mapas vía web de manera que el usuario pueda utilizando un programa cliente web:

- Visualizar la información espacial disponible con diferentes niveles de zoom, quitando y poniendo capas de información, e etc.
- Cargar información disponible en diferentes servidores de forma transparente
- Bajar, si lo necesita, la información que esta visualizando

El primero de estos objetivos es hoy plenamente factible. Existen diversos servidores de mapas disponibles, algunos de ellos muy conocidos:

- Sitna (<http://sitna.tracasa.es/>)
- National geographic *Mapmachine* (<http://plasma.nationalgeographic.com/mapmachine/>)
- Google Earth
- Google maps (<http://maps.google.com/>)

El segundo de estos objetivos implica un gran esfuerzo técnico de cara a garantizar la interoperabilidad de los datos, es decir que dos mapas procedentes de dos organismos diferentes puedan utilizarse juntos. Para ello se necesita:

- Descripción adecuada de los metadatos para determinar por ejemplo si dos mapas tienen una proyección compatible y cuales son las ecuaciones de transformación entre ellas
- Interoperabilidad semántica, las leyendas deben ser comunes y utilizar los mismos términos para decir las mismas cosas
- Una correcta política de actualización de los datos y mantenimiento de las versiones antiguas. Para reducir costes, sólo se debería actualizar aquellas partes que realmente se han modificado y mantener las versiones antiguas para estudios históricos

El tercer objetivo es técnicamente factible pero puede contar con una amplia oposición política, existe aún un cierto rechazo al hecho de compartir información medioambiental, a pesar de todas las directivas de la UE acerca de información medioambiental pública.

En todo caso, en 2006-2007 debe adoptarse la legislación marco de INSPIRE por lo que los distintos gobiernos (nacionales y regionales) deben caminar hacia la creación de IDEs.

2.6. El sistema GPS

Uno de los problemas fundamentales de la cartografía ha sido siempre el conseguir de forma precisa determinar la posición en el espacio de los fenómenos a cartografiar. Tradicionalmente se han utilizado técnicas de topografía basadas en la triangulación. Hoy en día se cuenta con el sistema GPS que permite determinar las coordenadas de cualquier punto de la superficie terrestre con mayor precisión que los antiguos métodos topográficos.

La tecnología GPS (Global Positioning System) fue diseñada originalmente con propósitos militares pero rápidamente se vió su aplicabilidad en el mundo civil, fundamentalmente en navegación y topografía.

El sistema consta de tres componentes:

- **Componente espacial**, formado por 24 satélites situados a unos 20200 km de la Tierra y que pasan por el mismo lugar cada 12 horas de manera que se puede contar en cualquier lugar y en cualquier momento con, al menos, 4 de estos satélites con un ángulo de elevación de por lo menos 15°.
Cada satélite lleva a bordo varios relojes atómicos de gran precisión y emiten constantemente una señal característica de cada satélite que contiene entre otras cosas la posición del mismo.
- **Componente de control**, formado por una serie de estaciones de observación cercanas al Ecuador encargados de controlar la posición orbital de los satélites y calibrar y sincronizar los relojes.

- **Usuarios con un receptor GPS** entre las actividades la navegación marítima o terrestre, excursionismo, topografía, control de maquinaria, etc.

Dependiendo de las necesidades existen tres modos de utilización de un dispositivo GPS:

- **Navegación autónoma** con un receptor simple, la precisión es de 20 metros para usuarios militares y 100 metros para usuarios civiles. Utilizado en navegación marina.
- **Posicionamiento diferencial corregido (DGPS)** con precisiones de 0.5 a 5 metros utilizado en SIG, navegación costera, posicionamiento de vehículos, etc.
- **Posicionamiento diferencial de fase** con precisiones entre 0.5 y 20 mm, utilizado en control de maquinaria y topografía.

El cálculo del posicionamiento se basa en la medición de la distancia desde la posición de cada satélite a Tierra. Puesto que la señal emitida por el satélite incluye la hora en que fue emitida y el receptor conoce la hora de llegada, la distancia se puede calcular como:

$$d = c\Delta t \quad (2.1)$$

donde c es la velocidad de la luz.

Se genera de este modo una pseudoesfera con centro en el satélite y radio igual a la distancia medida. Si se dispone de tres satélites se tienen 3 pseudoesferas cuya intersección genera un único punto que es la posición del receptor. Sin embargo para obtener una medida hacen falta al menos cuatro satélites debido a las diferencias temporales en la recepción de las señales de los satélites.

Las distancias medidas por un receptor GPS están sujetas a las siguientes fuentes de error:

- Retrasos atmosféricos sobre la señal;
- Errores en los relojes;
- Efecto multirayectoria, la señal puede llegar al receptor rebotada desde alguna superficie reflectora (láminas de agua, edificios) obteniéndose una medida de distancia errónea;
- Pérdida de precisión debido a que los satélites están muy juntos. Un receptor GPS puede proporcionar una medida de esta pérdida tanto en la horizontal (HDOP) como en la vertical (VDOP);
- Disponibilidad selectiva, distorsiones introducidas a propósito por el ejército americano para disminuir la precisión a los usuarios civiles o a países extranjeros. Los satélites del sistema GPS disponen además de una señal, que permite posicionamiento de alta precisión, pero que es sólo accesible a aplicaciones militares.

La técnica **DGPS** permite solventar muchos de estos errores alcanzándose precisiones de 2 a 3 metros. Se basa en la conexión del receptor a un receptor de referencia fijo. Este último, puesto que conoce su posición, puede calcular el error de la señal del GPS y transmitirlo al receptor móvil para que lo corrija.

Esta corrección puede realizarse en tiempo real o en postproceso mediante programas que descargan por internet los ficheros con los errores y los tiempos en que se han medido estos errores para corregir las posiciones medidas por el receptor móvil y almacenadas en otro fichero.

La Dirección General de Medio Natural de la Consejería de Ordenación Territorial y Medio Ambiente, dispone de una antena accesible por Internet (<http://www.carm.es/medioambiente/medioAmbiente/GpsHTML/GPS.html>)

La técnica de **Posicionamiento diferencial de fase** requiere como mínimo dos receptores que deben utilizarse de forma simultánea para, tomando varias medidas, conseguir una reducción de errores mediante procedimientos estadísticos.

La Unión Europea y la Agencia Espacial Europea está desarrollando el sistema Galileo (<http://europa.eu.int/comm/dgs/ene>) como alternativa propia al sistema GPS lo que permitirá evitar algunos de los problemas *políticos* que arrastra el sistema GPS.

2.7. Los SIG ¿Ciencia o herramienta?

Uno de los debates más habituales en la utilización de los Sistemas de Información Geográfica en entornos académicos es hasta que punto implican realmente un avance científico, con lo que su presencia como asignatura sería de pleno derecho, o si son sólo una herramienta, poco más que un procesador de textos, que los alumnos deberían aprender por su cuenta y que, como mucho, podría servir para explicar visualmente otros contenidos.

En realidad, con los SIG ocurre algo parecido a lo que ocurre con la estadística. Existen los programas de estadística, o incluso las calculadoras estadísticas, que son útiles siempre y cuando el usuario tenga los conocimientos de la ciencia estadística necesarios para aplicar el método que necesita con éxito. De esta manera puede distinguirse, como de hecho se viene haciendo en la bibliografía, entre Sistemas de Información Geográfica y Ciencia de la Información Geográfica (en inglés el acrónimo es el mismo).

Se hace por tanto necesario determinar cual sería el ámbito de estudio de esta *Ciencia de la Información Geográfica* que tiene poco que ver en realidad con la Geografía, al menos con la concepción tradicional de esta; sino que sería el conjunto de problemas vinculados con la distribución espacial de variables (la temperatura por ejemplo), entidades (los individuos de una especie vegetal por ejemplo) y fenómenos (la erosión por ejemplo) sobre la superficie terrestre⁷. Estos fenómenos son estudiados por la Geografía, Edafología, Ecología, etc. pero su distribución espacial presenta características comunes y dificultades específicas que dan su unidad a la *Ciencia de la Información Geográfica*.

La cuestión básica está en la necesidad y dificultad de modelizar la superficie terrestre para resolver, utilizando un ordenador y un programa o un conjunto de programas, determinados problemas científicos o de orden práctico que afectan dicha superficie terrestre. Para ello es necesario:

⁷Se utilizan tecnologías similares para estudiar la distribución espacial de fenómenos sobre otros espacios particulares (ecografía en medicina, diseño de circuitos en microelectrónica, etc.

- *Modelos de datos* Se trata de modelos de las entidades y variables que aparecen en la superficie terrestre y que permitirán codificarlos en un sistema informático
- *Modelos de procesos* Se trata de procedimientos de cálculo que representan la interacción de los diferentes elementos de la superficie terrestre y sus modificaciones.

Por ejemplo, una cuenca hidrográfica y su red de drenaje pueden representarse en un ordenador mediante una serie de números almacenados en ficheros siguiendo diversos modelos de datos ampliamente utilizados (que se verán en los siguientes temas). El proceso de generación de avenidas e inundaciones en dicha cuenca puede modelizarse mediante programas que toman como entrada los ficheros que definen la cuenca, los que definen la precipitación, etc. y generan ficheros de salida que pueden representar la superficie inundada, hidrogramas, etc.

La adecuada codificación de elementos y procesos es la base de la Ciencia de la Información Geográfica que, podría considerarse que esta a caballo entre la Geografía y la Informática.

Hoy en día aparecen tres grandes líneas de trabajo en el mundo de los SIG:

- Cartografía de alta resolución, ligada a la topografía clásica con objetivos aplicados en el campo de la arquitectura o las ingenierías;
- Modelización de procesos ambientales y técnicas de simulación de fenómenos extremos o de actuaciones concretas sobre el espacio;
- SIG y Tecnologías de la Información, para permitir acceder a un SIG con todas las posibilidades a través de Internet; entre las aplicaciones de esta línea está la educación ambiental o la publicidad y otras aplicaciones empresariales.

2.8. Bibliografía

- Coppock, J.T. and Rhind, D.W. (1991) The History of GIS en Maguire, D.J.; Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (Eds.) *Geographical Information Systems: Principles and Applications* John Wiley & sons pp. 21-43 (www.wiley.co.uk/wileychi/gis/resources.html)
- Leica *Introducción al Sistema GPS* www.incom.cl/arch_pdf/publicaciones/que-esgps-leica.pdf
- Longley, P.A.; Goodchild, M.F.; Maguire, D.J.; and Rhind, D.W. (2001) *Geographic Information Systems and Science* John Wiley & sons 454 pp.
- Maguire, D.J. (1991) An overview and definition of GIS en Maguire, D.J.; Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (Eds.) *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. John Wiley & sons pp. 9-20 (www.wiley.co.uk/wileychi/gis/resources.html)
- Openshaw, S. (1991) A view on the GIS crisis in geography *Environment and Planning A* 23, 621-628

- Unwin, D.J. (1991) The academic setting of GIS en Maguire, D.J.; Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (Eds.) *Geographical Information Systems: Principles and Applications* John Wiley & sons pp. 81-90 (www.wiley.co.uk/wileychi/gis/resources.html)
- Wright, D.J.; Goodchild, M.F. and Proctor, J.D. (1997) Desmytifying the Persistent Ambiguity of GIS as Tool vs. Science *The annals of the Association of American Geographers* 87(2): 346-362 (dusk.geo.orst.edu/annals.html)
- (2005): “Infraestructuras de datos espaciales: la iniciativa europea INSPIRE y ejemplo de su aplicación” en Taboada González, J.A. y Cotos Yáñez *Sistemas de información medioambiental* Ed. Netbiblo

