

Introducción a los sistemas de información geográfica

Conceptos y operaciones
fundamentales

Jesús Rodríguez Lloret
Rosa Olivella

P07/89036/02930



Universitat Oberta
de Catalunya

www.uoc.edu

Índice

Introducción	5
Objetivos	6
1. Qué son los sistemas de información geográfica	7
1.1. La información geográfica	7
1.2. Definición de los sistemas de información geográfica: principales conceptos en SIG	8
1.2.1. Ejemplos prácticos para aplicaciones SIG	10
1.3. Tecnologías de la información geográfica	13
1.3.1. Sistemas globales de navegación por satélite	13
1.3.2. Teledetección y sensores remotos	15
1.3.3. Sistemas de información geográfica (SIG)	15
1.4. Cómo se puede reconocer qué es un SIG	16
1.4.1. El SIG como un sistema	16
1.4.2. El SIG como un software	16
2. Qué no son los sistemas de información geográfica	18
2.1. Cartografía digital	18
2.2. Sistemas CAD (diseño asistido por ordenador)	19
2.3. Sistemas de teledetección y fotointerpretación	20
2.4. Sistemas gestores de bases de datos (SGBD)	22
3. La naturaleza de los datos geográficos	24
3.1. Los datos geográficos	24
3.2. El componente espacial	25
3.2.1. La localización geográfica	25
3.2.2. Las propiedades espaciales	27
3.2.3. Las relaciones espaciales	28
3.3. El componente temático	29
3.3.1. Tipo de variables (atributos)	30
3.3.2. Escala de medición	31
3.4. El componente temporal	34
3.4.1. Representación de los procesos espaciotemporales	35
4. Componentes de los sistemas de información geográfica	36
4.1. Tecnología (software y hardware)	37
4.2. Ideas	38
4.3. Personal	38
4.4. Red	38
4.5. Datos	39
4.6. Métodos	40

5. Funciones y funcionamiento de los sistemas de información geográfica	41
5.1. Funciones de los sistemas de información geográfica	41
5.1.1. Entrada de datos	42
5.1.2. Almacenamiento, recuperación, análisis y consulta	44
5.1.3. Salida de los datos	45
6. La importancia de los SIG en la sociedad actual	48
6.1. Para qué utilizamos un SIG	48
6.1.1. Aplicaciones de los SIG	49
6.2. Cómo trabajamos en SIG	56
6.2.1. Metodología de desarrollo de un SIG	58
6.3. Implicaciones sociales de los SIG	63
6.3.1. El código ético de los SIG	64
7. Software SIG	65
7.1. El software.....	65
7.2. La arquitectura del software SIG	66
7.3. Clasificación de software SIG	67
7.4. Tipos de software según la licencia	69
7.4.1. La aparición del software libre o de código abierto	71
7.5. Tendencias en el software SIG	73
Resumen	76
Ejercicios de autoevaluación	78
Solucionario	80
Glosario	80
Bibliografía	81

Introducción

En este módulo de SIG y geotelemática abordaremos en primer lugar el estudio del concepto de *sistema de información geográfica* mediante las preguntas ¿"qué son los SIG "? y ¿"qué no son"?

En la primera parte desglosaremos el término SIG en su mínima expresión para definir los conceptos de *sistema de información* e *información geográfica*, y analizaremos las diferentes tecnologías que trabajan en el entorno del SIG para diferenciar las que se consideran parte del SIG de las que no. Para completar esta primera parte, mostraremos algunos ejemplos prácticos de aplicaciones SIG. El listado de los campos en los cuales pueden aplicarse los SIG es enorme. Conocer algunos de éstos puede ser el punto de partida para que investiguéis los diferentes ejemplos que son interesantes y relevantes para vosotros.

En la segunda parte del módulo nos dedicaremos al estudio de los componentes y de las funcionalidades que forman un SIG, dedicando un apartado especial a la naturaleza de los datos geográficos. Los datos geográficos constituyen la parte del SIG mediante la cual representamos la realidad y, por lo tanto, merecen una especial atención. El conocimiento de la naturaleza de los datos geográficos es imprescindible para su posterior manejo en un SIG. Inmersos en esta segunda parte, analizaremos en primer lugar los cinco componentes del SIG (tecnología, ideas, personal, redes y método) y, finalmente, describiremos sus funcionalidades (entrada de datos, organización, visualización, análisis, consulta y salidas).

En la tercera y última parte nos dedicaremos al análisis de la situación actual de los SIG en nuestra sociedad a partir de ejemplos reales de aplicaciones SIG en diferentes áreas tanto públicas como privadas. El último apartado del módulo lo destinaremos a describir diferentes programas informáticos de SIG disponibles en el mercado para acabar con la descripción de las diferentes clases de software según el tipo de licencia y el tipo de código.

Objetivos

Una vez finalizado el estudio de los materiales didácticos de este módulo, dispondréis de los conocimientos imprescindibles para alcanzar los objetivos siguientes:

- 1.** Conocer los principales conceptos que definen un SIG, así como la terminología clave que utilizaremos en su estudio, para llegar a identificar un sistema de información geográfica y distinguirlo del que no lo es.
- 2.** Describir el potencial de los SIG en el contexto de la gestión, organización y difusión de la información.
- 3.** Identificar y saber tratar diferentes naturalezas de datos geográficos con el que puede trabajar un SIG.
- 4.** Definir y entender el papel que tienen los componentes y las funciones de un SIG.
- 5.** Localizar recursos y fuentes de información relacionados con el mundo de los SIG.
- 6.** Desarrollar una visión general del papel de los SIG en la actual sociedad de la información: tanto con respecto a su gestión como a sus perspectivas de futuro.

1. Qué son los sistemas de información geográfica

Durante siglos hemos utilizado los tradicionales mapas de papel para representar nuestro espacio y entorno, y poder emprender acuerdos para gestionar, organizar y tomar decisiones sobre el territorio. Pero ¿qué ha sucedido en poco más de cuatro décadas? ¿Se continúan utilizando los mapas en papel de la misma manera?

Con la rápida evolución de los sistemas de información geográfica (SIG) y su tecnología asociada, los SIG han revolucionado el mundo de la cartografía, del análisis espacial, de la planificación y de la gestión del territorio.

En este apartado nos centraremos en las múltiples definiciones de los sistemas de información geográfica que han aparecido a lo largo de su corta historia y que han dado respuesta a las preguntas siguientes: ¿qué son los SIG? ¿Es una tecnología útil para la resolución de problemas geográfico-espaciales? ¿O es simplemente un sistema para la generación de mapas?

1.1. La información geográfica

Casi todas las cosas que suceden, suceden en alguna parte. A lo largo de los años los humanos hemos desarrollado nuestras actividades en la superficie del globo terrestre o cerca de ésta: construimos túneles; cavamos zanjas para sepultar las diferentes redes de tuberías y cables como el agua, el gas y la electricidad; construimos minas para explotar los minerales y perforamos el subsuelo para acceder a los pozos de petróleo y gas. Todas estas actividades son de gran importancia, igual que es de gran importancia saber dónde están ocurriendo.

Conocer dónde está sucediendo algo es de vital importancia si queremos ir allí o bien queremos enviar allí a alguien, e incluso si queremos encontrar alguna otra información sobre ese lugar o simplemente, por ejemplo, si queremos informar a la gente que vive alrededor. Por lo tanto, podemos afirmar que muchas decisiones (o quizás todas) políticas, estratégicas y de planificación de acciones sobre el territorio tienen consecuencias geográficas.

En resumen, la información geográfica (IG) es información sobre un elemento en la superficie de la Tierra, es el conocimiento sobre “dónde” hay algo o “qué hay” en un determinado lugar.

A continuación vamos a hacer una exploración previa de las características de la información geográfica para ir descubriendo todos los conceptos que nos llevarán a la definición de los sistemas de información geográfica.

La información geográfica:

- Es **multidimensional**: mediante dos coordenadas geográficas se puede definir cualquier posición en la superficie de la Tierra (x , y o latitud, longitud).
- Depende de la **resolución geográfica**: puede ser muy detallada o muy genérica.
- Puede ser muy **voluminosa**.
- Se puede representar en diferentes **formatos digitales**, que pueden influir en los análisis y los resultados.
- Debe ser **proyectada**, a menudo, en una superficie plana.
- Requiere métodos especiales y un tiempo de dedicación en el análisis nada despreciable.

Cuando creamos un paquete de información geográfica en formato digital, éste se parece a cualquier otro paquete de información que se puede tratar en un entorno informático adecuado.

1.2. Definición de los sistemas de información geográfica: principales conceptos en SIG

Una vez abordado el concepto de *información geográfica* (IG) añadiremos el concepto de *sistema*, es decir, añadiremos la S que nos falta al acrónimo SIG.

Por ahora sabemos que los SIG han evolucionado de manera muy rápida durante su corta historia (poco más de cuatro décadas), cosa que, por otra parte, ha condicionado las diferentes definiciones de SIG que han ido apareciendo. A lo largo de los años se han propuesto diversas definiciones de SIG, pero ninguna de éstas ha sido completamente satisfactoria. Actualmente, las diferentes definiciones de SIG se basan en el software, los datos, las comunidades SIG o en el hecho de trabajar con SIG. Escoger un concepto u otro depende del contexto en el que se aplica.

Primeramente desglosaremos el acrónimo SIG para procurar entender mejor su significado.

El término de **sistema de información** tiene diferentes significados:

- Un sistema que puede ser automatizado o manual, que incluye personas, máquinas y otros métodos organizados para la recopilación, procesamiento, transmisión y distribución de datos que representan información de utilidad.

Ejemplos de resolución geográfica

Un ejemplo de información geográfica detallada es la información sobre la localización de todos los edificios de una ciudad, o sobre cada uno de los árboles de un bosque. Por otra parte, un ejemplo de información geográfica muy genérica es el clima en una gran extensión, o la densidad de población en un país entero.

Ejemplo de información voluminosa

La información geográfica puede ser muy voluminosa. Por ejemplo, un solo satélite emite cada día un terabyte (10^{12} bytes). Se necesitan varios gigabytes ($1\text{Gb} = 10^9$ bytes) de datos para describir la lista de calles de una gran ciudad.

Recordad que los formatos digitales se han tratado en el módulo "Bases de datos geográficos".



- Un equipo informático o de telecomunicaciones o sistema interconectado que se utiliza para la adquisición, almacenamiento, manipulación, gestión, movimiento, control, representación, intercambio, transmisión o recepción de voz o datos, que incluye software y hardware.

Por **sistema de información** se entiende la unión de la información y herramientas informáticas (programa o software) para su análisis con unos objetivos concretos (Peña, 2006). Un sistema de información se usa para manipular, consultar, editar, visualizar –generalmente para trabajar con información almacenada en una base de datos. Por ejemplo, un sistema de información muy común en el sector turístico empresarial son los **data warehouse**. Los *data warehouse* (en castellano, 'almacén de datos') son unas bases de datos diseñadas y estructuradas para la su consulta y una posterior toma de decisiones (en caso de que sea necesario).

Por otra parte, al incluir el término *geográfica* se asume que la información es espacialmente explícita, es decir, que incluye la posición en el espacio (Peña, 2006). Recordad la frase con la que empezaba el subapartado 1.1: “Casi todas las cosas que suceden, suceden en alguna parte”:

$$SI + IG = SIG$$

Como hemos dicho anteriormente, es muy difícil definir el concepto de SIG a causa de la diversidad de componentes y funcionalidades que lo forman. Por este motivo, encontramos muchas definiciones de SIG que acentúan un aspecto u otro, sea el componente de base de datos, sea el hecho de ser una herramienta de soporte para la toma de decisiones. La característica común en todas las definiciones es que en todas aparece la capacidad para trabajar con información espacial.

A continuación vamos a exponer algunas definiciones comenzando por la que fue desarrollada por el consenso de treinta especialistas en SIG en 1989. No es un concepto muy actual, pero para empezar nos va a ir perfecto para dejar claro qué compone un SIG y qué funciones realiza. En la medida en la que presentamos conceptos más recientes, éstos se van ajustando más a la realidad actual de los SIG.

Un sistema de información geográfica es “Un sistema de hardware, software, datos, personas, organizaciones y convenios institucionales para la recopilación, almacenamiento, análisis y distribución de información de territorios de la Tierra” (Deuker; Kjerne, 1989).

Chrisman (2003) define los SIG basándose en las actividades que permiten. Los SIG son las acciones organizadas con que las personas miden aspectos de fenómenos y procesos geográficos para enfatizar cuestiones espaciales, entidades y relaciones. Operan bajo estas representaciones, descubren nuevas relaciones mediante la integración de diferentes fuentes y transforman estas representaciones.

Burrough (1998), en cambio, recoge definiciones basadas en tres categorías:

1) Una poderosa "caja de herramientas" para recoger, almacenar, recuperar, transformar y visualizar datos del mundo real (Burrough, 1986).

2) Un sistema de bases de datos en el que la mayoría de los datos están indexados geográficamente y con los cuales se puede realizar un conjunto de procedimientos con el objetivo de dar respuesta a consultas sobre entidades espaciales en la base de datos (Smith y otros, 1987).

3) Una entidad institucional con una estructura organizativa que integra tecnología con bases de datos, expertos y ayuda económica continuada (Cartero, 1989).

Además, los SIG se pueden definir dependiendo de los grupos de personas que los utilizan (Longley y otros, 2001):

- Un contenedor de mapas digitales (el público general).
- Un conjunto de herramientas para la resolución de problemas geográficos (gestores, planificadores).
- Un sistema de ayuda a la toma de decisiones espaciales (gestores científicos e investigadores).
- Un inventario mecanizado de capas geográficamente distribuidas y servicios (gestores de recursos, responsables de logística).
- Una herramienta para la demostración de lo que es invisible en la información geográfica (científicos e investigadores).
- Una herramienta para llevar a cabo operaciones con datos espaciales que son demasiados pesados, costosos o imprecisos manualmente (gestores de recursos, planificadores, cartógrafos).

Observamos que hay unos tipos de datos que son comunes a todas las definiciones: los datos espaciales. Éstos son únicos porque se pueden relacionar con un mapa geográfico. *Espacial* significa relacionado con el espacio que nos rodea, en el cual vivimos y funcionamos (Clarke, 1997).

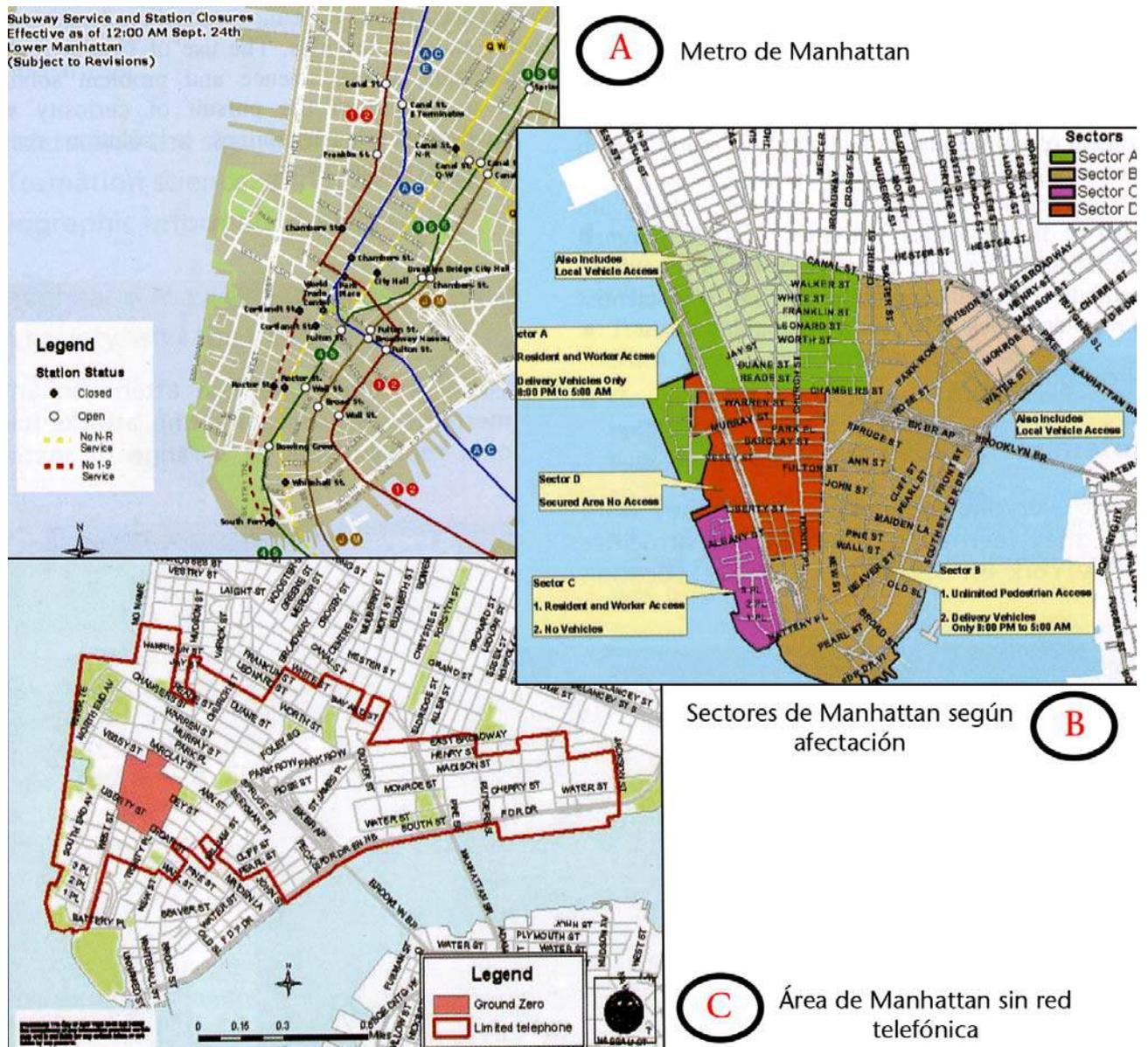
1.2.1. Ejemplos prácticos para aplicaciones SIG

Hasta ahora hemos dado razones para entender la importancia de tener información y poder localizarla. Es tan importante que podemos encontrar

ejemplos varios en la vida diaria. Algunos de éstos son tan rutinarios que casi no conseguimos darnos cuenta de ellos, como por ejemplo cuando nos preguntamos diariamente qué ruta vamos a coger para llegar al trabajo. En cambio, otros pueden ser acontecimientos bastante extraordinarios y requieren una respuesta rápida y coordinada por parte de diferentes organizaciones.

Ponemos, por ejemplo, la gestión eficiente de la información espacial y temporal en los atentados terroristas del 11 de septiembre del 2001 en Nueva York (figura 1).

Figura 1. Planes de actuación durante los atentados del 11 de septiembre en Nueva York



En los atentados terroristas del 11 de septiembre del 2001 en Nueva York, la gestión eficiente de información espacial y temporal fue imprescindible. Los SIG fueron las herramientas utilizadas para diseñar los planes de actuación de los servicios de emergencia, las evacuaciones y las actuaciones de recuperación de la zona (Fuente: imagen adaptada de Longley y otros, 2005). [peu]

La localización espacial fue un elemento crucial para dar la alerta de emergencia después del primer ataque. Se actuó según dos factores clave: el espacial (geográfico), relativo a la zona afectada, y el temporal, según el cual se actuó.

A corto plazo se activó el sistema de evacuación de emergencia y la suspensión y seguimiento del sistema financiero de la bolsa de Nueva York. A medio plazo se bloquearon las partes del metro de Nueva York que pasaban por debajo de la zona de las torres gemelas y se gestionaron las zonas que quedaban afectadas para evacuar a las personas involucradas. Si miramos el mapa A de la figura 1 vemos el mapa del metro de Manhattan con las estaciones abiertas y cerradas. Si observamos la leyenda del mapa, vemos el punto negro que representa una estación cerrada y el punto blanco que representa una estación abierta.

En el mapa B de la figura 1 vemos la zona dividida en sectores según el grado de afectación. Dependiendo de la zona, sólo pueden acceder allí o evacuar residentes, trabajadores, personal de rescate, etc.

Finalmente, a más largo plazo se analizaron los daños producidos en los servicios de telefonía, luz, gas, etc. En el mapa C de la figura 1 vemos la zona cero y un área a su alrededor que marca la zona sin línea telefónica.

Aunque el despliegue y gestión de información geográfica en este momento fue mucho más amplia, este pequeño ejemplo de algunas de las aplicaciones que se llevaron a cabo nos ayuda a entender la importancia de un SIG en la gestión territorial.

A continuación vamos a exponer otros ejemplos en los que los SIG dan solución a **problemas geográficos** comunes y que se repiten periódicamente en el tiempo:

- Proporcionar información al Ministerio de Salud para saber dónde deben construirse nuevos hospitales y clínicas en un territorio en concreto.
- Proporcionar información a las compañías de transporte y reparto que están interesadas en saber o descubrir nuevas rutas más cortas, económicas o simplemente viables para que se ajuste el programa de reparto diario.
- Proporcionar información a las autoridades de las infraestructuras viarias de un país para la nueva selección de rutas con el fin de construir autopistas o nuevas vías de comunicación en general.
- Proporcionar información a empresas que permita localizar el mejor punto geográfico para construir un negocio según el tipo de producto que comercializarán.
- Proporcionar información a las compañías forestales para determinar cuál es la mejor manera de gestionar un bosque o por dónde hay que hacer pasar una carretera o bien qué zona deberá ser reforestada.
- Proporcionar información a los gobiernos para decidir dónde deben destinarse los fondos económicos para el desarrollo del país.

- Proporcionar información a los viajeros y turistas a la hora de seleccionar rutas, hoteles y puntos de interés de la zona.
- Proporcionar información a los agricultores para asesorarles en la toma de decisiones de, por ejemplo, cuántos fertilizantes y pesticidas se utilizarán y se aplicarán en las diferentes partes del campo de cultivo.
- Y un largo etcétera.

Todos estos ejemplos nos muestran que los SIG son fundamentalmente aplicaciones de trabajo utilizados para la resolución de problemas espaciales. Además, notad que los SIG son ampliamente utilizados en todo tipo de organizaciones, desde instituciones académicas hasta agencias del gobierno y corporaciones.

1.3. Tecnologías de la información geográfica

Hasta ahora hemos visto qué es la información geográfica, qué es un sistema de información y cómo se relacionan ambos conceptos para dar lugar a los sistemas de información geográfica. Al mismo tiempo también hemos visto diferentes definiciones de SIG y sus aplicaciones en distintos ámbitos. Pero ¿qué hacemos para obtener y procesar toda esta información que necesitamos para llevar a cabo la resolución de un problema espacial?

La obtención de los datos e información y el posterior procesamiento no sería posible sin las **tecnologías de la información geográfica (TIG)**:

- sistemas globales de navegación por satélite (GNSS),
- teledetección y sensores remotos,
- sistemas de información geográfica (SIG).

En este subapartado trataremos este tema de manera introductoria para entender el papel que desempeñan las tecnologías en el mundo de los SIG.



Para saber más sobre las tecnologías de la información geográfica (TIG), podéis ver el módulo "Geotelemática".

1.3.1. Sistemas globales de navegación por satélite

Los sistemas globales de navegación por satélite, *global navigation satellite system* (GNSS), son sistemas utilizados para determinar la posición geográfica de un usuario mediante un receptor que en cualquier lugar del mundo recibe las señales transmitidas por una constelación de satélites. Actualmente el más conocido de los sistemas GNSS es el GPS (*global positioning system*, 'sistema de posicionamiento global').

El sistema GPS está constituido por un conjunto de satélites en órbita alrededor de la Tierra que proveen señales disponibles en cualquier punto de la superficie de la Tierra, las 24 horas del día los 365 días del año, y que se utilizan

Departamento de Defensa
de los Estados Unidos:
<http://www.defenselink.mil>

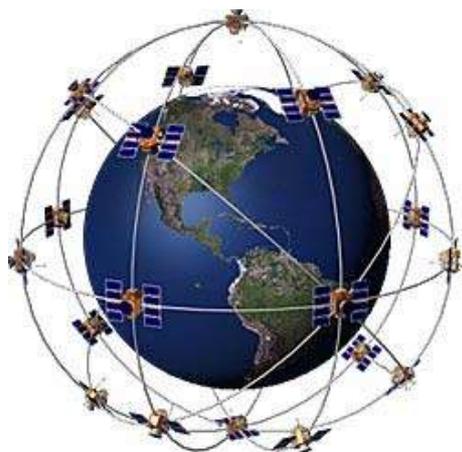
para determinar el tiempo preciso y la posición en tres dimensiones de un receptor GPS. El GPS fue desarrollado y está controlado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para aplicaciones militares, aunque está permitido el uso civil para georreferenciar posiciones, para la navegación y como patrón de tiempo y de frecuencia.

Actualmente, Rusia tiene un sistema propio llamado GLONASS. La Unión Europea tiene en fase de desarrollo un sistema GNSS independiente del sistema americano, es el llamado programa GALILEO. Inicialmente previsto para el 2008, las últimas previsiones apuntan el año 2013 como fecha posible para el inicio de las operaciones de explotación del sistema.

Sistema europeo de navegación por satélite:
http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm

Cada uno de estos sistemas utiliza una constelación propia de satélites que orbitan la Tierra y trabajan en conjunción con una red de estaciones fijas en la superficie terrestre. En la figura 2 se representan la Tierra y los distintos satélites y órbitas que forman parte de la constelación GPS.

Figura 2. Sistema de satélites GPS alrededor de la Tierra



El GPS opera mediante una constelación de 24 satélites con trayectorias sincronizadas con unas transmisiones de señales de navegación que cubren la superficie de la Tierra.
Fuente: <http://www.garmin.com>

El usuario recibe las señales emitidas por los satélites GPS mediante un receptor específico GPS. Actualmente hay en el mercado receptores GPS portátiles de pequeñas dimensiones y a un precio asequible. Por medio de estos receptores se obtienen mediciones de la posición del receptor en la superficie terrestre expresadas en latitud, longitud y altitud.

El uso del GPS se ha generalizado en la obtención de datos para los sistemas de información geográfica, para localización precisa de los datos espaciales y para la obtención de todo tipo de datos de campo. El uso eficiente de un sistema GPS necesita un equipamiento apropiado, un tiempo de aprendizaje de las técnicas de obtención de datos y el conocimiento de las limitaciones del sistema.

1.3.2. Teledetección y sensores remotos

Otras tecnologías para adquirir y procesar información geográfica son todas las relacionadas con la teledetección. La teledetección, o percepción remota, es la técnica que permite la obtención de imágenes de la superficie terrestre a partir del análisis manual o automático de los datos obtenidos desde plataformas como satélites o aviones. Las imágenes de satélite, fuente de datos para la teledetección, se toman mediante sensores.

Los sensores remotos están situados en los satélites que orbitan la Tierra y se utilizan para recopilar información de la superficie terrestre y de la atmósfera. Los sensores varían según el nivel de detalle que permiten visualizar y el rango del espectro electromagnético que detectan. Las señales se transmiten a estaciones receptoras en la superficie de la Tierra, donde se procesan y transforman en imágenes digitales para más tarde diseminarlas a los usuarios finales. Vamos a ilustrar lo que hemos dicho anteriormente con unos ejemplos.

Ejemplos de teledetección

En la figura 3 podéis ver una imagen, tomada por el satélite LandSat-7, del volcán Etna, situado en la isla italiana de Sicilia. En esta imagen del 2001 observamos que el volcán está en erupción: se aprecia la salida de humo del cráter (color blanco) y el avance de la lava oscura por sus laderas.

La figura 4 muestra otra imagen del satélite LandSat-7, donde observamos el desierto de Atacama, al norte de Chile. El desierto de Atacama es uno de los desiertos más secos del planeta y está ubicado al pie de los Andes occidentales. Ahí confluyen pequeños lagos de sal con sedimentos minerales que dan lugar a volcanes blancos (manchas más claras de la imagen).

1.3.3. Sistemas de información geográfica (SIG)

Finalmente, vamos a concluir este subapartado tal como lo hemos empezado: con los sistemas de información geográfica. Una vez repasados los diferentes conceptos de SIG, llegamos a la conclusión de que también son una **tecnología de la información geográfica**. Los SIG son sistemas para la entrada, almacenamiento, manipulación y salida de información geográfica. Se consideran también una clase de software. Un ejemplo práctico de un SIG combina **software con hardware, datos, un usuario y unos procedimientos**. Finalmente, el conjunto de todas estas tecnologías definen lo que conocemos como las tecnologías de la información geográfica, las TIG.

Los sistemas de información geográfica utilizan la **información geográfica** (información espacial sobre qué y dónde o, lo que es lo mismo, base de datos de información georreferenciada) almacenada en un **sistema de información** para demostrar su efectividad, especialmente en la resolución de problemas espaciales, servir de soporte para la toma de decisiones y para ayudar a la planificación.

Figura 3. Erupción del volcán Etna en la isla de Sicilia



Imagen del satélite LandSat-7
Fuente: <http://earthasart.gsfc.nasa.gov>

Figura 4. Los volcanes blancos del desierto de Atacama (Chile)



Imagen del satélite LandSat-7
Fuente: <http://earthasart.gsfc.nasa.gov>

1.4. Cómo se puede reconocer qué es un SIG

¿Una vez visto lo que es un SIG, ¿cómo lo reconocemos? Vamos a responder a esta pregunta desde dos posiciones diferentes:

- desde el punto de vista de sistema,
- desde el punto de vista de software.

1.4.1. El SIG como un sistema

Desde el punto de vista de un sistema, reconocemos los SIG por una serie de características:

- Utilizar un tipo muy específico de equipos como son las grandes impresoras, los plóteres, los escáneres y las mesas digitalizadoras, etc.
- Almacenar mapas e imágenes.
- Incluir herramientas para:
 - procesar información,
 - disponer de funciones especiales para trabajar con la información geográfica como visualizar en pantalla, editar, modificar, transformar, medir distancias y áreas, combinar mapas, etc.
- Disponer de funciones especializadas como:
 - mantener inventarios,
 - gestionar propiedades,
 - permitir evaluar la idoneidad de las actuaciones previstas en diferentes áreas.
- Producir nueva información mediante la fusión de información existente en diferentes formatos. Esta información generada puede ser de gran utilidad. Los mapas son sólo un método de representación de la información espacial, pero los SIG permiten ver la información espacial desde diferentes puntos de vista, que sirven de ayuda para la toma de decisiones.

1.4.2. El SIG como un software

Desde el punto de vista de software, reconocemos los SIG por las siguientes características:

- Es un tipo de software cuyas funciones son:
 - entrada de datos,
 - procesamiento de datos,
 - salida y representación de datos.

- Este software ha sido suministrado probablemente por una empresa desarrolladora de aplicaciones especializada en SIG.
- El precio de este tipo de software puede variar entre los 60 y los 60.000 euros. Actualmente hay diferentes proveedores de software SIG, algunos especializados en SIG y otros que ofrecen SIG como uno más de sus productos de mercado. También hay alternativas de SIG basadas en licencias de software libre.



Las alternativas de SIG basadas en licencias de software libre se estudiarán en el apartado 7 de este módulo.

Un SIG puede producir mapas profesionales de calidad gráfica excelente con una gran diversidad de símbolos, a diferentes escalas y proyecciones. Pero un SIG puede hacer mucho más que eso. En realidad, un SIG nunca presenta mapas de forma convencional, sino como una base de datos de coordenadas o como una colección de celdas. A partir de esta base de datos podemos producir mapas en el momento que se requiera. Además de producir y almacenar mapas, un SIG puede procesarlos, ya que los datos están almacenados en forma de modelo digital del mundo real, a diferencia de los mapas de papel convencionales.

2. Qué no son los sistemas de información geográfica

En el apartado anterior hemos aprendido y estudiado el concepto de SIG, y también hemos aprendido a saberlo reconocer mediante *algunas* funciones y componentes que lo forman. Queremos destacar la palabra *algunas* porque en los apartados 4 y 5 explicaremos con más detalle los componentes y funciones de un SIG.

En este apartado queremos insistir especialmente en todos aquellos sistemas que nos pueden parecer un SIG pero que realmente no cumplen con todos los requisitos necesarios. Son sistemas que tienden a confundirse y a difuminarse entre los verdaderos SIG.

Por ejemplo, es el caso de los sistemas CAD (*computer aid design*, 'diseño asistido por ordenador'). Éstos permiten la modelización de entidades como edificios o circuitos eléctricos pero no permiten la modelización de la geografía.

Como ya hemos comentado en el apartado anterior, los SIG comparten características con otros sistemas de información pero se distinguen por su capacidad de procesar datos geográficos.

Repasad el concepto de *sistema de información* que se ha visto en el subapartado 1.2 de este módulo.



A continuación, presentamos los sistemas de información con los que se relacionan los SIG y que a menudo se confunden con éstos últimos:

- cartografía digital,
- sistemas CAD,
- sistemas de teledetección y fotointerpretación,
- sistemas gestores de bases de datos.

2.1. Cartografía digital

El desarrollo tecnológico ha permitido pasar de la cartografía en formato analógico, los tradicionales mapas sobre papel, a los mapas totalmente automatizados y almacenados en soportes digitales; eso correspondería a la denominada *cartografía digital*.

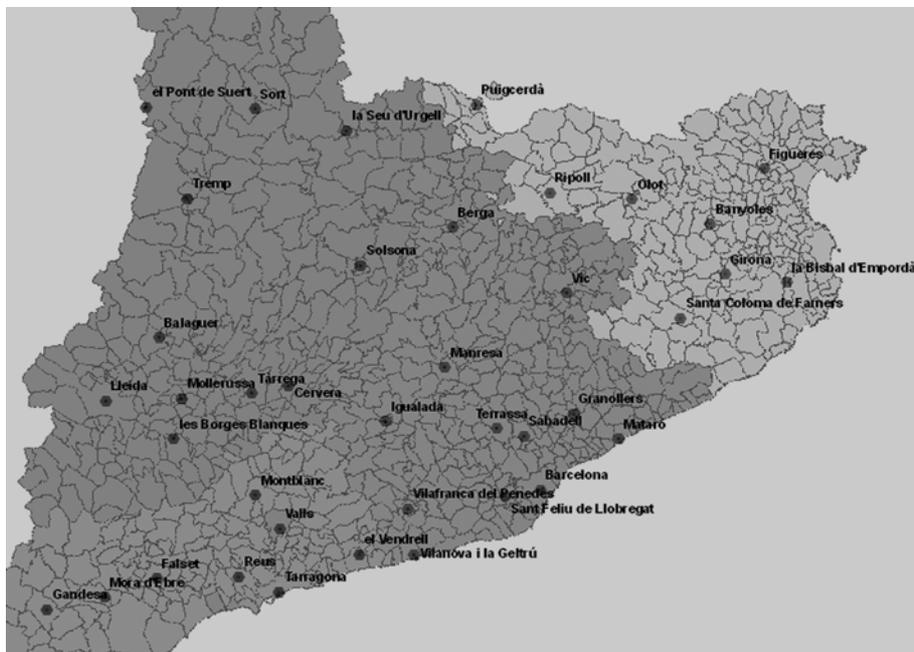
La cartografía digital se organiza en capas de información (una capa contiene ríos, otra ciudades, otra carreteras, etc.) para su bajada o visualización en pantalla. Por ejemplo, en la figura 5 podéis ver la cartografía digital de los límites municipales de Cataluña, junto con algunas de las ciudades más importantes y las diferentes provincias representadas en diferentes tonos. Este tipo de cartografía permite el diseño, producción y almacenamiento de mapas con la

Repasad el concepto de *cartografía* explicado en el módulo "Geodesia y cartografía".



ayuda de ordenadores. Diríamos que la cartografía digital es la base para la implementación de un SIG o, en otras palabras, los SIG están constituidos básicamente por cartografía digital.

Figura 5. Cartografía digital



Fuente: elaboración propia

Principalmente, un SIG se diferencia de la cartografía digital por las características de análisis que facilita el procesamiento de los datos integrados en éste, de manera que es posible generar nueva información a partir de la cartografía digital inicial y modelizarla con el fin de obtener un mapa para alcanzar los objetivos que previamente se habían planteado. De esta manera obtenemos representaciones espaciales que no son una reproducción del mundo real sino que describen la toma de decisiones sobre el territorio.

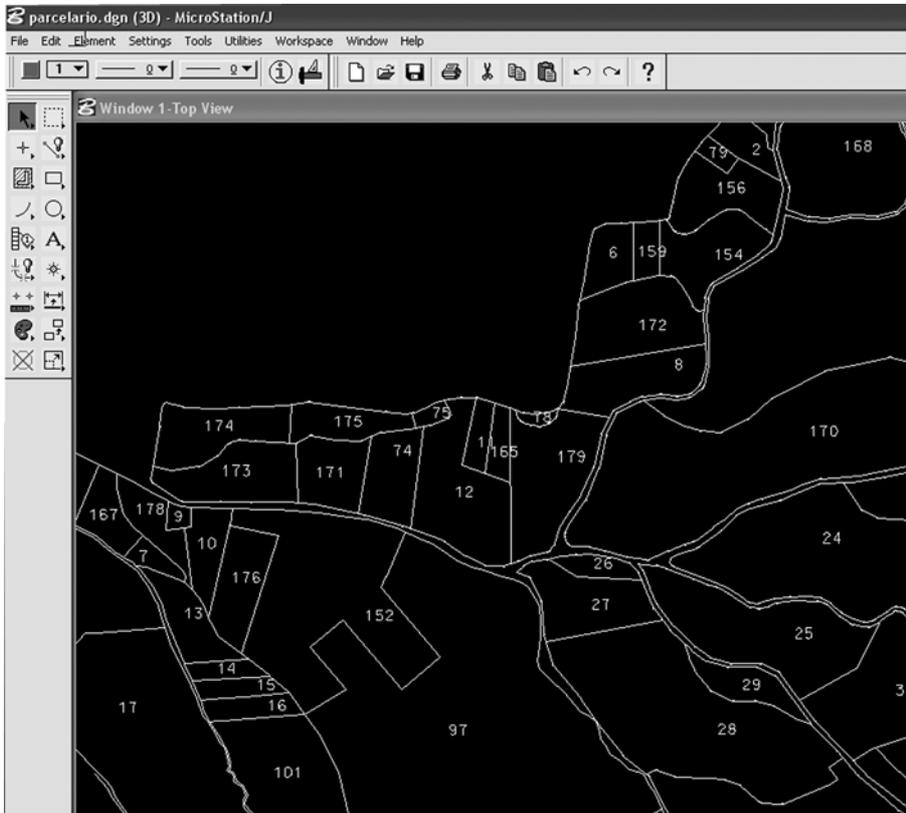
2.2. Sistemas CAD (diseño asistido por ordenador)

Los sistemas CAD (*computer-aided design*, 'diseño asistido por ordenador') se utilizan principalmente para diseñar y dibujar nuevos objetos. Son herramientas utilizadas sobre todo por diseñadores, delineantes, arquitectos e ingenieros, pero también por geógrafos, cartógrafos y otros profesionales para dibujar mapas. Son programas informáticos pensados para obtener un diseño eficiente y preciso de **entidades gráficas (puntos, líneas y polígonos)** que se necesitan en el proceso de producción de mapas. Es en este aspecto donde pueden ser confundidos con los SIG.

La cuestión es que, cuando nos fijamos con atención en las características de un sistema y de otro, somos capaces de identificar las diferencias que hay entre CAD y SIG. Mientras que los programas CAD no pueden llevar a cabo el análisis esperado en un SIG, los CAD generan mapas y datos que a menudo son la

base de los datos en los SIG, sobre todo en aplicaciones como la digitalización de parcelas y calles como, por ejemplo, la que podéis ver en la figura 6. Los CAD se usan principalmente para editar y dibujar entidades gráficas, ya que a menudo los diferentes sistemas SIG los mantienen en un segundo plano por debajo del análisis geográfico.

Figura 6. Software CAD Microstation, de la casa Bentley Systems®



Fuente: elaboración propia

Según Burrough (1986), las diferencias más importantes entre los SIG y los CAD son en el volumen y diversidad de datos, mucho mayor en el caso del SIG, y en los métodos de análisis que utiliza el SIG.

Para acabar de entender mejor esta idea, pondremos un ejemplo de la coexistencia de un sistema SIG y un CAD en una misma organización. Sería el caso de una organización compuesta de diferentes departamentos entre los cuales habría un departamento de planificación, que usaría SIG para determinar el emplazamiento de un nuevo hospital, y un departamento de arquitectura, que usaría CAD para diseñarlo. Este caso muestra las funciones de un sistema y permite diferenciar claramente las funcionalidades y capacidades de cada uno, pero no debemos olvidar que ambos se complementan. Podemos crear entidades gráficas con un CAD y después exportarlas a un SIG para analizarlas.

2.3. Sistemas de teledetección y fotointerpretación

Como ya hemos comentado en el subapartado 1.3.2, el término *teledetección* hace referencia a las diferentes maneras de adquirir información mediante sensores lo-

calizados en plataformas de observación instaladas en aviones o satélites. La teledetección tiene por misión obtener las características de la superficie observada y los fenómenos que tienen lugar en ella. Diferentes disciplinas se sirven de esta fuente de información (meteorología, oceanografía, geología, geografía...), por lo cual esta nueva manera de ver nuestro planeta va acompañada del desarrollo de potentes modelos fisicomatemáticos que tratan de analizar y predecir los procesos fisicoquímicos que tienen lugar en nuestro entorno.

Casi todo en la teledetección son ventajas. En general, podemos decir que su uso permite reducir costes y tiempo en el estudio de los sistemas naturales, estudiar grandes espacios proporcionando una visión amplia de los hechos geográficos, y obtener una cobertura global y periódica de la mayor parte de la superficie terrestre, incluso en áreas inaccesibles por otros medios. Además, es cada vez una tecnología más manejable, homogénea y al alcance de la mayoría, gracias al esfuerzo de las diferentes agencias espaciales encargadas de la distribución de la información. En la figura 7 podemos ver una imagen de satélite de Barcelona vista con el programa Google Earth y obtenida con el satélite Spot.

Google Earth:
<http://earth.google.com>

Figura 7. Imagen de satélite ofrecida por Google Earth



Fuente: elaboración propia

La fotografía aérea es un caso particular de la teledetección en la que se utilizan plataformas a poca altura (aviones en lugar de satélites) y cámaras fotográficas especiales. El desarrollo tecnológico de los últimos años ha permitido sustituir las clásicas cámaras fotográficas por cámaras digitales y, por lo tanto, ahora la obtención de la fotografía aérea se realiza en formato digital.

Una vez obtenida la fotografía aérea o imagen de satélite, tiene lugar la **foto-interpretación**, que es el proceso por el que un grupo de trabajo experto en el territorio extrae la información contenida en la fotografía. Se requieren ciertos conocimientos sobre el área de estudio, además de tener en cuenta otros aspectos como la escala del fotograma y el tamaño de los aspectos representados.

La teledetección se considera una fuente de datos geofísicos que alimentan los SIG. Los SIG pueden visualizar y procesar imágenes de satélite y fotografías aéreas, con el objetivo de obtener nueva información y, por lo tanto, realizar tareas de **fotointerpretación**. De esta manera utilizamos los datos primarios para llevar a cabo el proyecto que queremos realizar en un SIG.

Es importante la complementariedad de estas dos tecnologías (teledetección y SIG), aunque hay otras formas para la entrada de datos en un SIG, como veremos más adelante, en el subpartado 51.1.

Datos primarios

Los datos primarios son aquellos que el investigador obtiene directamente de la realidad; recopilándolos con sus propios instrumentos.

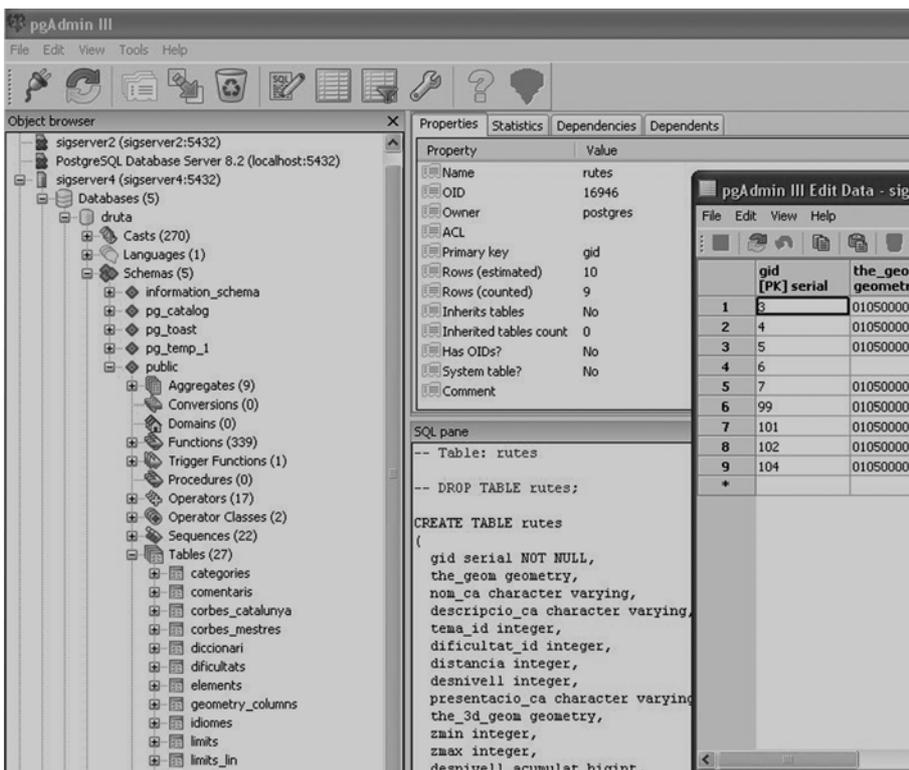
Para repasar el concepto de *datos primarios*, podéis consultar el módulo "Geodesia y cartografía".

2.4. Sistemas gestores de bases de datos (SGBD)

Los sistemas de gestión de bases de datos son un tipo de software muy específico que permite crear, mantener y manipular la **base de datos**. El objetivo principal de un SGBD es proporcionar un entorno fiable, seguro y amigable para el almacenamiento y recuperación de grandes volúmenes de información. En la figura 8 podemos ver la interfaz de un SGBD, concretamente es el programa informático PostgreSQL, que ayuda en la gestión de la base de datos de un SIG determinado.

Podéis repasar el concepto de *base de datos* en el módulo "Bases de datos geográficos".

Figura 8. Muestra de un SGBD, concretamente del software PostgreSQL



Fuente: elaboración propia

Esta característica de tratar grandes volúmenes de información constituye un componente esencial para los SIG, siempre que esté diseñado para trabajar con información espacial. Un SGBD no se considera un SIG porque apenas tiene funcionalidades gráficas.

3. La naturaleza de los datos geográficos

En los apartados anteriores nos hemos dedicado a la identificación de un sistema de información geográfica en general pero sin entrar en detalle en las funciones, componentes y otros factores que interactúan. De ahora adelante trataremos estos aspectos más puntuales para ver cómo se han desarrollado en un entorno SIG.

En este apartado abordaremos los datos geográficos y los tres componentes que los forman:

- el componente espacial,
- el componente temático,
- el componente temporal.

3.1. Los datos geográficos

Empezaremos tratando los principios fundamentales para poder entender las diferentes formas de representación de lo que ya apuntábamos en el subapartado 1.1. Recordad que la información geográfica es información sobre un elemento situado en la superficie de la Tierra, es el conocimiento sobre “dónde” hay algo o “qué hay” en un determinado lugar, pero ¿de dónde sale toda esa información y cómo se trata? Hasta ahora sabemos que un SIG almacena y gestiona información, entre otras características, ¿pero dónde y cómo se recoge esta información?



Recordad el concepto de *información geográfica* desarrollado en el subapartado 1.1 de este módulo.

Los datos geográficos son la parte del SIG mediante la cual representamos la realidad y, a su vez, nos permiten enlazarla con situaciones y aplicaciones específicas. Los datos son una **abstracción de la realidad** y los almacenamos como códigos digitales en bases de datos.



Podéis repasar el concepto de *base de datos* en el módulo “Bases de datos geográficos”.

Los datos son la representación concreta de hechos y constituyen el antecedente necesario para el conocimiento de un fenómeno. La información almacenada en una base de datos se obtiene para una finalidad determinada y es fruto de un proceso interpretativo del usuario (Comas y Ruiz, 1993).

Por lo tanto, podemos considerar los datos geográficos como valores, cadenas de caracteres o símbolos que proporcionan a quien los use información sobre la localización geográfica de entidades del mundo real. Es decir, dan respuestas a las preguntas originales que nos habíamos planteado de **qué, dónde y cuándo**.

Los datos geográficos presentan tres tipos de componentes:

- un componente espacial que contiene información asociada sobre la localización,
- un componente de atributo que contiene información asociada temática,
- y un componente temporal que lleva asociada información del tiempo.

A continuación nos centraremos en estos tres componentes por separado.

3.2. El componente espacial

Cuando hablamos del componente espacial, nos referimos a la localización geográfica, a las propiedades espaciales de los objetos y a las relaciones espaciales que hay entre éstos.

3.2.1. La localización geográfica

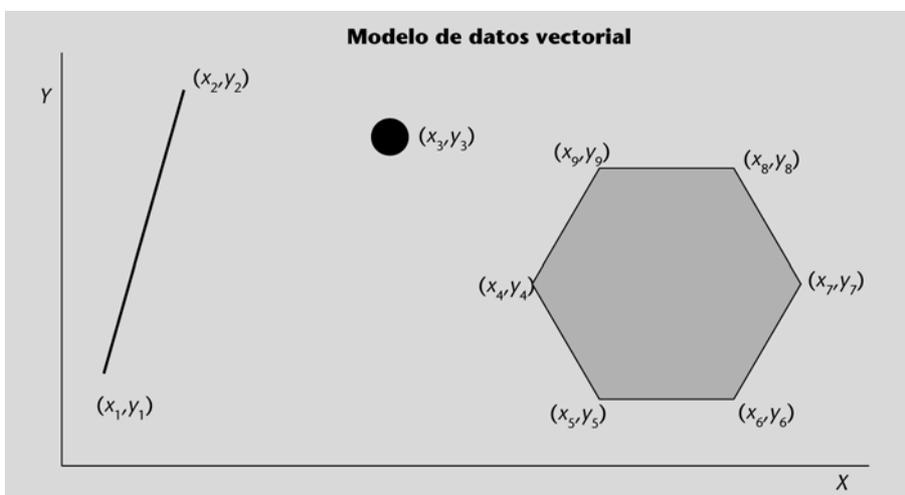
La localización geográfica hace referencia a la posición de los objetos sobre la superficie de la Tierra, utilizando, por ejemplo, coordenadas geográficas o direcciones postales. Además, dependiendo de sus dimensiones espaciales, los objetos pueden tener cierto tamaño: la longitud de una carretera, el área de un bosque o el volumen de una masa de agua.

La localización de los objetos en el espacio se realiza mediante un sistema de coordenadas y varía según el tipo de datos presentados:

- Modelo vectorial. En la figura 9 vemos la representación de las entidades del mundo real mediante puntos, líneas y polígonos:
 - Punto: localizado en el espacio por un par de coordenadas X e Y .
 - Línea: localizada a partir de las coordenadas de los puntos que la definen.
 - Polígono: localizado a partir de las coordenadas de las líneas que lo cierran.

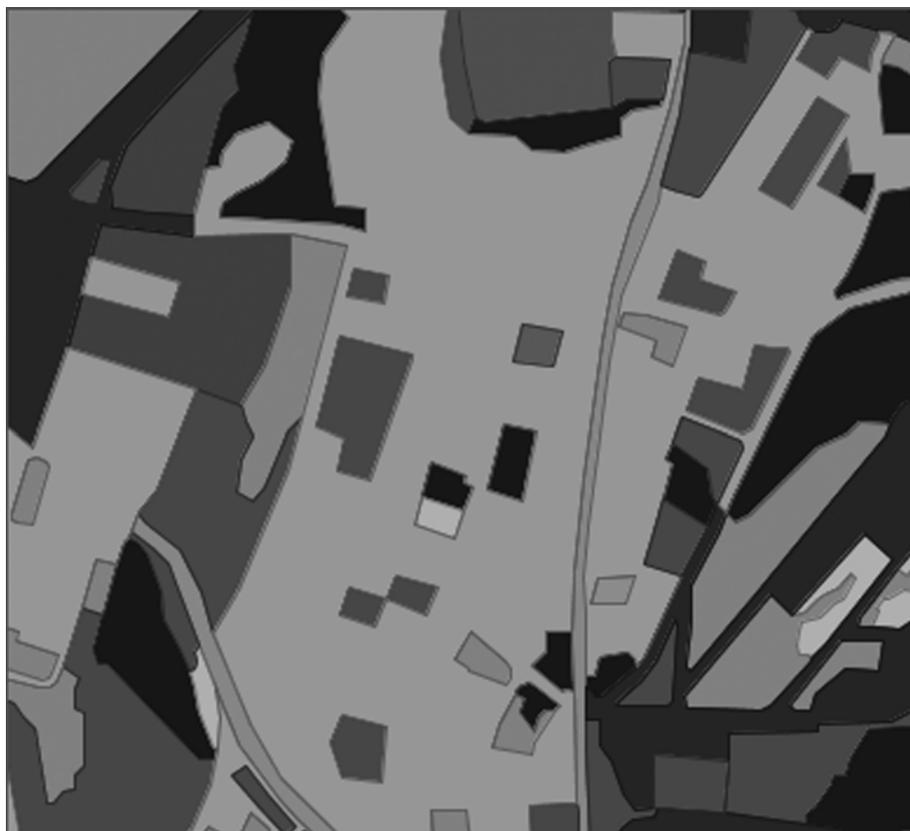
Recordad el apartado de datos cartográficos del módulo "Geodesia y cartografía", donde se trata este tema con más detalle.

Figura 9. Localización de los tres tipos de entidades: punto, línea y polígono en un modelo de datos vectorial



En la figura 10 vemos cómo quedan distribuidas algunas de las entidades en un SIG vectorial. Concretamente, son polígonos con información sobre el uso del suelo.

Figura 10. Distribución de los polígonos en un SIG vectorial

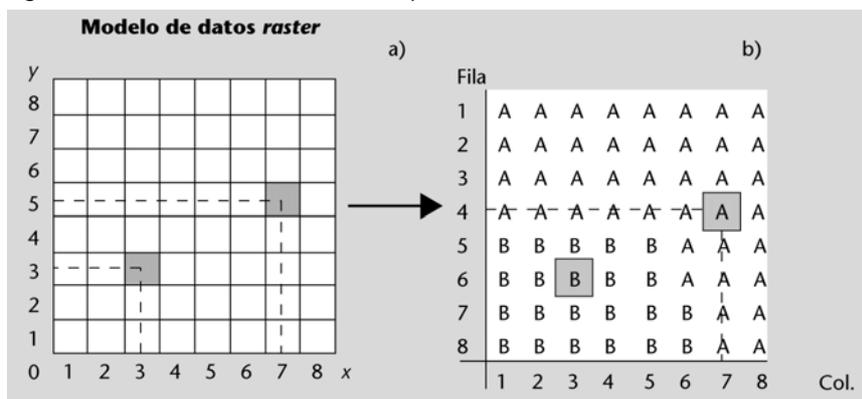


Fuente: elaboración propia

- **Modelo *raster*.** En la figura 11 vemos la representación de las entidades del mundo real mediante una malla regular de celdas. En este modelo la localización de los objetos se realiza en dos pasos y por medio de filas y columnas.
 - Paso 1: en la figura 11a podéis ver que primero se localiza la celda (o píxel) de interés mediante las coordenadas x e y .
 - Paso 2: en la figura 11b estos valores de coordenadas X e Y se traducen a una terna de números.

La celda o píxel es la mínima unidad en la que se descompone una imagen digital.

Figura 11. Proceso en la localización de objetos en el modelo de datos *raster*



La figura 11a representa la fase 1, que consiste en la localización del píxel mediante coordenadas X e Y . La figura 11b representa la fase 2, que consiste en la traducción de estos valores a número de filas y de columnas.
Fuente: elaboración propia

En la figura 12 también podéis ver cómo se representan las entidades mediante una malla regular de celdas en un *SIG raster*. Cada celda o píxel también aporta información sobre el uso del suelo.

Figura 12. Malla regular de celdas en un *SIG raster*



Muestra de una malla regular de celdas en un *SIG raster*. Cada celda contiene información asociada sobre un uso del suelo.
Fuente: elaboración propia

3.2.2. Las propiedades espaciales

Los elementos que representan la realidad tienen ciertas propiedades espaciales como son la longitud, la forma, la pendiente, la orientación, la superficie y el perímetro. Al mismo tiempo, estas propiedades también varían según si utilizamos un modelo vectorial o un modelo *raster*.

- Modelo vectorial.
 - Líneas: en el caso de las líneas, las propiedades espaciales de las líneas son la longitud, la forma, la pendiente y la orientación.
 - Polígonos: en el caso de los polígonos, se pueden identificar la superficie, el perímetro, la forma, la pendiente y la orientación.
 - Puntos: en el caso de los puntos, no presentan ninguna de las propiedades espaciales.
- Modelo *raster*.
 - Malla de celdas: en el caso del modelo *raster*, se forman conjuntos de celdas (llamadas *zonas*) que se pueden tratar como polígonos para analizar sus propiedades espaciales de la misma manera. Es decir: superficie, perímetro, forma, pendiente y orientación.

El sistema puede calcular algunas de estas propiedades automáticamente, como ocurre en el caso del perímetro y la superficie de los polígonos, y la longitud de una línea. El resto, sin embargo, debe calcularlas o indicarlas al usuario.

3.2.3. Las relaciones espaciales

Finalmente, el último aspecto que nos queda por explicar en relación con el componente espacial es el que también hemos introducido al principio de este apartado: las relaciones espaciales.

En este punto incluimos relaciones espaciales como la proximidad, la contigüidad, la conectividad, la inclusividad, etc. También se presentan entre diferentes objetos espaciales, pero no necesariamente deben almacenarse directamente en un SIG. Las hay que están explícitamente definidas en un SIG, otras se calculan cuando se requieren o sencillamente no están disponibles (Aronoff, 1989).

Relaciones espaciales

Proximidad es la cercanía en el espacio o en el tiempo.

La contigüidad es la cercanía entre ambas cosas.

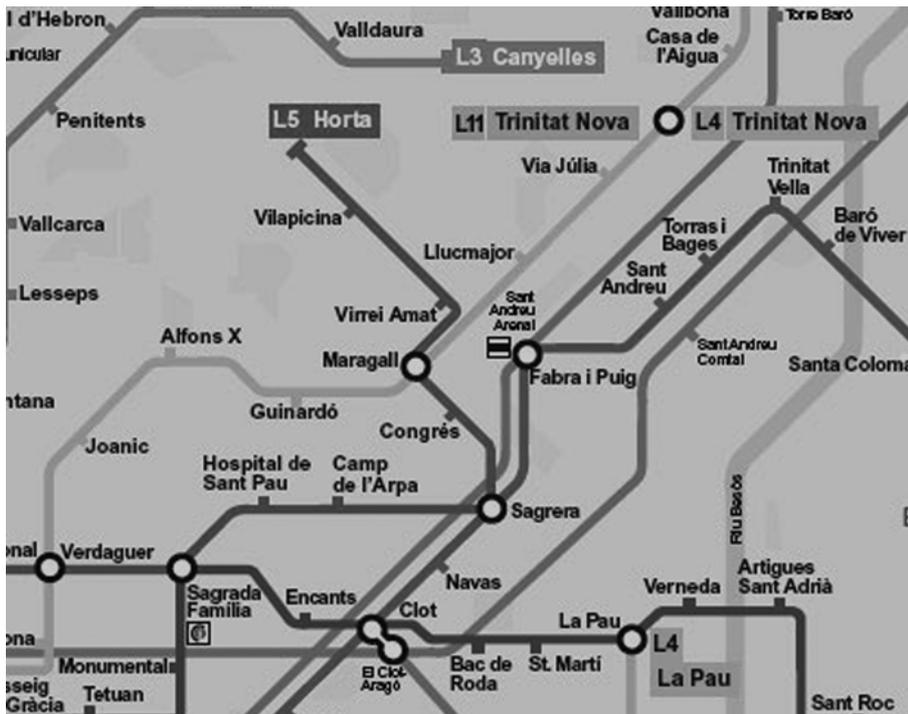
La conectividad es la cualidad de conexión.

La inclusividad es la cualidad de inclusión.

Ejemplo de relación espacial

Ponemos, por ejemplo, el mapa de la red de metro de Barcelona que vemos en la figura 13. Fijaos en que en la línea 4 la primera estación (o la última) es Trinitat Nova, la siguiente es Via Júlia, Lluçmajor, etc. En este caso, una relación espacial entre los “objetos estaciones” sería la de contigüidad: “La estación Via Júlia se encuentra entre las estaciones de Trinitat Nova y Lluçmajor”.

Figura 13. Parte del mapa de la red de metro de Barcelona



Este ejemplo también nos da pie a diferenciar dos tipos de relaciones espaciales:

- Las **relaciones topológicas**: son las de tipo cualitativo. Es decir, son relaciones que responden, por ejemplo, a la contigüidad (si dos polígonos son limítrofes), a la inclusión (si un polígono está contenido en el otro), a la conectividad (si dos líneas están conectadas), etc.
- Las **relaciones geométricas**: son de tipo cuantitativo y son las que se calculan a partir de las coordenadas de los objetos.

Recordad que las relaciones topológicas y geométricas se explican con más detalle en el módulo "Bases de datos geográficos".

Así, siguiendo con el ejemplo anterior de la red de metro de Barcelona, el mapa mantiene las relaciones de contigüidad (relación topológica) entre las estaciones o paradas, pero no las relaciones de proximidad (relación geométrica), ya que la distancia, así como las líneas y la localización entre las estaciones, no se corresponde con la realidad.

3.3. El componente temático

El componente temático se refiere a las características de los objetos presentados en un SIG utilizados para representar el mundo real. Estas características se conocen como los **atributos o variables** de una base de datos. De esta manera cada objeto que representamos registra un determinado valor para cada uno de los atributos.

Recordad que las bases de datos se explican con más detalle en el módulo "Bases de datos geográficos".

Ejemplos de atributos

En la tabla 1 podéis ver ejemplos de atributos (variables) relativos a diferentes objetos representados, como son algunas provincias de España. Así, tenemos que a un objeto dibujado como un polígono que representa la provincia de La Coruña le podemos asignar diferentes atributos con distinto valor, como son la superficie, el número de habitantes, la densidad de población y el puesto según densidad. A estos atributos los denominamos *características descriptivas de los elementos geométricos*.

Tabla 1. Ejemplo de atributos (o variables) asignados a diferentes objetos representados (provincias)

Provincia	Superficie (en km ²)	Núm. habitantes	Densidad de población (hab/km ²)	Puesto según densidad (mayor a menor)
Cádiz	7.440	1.194.062	160,5	2
La Coruña	7.951	1.129.141	142	3
Asturias	10.604	1.076.896	101,5	4
Valencia	10.776	2.463.592	228,6	1

La fuente de los datos asignados a la superficie, a número de habitantes y a densidad de población pertenecen al Instituto Nacional de Estadística, 2006 (<http://www.ine.es>).

Al mismo tiempo, los valores de cada atributo no presentan unas pautas de variación más o menos aleatorias, sino que es posible encontrar ciertas regularidades en su variación tanto espacial como temporal conocidas como autocorrelación espacial y autocorrelación temporal (Gutiérrez y Gould, 1994):

- La **autocorrelación espacial** es un principio básico en los SIG que establece que los valores temáticos tienden a ser más semejantes entre objetos próximos en el espacio que entre objetos situados lejos unos de otros.

La primera ley de la geografía enunciada por W. Tobler (1970) establece que todos los objetos de la superficie terrestre están relacionados entre sí, de manera que las similitudes son más intensas en lugares próximos que en lugares lejanos.

- **La autocorrelación temporal** es un principio básico dado tanto en los SIG como también en otras disciplinas, que viene a definir un concepto equivalente a lo que hemos visto con la autocorrelación espacial: los datos próximos en el tiempo tienden a ser más semejantes entre sí que los más alejados. De la misma manera que en la variable espacial, los cambios en la variable temporal son graduales a medida que nos alejamos del punto de inicio o de referencia.

3.3.1. Tipo de variables (atributos)

Los atributos que constituyen la información temática de los objetos representados pueden ser de diferente tipo y afectan directamente a la generación de mapas y al tipo de análisis que se utilizará. En otras palabras, el usuario tiene que conocer el tipo de información con el que trabaja para realizar un análisis o mapa concreto. Las variables pueden ser:

- discretas y continuas,
- fundamentales y derivadas.

Variables discretas y continuas

Según los valores que presentan las variables, éstas pueden ser discretas o continuas:

- Las variables discretas son aquéllas cuyo valor no puede ser un número decimal sino un número entero.
- Las variables continuas son aquellas que presentan un rango de valores comprendido entre dos valores dados; es decir, que se aceptan números decimales.

Ejemplo de variables discretas y continuas

En la fila "Variables según los valores tomados" de la tabla 2, podéis ver la clasificación de las variables que contiene la tabla 1. Vemos que la variable superficie es continua porque podemos presentar todos los valores que están comprendidos entre, por ejemplo, 6.000 y 7.000 km² de superficie. Podemos decir 6.500 km² o bien 6.492,3 km².

Tabla 2. Ejemplo de los tipos de variables y escalas que contiene la tabla 1

Provincia	Superficie (en km ²)	Núm. habitantes	Densidad de población	Puesto según densidad
Variables según los valores tomados	Continua	Discreta	Continua	Discreta
Variables según el proceso de elaboración	Fundamental	Fundamental	Derivada	Derivada
Escala de medición	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Ordinal

Fuente: elaboración propia

Por otra parte, si nos volvemos a fijar en la tabla 2, la variable número de habitantes diremos que es discreta porque el número resultante debe ser siempre entero. No podemos tener un valor de 40.749,5 habitantes.

Las variables discretas son números enteros y, por lo tanto, requieren menos memoria de almacenamiento en el sistema, mientras que las variables continuas, al ser números decimales, ocupan más memoria en el sistema.

Variables fundamentales y derivadas

A diferencia de las variables anteriores, que se distinguían según la naturaleza matemática de sus valores, están las variables fundamentales y derivadas, que se distinguen por la elaboración de los valores obtenidos.

Las variables fundamentales son las generadas directamente por el proceso de medición (Gutiérrez y Gould, 1994), como las que se podrían tomar directamente en el territorio de estudio: *in situ*.

Las variables derivadas son el producto de alguna operación aritmética entre dos o más variables fundamentales (Bosque, 1997).

Ejemplo de variables fundamentales y derivadas

Si volvéis a mirar la tabla 2, podréis ver, en la fila "Variables según el proceso de elaboración", que la superficie y el número de habitantes de una provincia son variables fundamentales, son mediciones directas, porque no son valores obtenidos a partir de otros valores ya previos. En cambio, la variable densidad de población, por ejemplo, es una variable derivada, porque el valor obtenido ha sido el resultado de dividir el número de habitantes entre la superficie de una provincia.

A la hora de trabajar en un SIG es importante señalar algunos aspectos relacionados con los tipos de variables.

Por ejemplo, al cargar una base de datos no es necesario que carguemos toda la información de la que disponemos, ya que, si cargamos sólo las variables fundamentales, después podemos obtener las derivadas tan sólo realizando unos simples cálculos dentro del sistema.

3.3.2. Escala de medición

Las escalas de medición se refieren a la calidad que presenta el objeto observado o representado. La información que constituye el componente temático puede medirse en cuatro escalas diferentes: nominal, ordinal, de intervalo y de razón.

Escala nominal

En el caso de la escala nominal, los valores se miden simplemente por una diferenciación que se podría entender como "igual/diferente que...". No se trabaja con valores numéricos sino que, como su propio nombre indica (nominal), se trabaja propiamente con nombres. Así pues, la unidad de medida responde a un nombre y todos los valores que tengan el mismo nombre se juntarán o pertenecerán a la misma categoría.

Ejemplo de escala nominal

Si en la tabla 1, por ejemplo, añadimos el campo "Municipios", tendremos unos polígonos que representarían los municipios que estarían dentro del polígono "provincia". Veríamos, por ejemplo, que los municipios de Jerez de la Frontera, Puerto Real, Chipiona, etc., pertenecen a la misma provincia (o categoría), en este caso la de Cádiz. En la figura 14 vemos un polígono que representa la provincia de Cádiz y, en la imagen ampliada que sigue, vemos los polígonos que representan los municipios.

Figura 14. Representación poligonal de la provincia de Cádiz



Mapa de provincias de España donde destacamos el polígono que representa la provincia de Cádiz. A la derecha, una ampliación del polígono-provincia donde observamos polígonos más pequeños que representan sus municipios.
Fuente: elaboración propia a partir de las imágenes encontradas en <http://www.luventicus.org/mapas/espanaprovincias/cadiz.gif> y <http://www.andy21.com/spain/img/provinciacadiz.gif>

También puede tenerse en cuenta que, por razones generalmente informáticas, es frecuente asignar números a los valores nominales (recordad que hemos mencionado que se trabaja con nombres). Estos valores suelen utilizarse como **claves primarias**. Por ejemplo, podemos llamar 1 al municipio Jerez de la Frontera, 2 al municipio de Chipiona, y así sucesivamente con todos los municipios de la misma provincia. No tiene sentido sumar estos valores numéricos, porque el resultado no tendría ningún significado.

Escala ordinal

La escala ordinal se diferencia de la nominal en el hecho de que, además de mantener la diferenciación "igual/diferente que", también se establece una jerarquización, un orden entre los diferentes objetos espaciales. Es, por ejemplo, lo que podemos ver en la tabla 1, donde la variable "Puesto según densidad de población" tiene un valor diferente para cada provincia y, además, ordena las provincias en una lista de mayor a menor densidad de población (podéis ver los valores en la tabla 1 y la escala de medición en la tabla 2).

Escala de intervalo

La escala de intervalo es la diferencia con respecto a un valor que se toma como referencia. En este caso, vemos que, además de una diferenciación y jerarquización, también ofrece la opción de saber otro valor.

Ejemplo de escala de intervalo

En la tabla 1, la densidad de población está expresada en escala de intervalo: no sólo sabemos que Valencia tiene más densidad de población que Asturias, sino que además podemos saber (o medir) esta diferencia, que es de 127,1 habitantes por km^2 ($228,6 - 101,5 = 127,1$).

Escala de razón

En cuanto a la escala de razón, existe una cierta controversia: podéis encontrar que algunos autores tratan la escala de razón (o proporción en este caso) como una variación de la escala de intervalo y, por lo tanto, dentro de esta misma (Gutiérrez y Gould, 1994); o bien os podéis encontrar con otros autores que la tratan como una nueva escala de medición considerada aparte, igual que la nominal, ordinal e intervalo (Bosque, 1997).

La cuestión es que, independientemente de que se clasifique aparte o no, lo que la diferencia de las otras escalas es que, además de mantener las relaciones anteriores mencionadas –diferenciación (igual/diferente), jerarquización (mayor/menor) y medición–, hay que añadir la particularidad de que la medición de dos valores cualesquiera es independiente de la unidad de medida.

Ejemplo de escala de razón

Continuando con el ejemplo anterior mencionado en la escala de intervalo, vemos que la diferencia de la densidad de población entre Valencia y Asturias es de 127,1 habitantes por km^2 . En cambio, en escala de razón podríamos decir que Asturias tiene aproximadamente la mitad de la densidad de población de Valencia. Es decir, también hemos medido la diferencia pero en este caso hemos cambiado la unidad de medida. Por este motivo esta escala también se conoce como **escala de proporción**.

3.4. El componente temporal

Una vez visto el componente espacial, entendido como el receptáculo que recibe la información, y el componente temático, entendido como forma de medir los atributos de los objetos representados, sólo nos queda ver el tercer y último componente de los datos geográficos: el componente temporal, entendido como la manera de expresar los fenómenos geográficos de manera dinámica a lo largo del tiempo.

El componente temporal está intrínsecamente relacionado con los componentes espacial y temático. De esta manera, en un periodo de tiempo establecido para una zona territorial concreta, podremos analizar y observar los cambios de las unidades espaciales representadas (componente espacial), así como las nuevas características que presentan estas unidades espaciales (componente temático).

Ponemos, por ejemplo, los usos del suelo de un territorio. Si cogemos como mínimo dos mapas de usos del suelo de una misma zona pero de diferentes años, podemos observar cómo los diferentes polígonos de color que forman los mapas han ido cambiando el tamaño y la forma (cambio en el componente espacial), así como también el color (cambio temático).

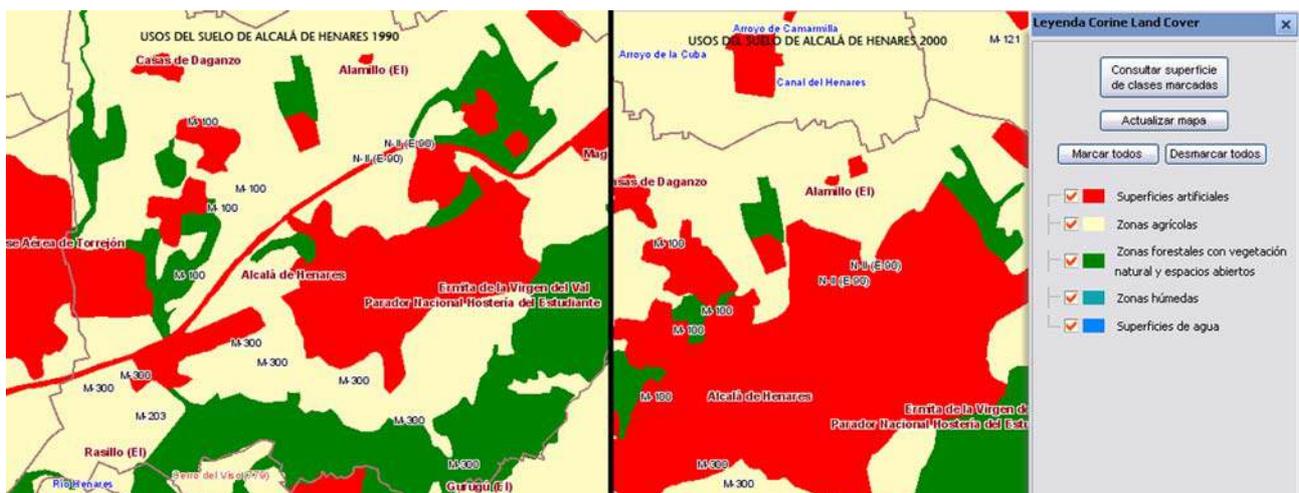
Ejemplo de componente temporal

En la figura 15 podemos observar el caso de los usos del suelo de Alcalá de Henares (Madrid) para los años 1990 y 2000. A simple vista, observamos que el polígono gris mayor (superficies artificiales) ha crecido notablemente gracias a la anexión o recalificación de zonas agrícolas limítrofes. Por lo tanto, viendo este ejemplo podemos afirmar que ha habido un cambio espacial y temático: las superficies artificiales han crecido y eso ha repercutido en la disminución de las zonas agrícolas.

Superficies artificiales

Las superficies artificiales se refieren al suelo urbano, industrial y a las infraestructuras viarias.

Figura 15. Mapa de usos del suelo de los años 1990 y 2000 para la zona de Alcalá de Henares (Madrid)



En la imagen se observa un crecimiento de las unidades espaciales (usos del suelo), así como cambios temáticos relativos a las superficies artificiales y superficie agrícola en un periodo de tiempo de diez años. Proyecto Corine Land Cover. Fuente: <http://www.idee.es>

Ahora ya podemos asociar el componente temporal a la idea del cambio. Pero ¿el transcurso del tiempo siempre lleva asociado un cambio espacial y temático?

Supongamos, por ejemplo, una parcela de terreno de un municipio que a lo largo del tiempo no presenta modificaciones espaciales, no se ha ampliado ni disminuido la superficie, pero ha pasado de ser una zona de matorral a una zona agrícola. No hay cambios espaciales pero sí temáticos. También podríamos encontrarnos que, al cabo de un periodo largo de tiempo, la parcela hubiera aumentado su área sin cambiar el uso del suelo. Es decir, se hubiera incrementado la zona de matorral y, por lo tanto, la parcela hubiera cambiado espacialmente pero no temáticamente.

De todos modos, lo habitual es que durante un periodo de tiempo podamos justificar cambios importantes en un territorio, y así poder entender los procesos que han intervenido en éste. Eso no es ninguna novedad ya que, como podéis intuir, el mundo real actual se explica a partir de los procesos espacio-temporales del pasado. Es a lo que se referían los geógrafos clásicos franceses cuando decían que "la historia explica el presente".

A continuación vamos a exponer las formas de representación del componente temporal.

3.4.1. Representación de los procesos espaciotemporales

Una de las formas más comunes de representación de los procesos espaciotemporales se realiza mediante mapas. Las formas más conocidas de representar estos procesos son las siguientes:

- **Secuencia de mapas o mapas de diferencias temporales.** Se trata de comparar dos mapas (o más) de la misma área pero en periodos de tiempo diferentes (figura 15). También puede aplicarse a otros estudios que no sean de usos del suelo como, por ejemplo, estudios para comparar la precipitación anual entre ciertos años.
- **Mapa animado.** Trata de incorporar un número elevado de mapas de una misma área en un periodo de tiempo determinado. De esta manera permite visualizar los cambios espaciales de una manera continua en el tiempo.

Como ya apuntábamos al principio de este apartado, es muy importante conocer la naturaleza de los datos que maneja un SIG. Los datos geográficos se ocupan de describir y explicar las distribuciones espaciales, es decir, la frecuencia con la que ocurre algo sobre el espacio (Martin, 1991).

Web recomendada

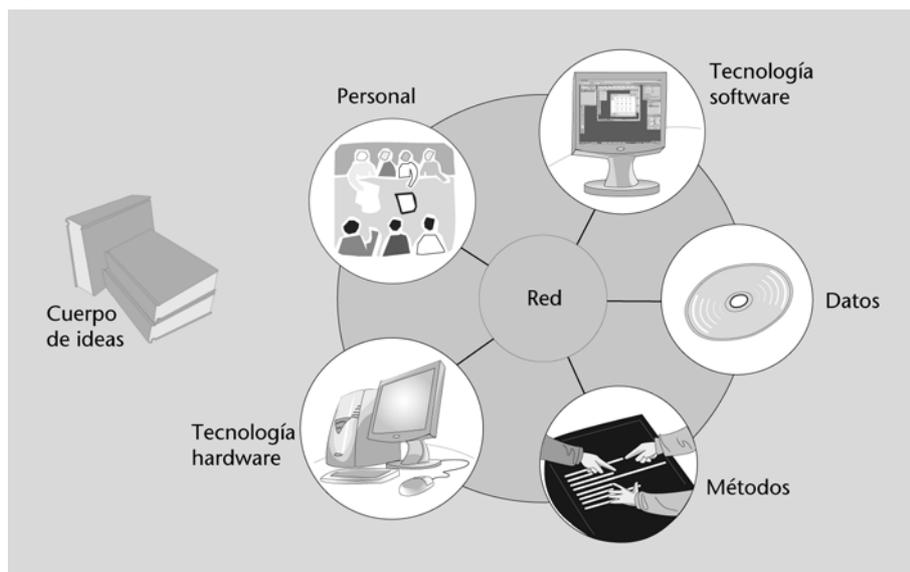
Para ver mapas dinámicos, podéis dirigirlos a la web del atlas nacional de los Estados Unidos. Por ejemplo: <http://nationalatlas.gov/dynamic.html>

4. Componentes de los sistemas de información geográfica

Después de habernos dedicado a la identificación de los diferentes tipos de SIG y las diferentes naturalezas de datos que utilizan, nos sumergiremos en los diferentes componentes que forman un SIG.

Normalmente se tiende a identificar los SIG con el programa informático preparado para trabajar con datos georreferenciados, pero, como ya hemos visto en los apartados 1 y 2 de este módulo, un SIG no sólo es un software instalado en un ordenador sino que es un conjunto de componentes: tecnológicos (programas y equipos, es decir, software y hardware), datos, métodos, personal cualificado, ideas y red sin los cuales no sería posible su existencia (figura 16).

Figura 16. Componentes de un SIG



Fuente: adaptado de Longley y otros, 2005

Si pensáis en eso detenidamente, cualquier uso de un SIG tiene que incluir, necesariamente, cada uno de estos componentes. No son componentes de un campo de aprendizaje, sino del proceso de diseño, creación y manejo de un SIG. Precisamente por este motivo en nuestro proceso de aprendizaje sobre los SIG trataremos detenidamente cada uno de estos temas, aplicaremos técnicas o métodos, y adquiriremos conocimientos sobre cada una de estas seis áreas de estudio.

La tecnología por sí misma (software y hardware) no sirve de nada si no tenemos o disponemos de datos para la recopilación, almacenamiento y análisis de la información: diríamos que el SIG está "vacío". En caso de que dispongamos de la tecnología y los datos necesarios, también nos hace falta un personal con cierto perfil técnico para llevar a cabo la resolución del proyecto. Para eso se requiere personal cualificado y familiarizado con estas herramientas y, además, con cono-

cimientos de la temática de estudio (cuerpo de ideas). En otras palabras, se requiere personal familiarizado con el conjunto de conocimientos, técnicas y procesos que determinan el avance, el desarrollo y el uso de los SIG.

No sólo es necesario contar con estos seis elementos sino que, además, debe haber un equilibrio entre ellos. Si, por ejemplo, tenemos un software y un hardware excelentes, pero los datos o el personal especializado son mediocres, el resultado global será un SIG mediocre (Gutiérrez y Gould, 1994).

A continuación vamos a abordar cada componente en particular.

4.1. Tecnología (software y hardware)

La tecnología es un componente del SIG que puede definirse como el software y el hardware.

Eso incluye un conjunto de procesos que son la base de un **software** SIG y que consisten en una serie de algoritmos que sirven para acceder, presentar, analizar y sintetizar los datos almacenados en la base de datos, en función de sus atributos espaciales y también no espaciales. Relacionados con este software, hay otros para gestionar datos, para extraer información de una base de datos, para visualizar los datos y para llevar a cabo otras funciones, como la importación y exportación de los datos. Estos programas habitualmente están integrados en el sistema operativo y se usan junto con otras aplicaciones en una misma sesión de ordenador.



Recordad que el componente temático se trató en el subapartado 3.3 de este módulo.

Para su correcto funcionamiento, la tecnología necesita:

- herramientas para la entrada y la manipulación de información geográfica;
- un sistema de administración de datos (DBMS, *data base management system*, 'sistema de gestión de bases de datos');
- herramientas que soporten consultas, análisis y visualización de elementos geográficos;
- una interfaz gráfica de usuario que facilite el acceso a las herramientas mencionadas anteriormente.

Actualmente, la mayor parte de los proveedores de software SIG distribuyen productos fáciles de usar y pueden reconocer información geográfica estructurada en distintos formatos.

Existe una gran variedad de programas SIG en el mercado, y también fuera de él, que desarrollan una gran cantidad de funciones que pueden ser útiles según



Para saber más sobre el software SIG, podéis ver el apartado 7 de este módulo.

el tipo de análisis que estemos realizando. Es aquí donde el personal cualificado debe saber escoger qué tipo de software necesita para llevar a cabo el proyecto. No todos los **programas SIG** son iguales y no todos trabajan de la misma manera, pero para empezar podemos englobarlos en dos grandes familias en función de la representación de los datos geográficos: *raster* y *vectorial*.

El **hardware** se centra en la plataforma informática y tiene dispositivos periféricos de entrada y salida. Eso incluye aparatos de lectura convencionales que permiten la transferencia de archivos, así como los mecanismos de red, junto con aparatos de salida, como por ejemplo las impresoras. Además, incluye dispositivos específicos utilizados ampliamente en aplicaciones SIG que sirven para la entrada y salida de mapas tanto en formato digital como en formato analógico.

4.2. Ideas

El cuerpo de ideas es el conjunto de conocimientos que hacen progresar y desarrollar el uso de los SIG. Dentro del cuerpo de ideas que hay detrás del desarrollo del hardware, debemos considerar la ingeniería, las matemáticas y la física. Con respecto al software, hemos de considerar la geomática, los algoritmos para el procesamiento de datos, las bases de datos y el análisis espacial, entre otras cosas. Detrás de la cuestión de organización, están las teorías de gestión, el diseño de sistemas, el comercio, la sociología, la psicología, la psicofísica, la ergonomía... Los métodos se basan en el cuerpo teórico de distintas ramas de la ciencia como la sociología, la gestión, el comercio, etc.

4.3. Personal

Un SIG sólo tiene sentido en el contexto de una organización. La organización está formada por una gran variedad de componentes pero nosotros la definimos como el conjunto de objetivos, procesos, gestión, operadores y **personal**. Eso responde a lo que comentábamos en la introducción de este apartado 4, donde apuntábamos la importancia de personal cualificado para trabajar con estas herramientas.

Antes de definir el SIG de una organización, debemos prestar especial atención al proceso de gestión, a los operadores y al personal, ya que todos estos factores tienen una repercusión directa sobre el sistema que queremos diseñar, cómo lo vamos a implantar y los mecanismos de control que deberían seguirse.

4.4. Red

La red se considera recientemente un componente fundamental de los SIG, ya que permite la comunicación y compartir información de manera rápida y efi-



Recordad los datos geográficos *raster* y *vectoriales* explicados en el módulo "Geodesia y cartografía".

Geomática

La geomática es el conjunto de ciencias en el que se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica. La geomática también se conoce por el término *geoespacial*.

caz. Los SIG aparecen con fuerza en las redes, tanto en Internet como en las intranets de las organizaciones.

A medida que Internet se convierte día a día en un canal de comunicación más importante y ofrece más posibilidades para transmitir y recibir todo tipo de información, los SIG también se van adaptando a este desarrollo. Eso significa que para los usuarios de información geográfica, que hasta hace poco tenían problemas para trabajar o bien recabar buenos datos, se abren nuevas vías de información para poder obtener y comparar la nueva información proveniente de Internet.

Si, por ejemplo, aplicamos las ventajas de las redes de comunicaciones en el campo de la geografía, se obtienen numerosas ventajas al poder visualizar, consultar y analizar información espacial sin necesidad de instalar programas o de bajar grandes cantidades de datos.

La relación de la IG con Internet ha evolucionado rápidamente en pocos años y ha dado lugar a gran variedad de aplicaciones, algunas con el objetivo de disseminar o difundir información, para vender productos, para facilitar la participación ciudadana en debates, etc. Además, Internet está siendo muy útil en la distribución de software y aplicaciones SIG, así como para la distribución de datos geográficos mediante los llamados *geoportales*.

Ejemplos de geoportales

Las infraestructuras de datos espaciales son un buen ejemplo de geoportales de datos geográficos. Podéis ver, por ejemplo, el geoportal de infraestructura de datos espaciales de España en <http://www.idee.es>.

4.5. Datos

Como ya hemos explicado ampliamente en el apartado 3, los datos son la parte del SIG mediante la cual representamos la realidad y, a su vez, nos permiten relacionarla con situaciones y aplicaciones específicas.

Para que un SIG funcione, debemos implicarnos en procesos (que pueden ser complejos) de transferencia y acceso a los datos. Eso conlleva que debemos mantener y asegurar la calidad de los datos almacenados en la base de datos y considerar la relación que hay entre los datos, la tecnología y los métodos.

Una vez identificados los objetos del modelo del mundo real, con los datos se identifican las propiedades que lo forman mediante sus atributos o elementos descriptivos, el tipo de geometría y el elemento espacial.

Los principales componentes del sistema de información relacionados con los datos son los de entrada de datos, las bases de datos espaciales y no espaciales y los sistemas de control de calidad. En este punto, cabe destacar que, además de las entidades puramente tecnológicas, también interviene el factor humano.



Sobre el componente espacial, temático y temporal, repasad el apartado 3 de este módulo.

4.6. Métodos

Los métodos son procedimientos independientes o normas para llevar a cabo diferentes tareas relacionadas con el diseño, creación y funcionamiento de los SIG.

Hay métodos específicos para el análisis espacial, la manipulación de datos, el diseño de una base de datos, el análisis de las necesidades de los usuarios, la interpretación de mapas, etc. Cada proceso tiene un método y éste es el que determina el procedimiento lógico y las especificaciones de cada acción.

El método tiene la finalidad de establecer la estructura de un SIG y, en concordancia con ésta, implementar aplicaciones que faciliten la toma de decisiones. Es el método lo que determina la calidad del resultado obtenido o de la acción que hemos llevado a cabo. Por eso, el método es la clave de todo en las operaciones SIG y, entre otras cosas, será lo que determine el éxito o fracaso del proyecto.



En el subapartado 6.2.1 pondremos un ejemplo de método para llevar a cabo un proyecto SIG.

5. Funciones y funcionamiento de los sistemas de información geográfica

Los programas SIG tienen una serie de funciones diseñadas para la gestión de información geográfica como son la entrada de datos (la creación de nuevos datos o el paso de información analógica a información digital), el almacenamiento, la recuperación, el análisis y la consulta de datos (para la creación de bases de datos, topología, consultas gráficas, alfanuméricas, combinadas, superposición de planos e información) y, finalmente, las salidas de datos (impresión de informes, graficación de planos y publicación en varios formatos electrónicos).

Más adelante estudiaremos el funcionamiento de un SIG y veremos cómo las funciones previamente estudiadas adquieren un sentido lógico, que va desde detectar un problema en el territorio hasta encontrar una solución mediante un SIG. En este proceso prestaremos una atención especial al criterio de **generalización**, uno de los aspectos básicos en el funcionamiento de un SIG. De eso dependerá el resultado que visualizaremos al final del proyecto y, por lo tanto, de la información que queramos transmitir.



Recordad que el concepto de *generalización* se trata en el módulo "Geodesia y cartografía".

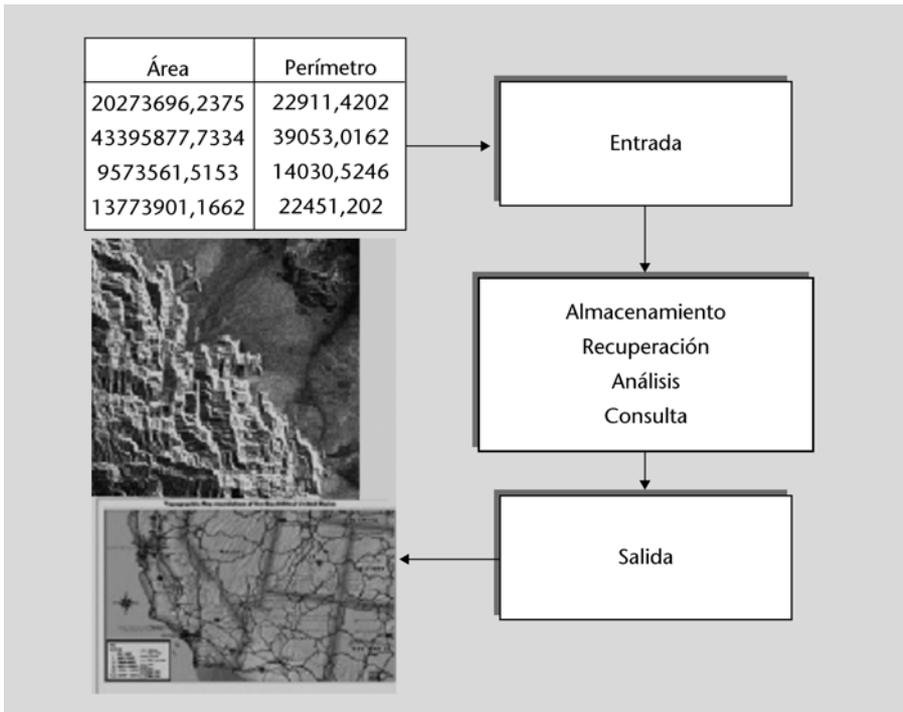
5.1. Funciones de los sistemas de información geográfica

Es muy importante que el usuario que trabaja en SIG conozca los componentes y las funcionalidades para poder planificar el trabajo. Dependiendo del tipo de proyecto SIG, destacaremos y necesitaremos ciertos componentes para que ejerzan las funciones requeridas para el resultado del proyecto de una manera eficiente, rápida y clara. Además, si hablamos en términos económicos, muy habituales en entidades públicas y privadas, aparte de ser eficiente, rápido y de calidad, tendría que ser a un coste lo más reducido posible.

Así, si nosotros tenemos claro lo que vamos a necesitar para la resolución de un proyecto SIG, nos evitaremos entrar en la duda que supone consultar, por ejemplo, un distribuidor de software, que se centrará en las funcionalidades de su paquete SIG y no en nuestras necesidades; o bien consultar con un comercial de hardware y/o software, que quizás intentará vendernos el equipamiento más caro.

Las funciones de un SIG son las que vemos en la figura 17 y desarrollaremos a continuación: entrada de datos, almacenamiento, recuperación, análisis y consulta y salida de datos.

Figura 17. Esquema de las funciones de un sistema de información geográfica



Fuente: elaboración propia

5.1.1. Entrada de datos

Para trabajar con información, primero necesitamos recogerla. Según el modo de recogida diferenciamos dos tipos de datos:

- Datos primarios.** Los datos primarios son aquellos que genera un individuo u organización con la finalidad principal de usarlos ellos mismos. Normalmente, han sido adquiridos siguiendo unas especificaciones (escala y resolución, clasificaciones y niveles de agregación, etc.). Los datos primarios requieren trabajos intensos de recogida y conversión. Por eso, generalmente tienen más calidad para las aplicaciones específicas, pero también conllevan más costes de producción. Por ejemplo, cuando digitalizamos los ríos, calles, carreteras, etc. de un mapa en papel para utilizarlos posteriormente en nuestro proyecto.
- Datos secundarios.** Los datos secundarios son datos obtenidos mediante distribuidores externos. Afortunadamente, el número de bases de datos digitales disponibles ha aumentado en los últimos años. Una manera eficiente de implementar un SIG es limitar, desde un principio, la cantidad de tiempo y dinero necesario para desarrollar las bases de datos. Por otra parte, podemos obtener los datos por medio de servicios de distribución de modelos digitales de elevación, ortofotomapas, imágenes digitales, mapas temáticos, etc. de manera relativamente sencilla y poco costosa. El problema principal de trabajar con datos secundarios es que normalmente se distribuyen en un formato, y eso puede comportar tareas de conversión de formato.

! Sobre los datos primarios y secundarios, repasad el subapartado 2.4.2 del módulo "Geodesia y cartografía".

Ejemplo de datos secundarios

Un ejemplo de datos secundarios sería cuando nos bajamos la capa de carreteras secundarias desde el Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC), en vez de digitalizarlos y crearlos nosotros mismos.

La mayor parte de las operaciones SIG requieren combinar los dos tipos de fuentes –de datos primarios y de datos secundarios–, así como adquirir datos digitales y analógicos en diferentes escalas y proyecciones y en diferentes formatos. Tendremos que convertir esos datos a modelos y estructuras compatibles con nuestro paquete SIG. Ello nos permitirá almacenar, editar, recuperar, analizar y extraer todos esos datos, independientemente de su origen (Demers, 2001).

Para realizar las tareas de adquisición de datos, hay diferentes dispositivos. Podemos convertir, por ejemplo, un mapa en formato papel en digital mediante la digitalización manual, o podemos automatizar este proceso mediante el escaneo de las hojas enteras del mapa. Además, podemos adquirir datos espaciales y sus atributos mediante aparatos móviles equipados con receptor GPS. Los dispositivos de captura de datos geográficos más utilizados son los que podemos ver en la figura 18; de izquierda a derecha: PDA (*personal digital assistant*, ‘asistente digital personal’), escáner y mesa digitalizadora.

Figura 18. Dispositivos de entrada de datos: PDA con receptor GPS, escáner y mesa digitalizadora



Fuentes: <http://www.cmtinc.com>, <http://www.suu.edu>, <http://www.advancedgis.ca>

En los datos obtenidos o capturados mediante un dispositivo PDA o equivalente con receptor GPS integrado, la posición y la extensión de las entidades son representadas como puntos, líneas o polígonos. Podemos introducir estos elementos directamente en el SIG, o bien utilizarlos para generar un mapa analógico. Además, a la vez que entramos los datos de posición de las entidades, también podemos introducir información de los atributos con el teclado de nuestro PC, uno de los dispositivos de entrada de datos más comunes y utilizados más a menudo.

Hace unos años era muy frecuente que los datos introducidos en un SIG provinieran de la digitalización de mapas en soporte analógico o papel mediante mesas digitalizadoras. Este dispositivo de entrada se utiliza cada vez menos y su uso prácticamente se reduce a organizaciones o instituciones poseedoras de muchos mapas en formato papel y que pretenden transformarlos en documentos digitales. Generalmente, se utiliza este dispositivo de entrada cuando

PDA

Una PDA o *asistent digital personal* funciona como un ordenador doméstico con herramientas geográficas como el GPS añadidas.

Mesa digitalizadora

Una mesa digitalizadora es un instrumento que dispone de una superficie sensible para localizar puntos con gran precisión. Se utiliza, por ejemplo, para pasar a digital las entidades del mapa en papel.

Modelo digital del terreno

Un modelo digital del terreno es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable concreta: la altura.

se quiere transformar documentos en papel de gran tamaño (como antiguos mapas de planeamiento urbano o mapas catastrales) a un formato digital.

La mesa digitalizadora (que puede presentar diferentes tamaños) dispone de una superficie sensible en la cual podemos localizar puntos con gran precisión. Pero esta situación ha ido cambiando a raíz de la eclosión y crecimiento casi exponencial del acceso a los datos (imágenes, mapas, capas de información, etc.) en formato digital. Es decir, cada vez más, los datos que introducimos en un SIG ya están en formato digital (o bien en un formato de imagen o bien en un formato nativo de cualquier SIG del mercado), con lo cual nos ahorramos la tediosa tarea de digitalizar grandes volúmenes de información, muchas veces de carácter general.

El escáner es otro dispositivo de entrada de datos. La calidad de los datos que nos ofrezca dependerá en buena medida de la calidad de los datos en origen (que el documento que se vaya a escanear sea nítido, no presente arrugas o deformaciones que puedan producir sombras o pérdidas relativas de información), de la resolución de la imagen de salida (tamaño del píxel o de cada una de las celdas que acabará formando la imagen), etc.

Digitalizar manualmente a partir de un mapa de papel mediante mesas digitalizadoras o digitalizar en pantalla puede consumir mucho tiempo y, por lo tanto, puede resultar muy caro. Por otra parte, escanear un mapa es un mecanismo rápido, pero implica un proceso posterior de transformación de los datos durante el cual se pueden producir errores en la geometría de los objetos. Estos errores deberán depurarse manualmente, tarea que también puede comportar una gran cantidad de tiempo. Por ello, aunque *a priori* la digitalización sobre pantalla puede requerir más horas de trabajo, tenemos la ventaja de que en todo momento controlamos los posibles errores que cometemos y, en consecuencia, el trabajo de depuración de la capa de la geometría y de los atributos de la base de datos es mucho menor.

5.1.2. Almacenamiento, recuperación, análisis y consulta

En los procesos de captura se generan gran cantidad de datos espaciales que hay que almacenar de alguna manera. Nos interesará guardar datos sobre los objetos geográficos: la geometría, los atributos y los métodos de acceso para poder recuperarlos posteriormente.

La información geográfica requiere grandes capacidades de almacenamiento de datos. Una vez almacenadas en el SIG, normalmente el usuario estará interesado en llevar a cabo diferentes operaciones de recuperación y análisis de los datos.

Normalmente, hay disponibles conjuntos de módulos de aplicaciones de programas que contienen las herramientas genéricas que un analista espacial pue-

de usar para el tratamiento y el análisis de los datos geográficos, entre los cuales se incluyen funciones de procesamiento tales como recuperación, medición de áreas o perímetros, superposición de capas de información, álgebra de mapas o reclasificación de datos. Las funciones proporcionadas dependerán del paquete de software SIG que se utilice (Queen y otros, 1993).

El módulo de análisis espacial es uno de los componentes principales de un SIG. El análisis espacial puede revelar cosas que de lo contrario serían invisibles, haciendo explícito lo que es implícito. Es lo que quiere decir añadir valor a los datos geográficos y transformar los datos en información.

El análisis espacial efectivo requiere diferentes componentes SIG, pero sin duda hacen falta las dos cosas: un usuario inteligente y un ordenador potente (Longley y otros, 2001).

5.1.3. Salida de los datos

El proceso de salida consiste en transferir los datos, imágenes o mapas que contiene un SIG a otro medio o soporte. Esta operación no implica necesariamente ningún proceso de conversión de datos para transformarlos del formato original al formato receptor.

Mediante un SIG, podemos representar los datos almacenados a partir de una serie de criterios que deben permitir visualizar la información en función de nuestros objetivos. Estos criterios pueden establecerse a partir de las capas de información, la simbología o el fenómeno que queremos representar.

Tal como ya hemos explicado en el módulo "Geodesia y cartografía", serán los técnicos de la gestión de la cartografía final los que se encarguen de seleccionar los datos que se visualizarán y escoger cómo aparecerán en pantalla. Todos los SIG tienen una caja de herramientas, que constituye un elemento interesante y muy útil y que puede ser más o menos compleja y más o menos numerosa según el tipo de SIG. Con estas herramientas se puede controlar la información que interesa que vea al usuario y, lo que es más importante, cómo interesa que la vea.

Os recordamos que un mapa no es un algo neutro, sino, al contrario, con él se puede hacer que los elementos parezcan una cosa u otra. Pueden representarse fenómenos, actividades u otros elementos en el territorio con una determinada intencionalidad como, por ejemplo, la red de carreteras de los Estados Unidos que aparece en la figura 19 o bien, continuando con el ejemplo de los Estados Unidos, la localización de antenas *wireless* comerciales del país, tal como vemos en la figura 20.

Lecturas recomendadas

Para ampliar información, os aconsejamos que consultéis las siguientes obras:

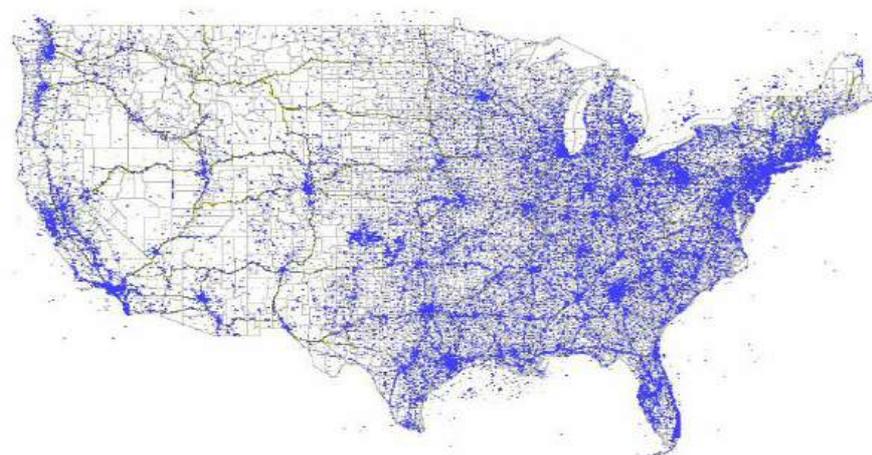
M. Monmonier (1996). *How to lie with maps*. Chicago / Londres: The University of Chicago Press.

D. Wood (1998). *The power of maps*.

Figura 19. Mapa de la red de las carreteras de los Estados Unidos con más circulación de camiones



Representación de las carreteras donde circulan más cantidad de camiones. Las líneas más gruesas representan un flujo más elevado de camiones que las líneas más delgadas.
Fuente: <http://www.cybergeography.org/atlas>

Figura 20. Mapa de distribución de antenas *wireless* comerciales de los Estados Unidos

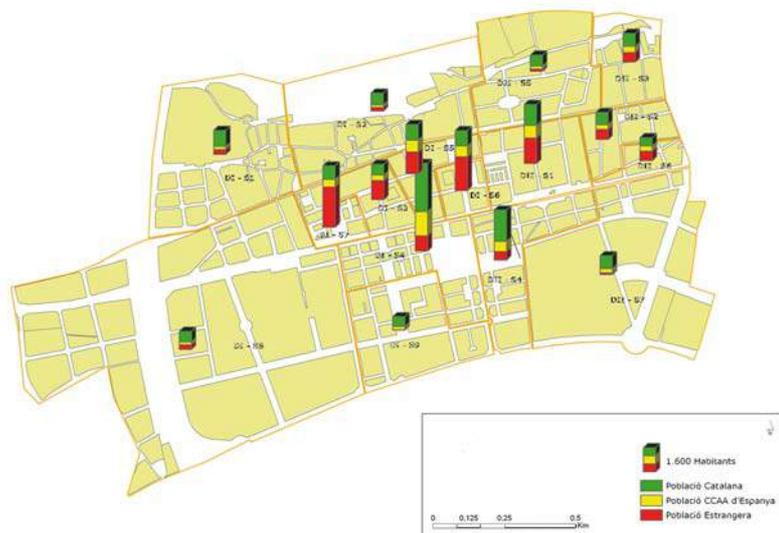
Cada antena está representada por un punto. Donde hay más acumulación de antenas hay más cantidad de puntos.
Fuente: <http://www.cybergeography.org/atlas>

Los aspectos que deben tenerse en cuenta son el área de representación, los elementos que visualizaremos, sus atributos y el estilo o simbolización que adeptamos para las entidades representadas. Todo eso dependerá de los objetivos operativos o científicos que tenga el diseñador o usuario. Dependiendo del modo de presentación, se podrá manipular el mensaje final que obtendrán los usuarios de los mapas.

Los datos espaciales de un SIG pueden generar salidas digitales en diferentes formatos, aparte de mapas en papel. Así, podemos crear composiciones de mapas, donde podemos añadir tablas, gráficos, imágenes, vídeos o animaciones. En la figura 21 podemos ver un ejemplo de composición de mapa con gráficos.

Estos formatos pueden dar lugar a presentaciones impresionantes. El usuario es quien determina el tipo de salida de datos que quiere obtener según sus necesidades y, por lo tanto, el tipo de dispositivo que va a utilizar. En la figura 22 podemos ver algunos de los dispositivos más comunes para la salida de datos: una pantalla de ordenador, un proyector, un plotter y una impresora.

Figura 21. Distribución de la población por distritos de un municipio español. Ejemplo de composición con gráficos



Fuente: SIGTE

Figura 22. Imágenes de algunos dispositivos de salida



De izquierda a derecha: pantalla del ordenador, proyector de datos, plóter, impresora

Fuentes: <http://www.positron911.com>, <http://www.dljsystem.com>, http://www.encad.com/large_format_plotter.htm, <http://www.uti-projector.ru>, <http://www.dljsystem.com>

Independientemente del tipo de salida que utilicemos, hay una tarea que es común a todas ellas: transferir físicamente la información posicional y de atributo desde el archivo digital contenido en nuestro SIG hasta el dispositivo de salida. En el caso del plóter, las coordenadas del mapa se traducen a las coordenadas del dispositivo del plóter, y así se consigue obtener más precisión.

6. La importancia de los SIG en la sociedad actual

En la tercera y última parte de este módulo nos introduciremos en la vertiente social de los SIG. Después de haber estudiado qué son los SIG (primera parte del módulo), y haber profundizado detalladamente en las diferentes partes que forman un SIG –como son los datos geográficos, los componentes y las funciones de un SIG (segunda parte del módulo)–, ahora toca estudiar la otra vertiente de los SIG: la social. Hasta ahora hemos visto los SIG en cuanto a datos geográficos, sus componentes y sus funciones. Ahora vamos a abordar la influencia de los SIG en la sociedad actual: ¿quién utiliza los SIG? ¿Por qué y para qué se utilizan los SIG? ¿Qué repercusión tienen en la sociedad actual? ¿Qué tendencias presenta el futuro de los SIG?

Los sistemas de información geográfica se están convirtiendo en una herramienta habitual de nuestro mundo. Su eficacia se demuestra en numerosas aplicaciones de gestión de recursos, análisis de alternativas, herramienta de soporte en la toma de decisiones y planes de actuación ante situaciones diversas. Con respecto a eso, ya hemos comentado algunos ejemplos de aplicaciones SIG y hemos podido observar sus funciones.

En el subapartado 6.1 estudiaremos detalladamente la utilización de los SIG y ampliaremos los ejemplos de aplicaciones SIG en las administraciones públicas –en el tema de catastro y planificación–, en organizaciones no gubernamentales (ONG), en empresas de servicios públicos (ESP), transporte, medio ambiente y agricultura. En el subapartado siguiente investigaremos cómo trabajamos en SIG a partir de la propuesta de una metodología de desarrollo SIG y, para acabar, analizaremos el código ético de los SIG y sus implicaciones sociales.

6.1. Para qué utilizamos un SIG

Cada vez más, individuos y organizaciones de todo tipo utilizan los SIG para dar respuesta a la pregunta fundamental que ya apuntábamos al iniciar este módulo: ¿dónde?

“La importancia de saber dónde ocurre una cosa. Conocer donde sucede algo es de vital importancia si queremos ir allí o bien queremos enviar allí a alguien, o bien si queremos encontrar alguna otra información cerca del mismo lugar o, simplemente, por ejemplo, si queremos informar de la gente que vive en los alrededores.”

Esta importancia del dónde es debida al gran crecimiento y evolución paralela y al desarrollo de las nuevas tecnologías, las cuales cada vez tienen una presencia más significativa en nuestras vidas cotidianas. Así, por ejemplo, tenemos una gran disponibilidad de SIG por Internet, igual que amplias redes de conexión locales que nos permiten el acceso rápido a la información.

 Repasad el subapartado 1.2.1 de este módulo, en el que se muestran algunos ejemplos para aplicaciones SIG.

 Repasad el subapartado 1.1 de este módulo.

Otro punto que también ha influido en la utilización de los SIG es que el precio del hardware y el software ha disminuido a causa del crecimiento rápido de la demanda. En este caso, también se puede destacar el gran desarrollo del llamado *software libre* que, entre otras características, no tiene coste de licencia.



Para saber más sobre desarrollos en software libre, podéis ver el apartado 7 de este módulo.

También debemos señalar otros motivos no menos importantes por los cuales los SIG están experimentando este crecimiento:

- Conciencia creciente de por qué los procesos de toma de decisiones tienen una dimensión espacial.
- Mejora de la facilidad de interacción del usuario mediante la utilización de entornos de trabajo estándar.
- Mejora de las tecnologías de soporte de las aplicaciones, específicamente en términos de visualización, gestión y análisis de datos, y de las relaciones con otro software.
- Proliferación de los datos digitales referenciados geográficamente. Por ejemplo, los generados mediante tecnologías de sistemas de posicionamiento global (GPS).
- Experiencia acumulada de aplicaciones en cada campo de trabajo.

Hay una gran variedad de proyectos en los que pueden verse reflejados los beneficios del uso de los SIG, y hay diferentes formas de clasificar estas aplicaciones en los distintos dominios. Algunos autores se basan en las cuatro tradiciones de la geografía (social, espacial, ecológica y paisajística), otros distinguen los campos industriales a los que se aplican, otros clasifican las aplicaciones de los SIG según el sector en los que se aplican (público o privado), y otros autores se basan en sus áreas específicas de investigación.

Si examinamos ejemplos de casos de estudio de aplicaciones SIG, podemos diferenciar claramente grupos como gobierno, negocios, salud, transporte, utilidades, recursos naturales, medio ambiente, etc. Sin embargo, ¿por qué complicarse con la implementación de un SIG? A continuación se exploran algunas de las aplicaciones más importantes.

6.1.1. Aplicaciones de los SIG

A continuación presentamos ejemplos de aplicaciones SIG actuales en diferentes ámbitos: administraciones públicas, catastro y planificación, organizaciones no gubernamentales, empresas de servicios públicos (ESP), transporte, medio ambiente y agricultura.

Administraciones públicas

Las administraciones centrales o locales son las organizaciones que utilizan mayoritariamente los SIG. Más del 70% de las tareas en la administración es-

Catastro y planificación

La importancia del catastro y la planificación territorial es fundamental para el mantenimiento de nuestras vidas tal como las conocemos: alimentación, vivienda, entretenimiento y ocio, etc. La parcela de territorio es la unidad básica para el acceso, el control y las decisiones en el terreno.

La información actualizada y fiable del terreno es necesaria para diferentes usos como la planificación del territorio, el desarrollo de infraestructuras y mantenimiento, la protección ambiental y la gestión de recursos, los servicios de emergencia y los programas de asistencia social, entre otras cosas. Además, es la base para el comercio, el desarrollo industrial y otras actividades económicas.

Los objetivos de mantener la información catastral y territorial son:

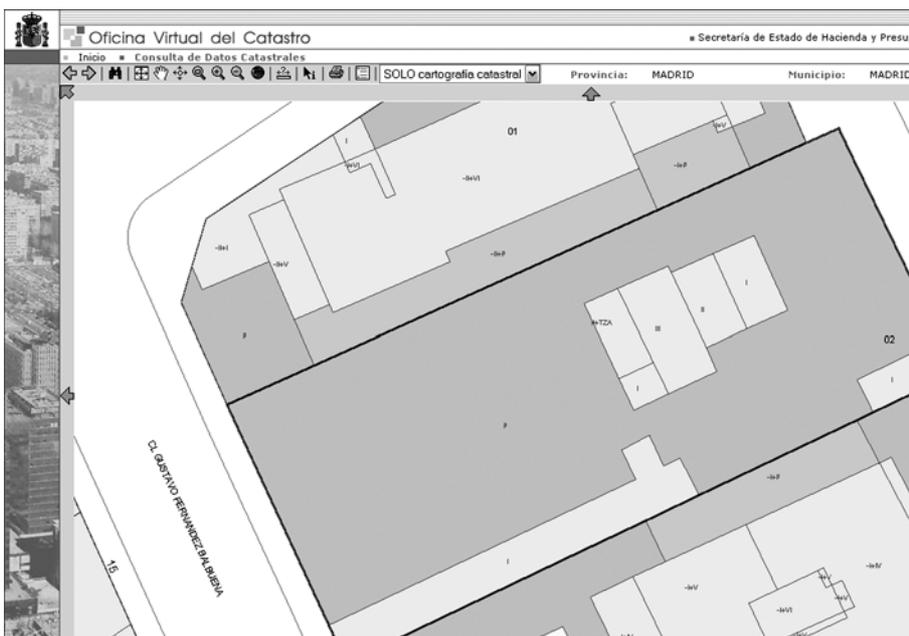
- Describir legalmente la propiedad en sistemas referenciados, para evitar problemas de límites ambiguos o superpuestos.
- Describir relaciones espacioterritoriales complejas como, por ejemplo, la evolución de una parcela privada en el desarrollo conjunto de la ciudad.
- Permitir el acceso al público.

Oficina Virtual del Catastro: un ejemplo de aplicación de los SIG en el catastro

La Oficina Virtual del Catastro ofrece atención al usuario que necesita obtener o consultar información catastral por Internet. En este caso la figura 24 muestra una parte de la avenida Alfonso XIII de Madrid.

Proyecto SEDIS:
<http://www.geogra.uah.es/inicio/sedis/descripcion.htm>

Figura 24. Consulta en la Oficina Virtual del Catastro. Visualización de algunas de las parcelas de la avenida Alfonso XIII de Madrid



Fuente: <http://ovc.catastro.meh.es>

Organizaciones no gubernamentales

La utilización de los SIG por parte de las ONG es todavía minoritaria. Los SIG pueden ayudar a llevar a cabo las actividades de estas organizaciones con respecto a la planificación, la gestión y la evaluación de los proyectos que desarrollan.

Proyecto SEDIS: un ejemplo de aplicación de los SIG en las organizaciones no gubernamentales

Podemos encontrar un ejemplo en el proyecto SEDIS (Sistema de emergencias en desastres mediante imágenes de satélite). Este proyecto lo ha desarrollado una empresa privada con la colaboración del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá y lo ha financiado la Consejería de Educación de la Comunidad Autónoma de Madrid.

Proyecto SEDIS:
<http://www.geogra.uah.es/inicio/sedis/descripcion.htm>

El proyecto SEDIS está dirigido a facilitar las actividades de desarrollo de las ONG mediante la utilización de tecnologías de información geográfica. Analiza las ventajas que pueden aportar los SIG a las ONG dedicadas a la ayuda y la cooperación al desarrollo en los países en vías de desarrollo, así como las posibilidades que ofrece Internet para adquirir información geográfica (Bosque, Ortega y Rodríguez, 2005).

Entre los objetivos del proyecto, se pueden destacar la recopilación de cartografía básica y la realización de mapas de riesgo de desastres naturales, la creación de un SIG con datos de bajo coste y fáciles de conseguir que facilite las actividades de cooperación al desarrollo (prevención de riesgos, por ejemplo), y la realización de un estudio para el desarrollo de un sistema de ayuda a la toma de decisiones en emergencias utilizando imágenes de satélite y SIG.

Empresa de servicios públicos (ESP)

Los SIG se están convirtiendo en un requerimiento y componente estratégico en la infraestructura tecnológica de las empresas de servicios básicos o públicos (ESP). Estas empresas son las compañías de gas, teléfono, electricidad, agua y televisión por cable. Una sola compañía puede tener centenares o millones de clientes, varias redes y un gran número de tuberías, o líneas, además de transformadores, postes de electricidad o teléfono, lo cual representa billones de euros de infraestructuras instaladas.

Una compañía eléctrica, por ejemplo, depende en gran parte de la información geográfica en su proceso de distribución de energía eléctrica. Al incrementar el volumen de datos espaciales que se generan, también aumenta la necesidad de estructurar esta información en un sistema que permita la administración, el almacenamiento y el procesamiento de datos. Es decir, un SIG.

Otro ejemplo sería la aplicación de un SIG en una compañía de gas a la que le interesa disponer de información espacial sobre el territorio por donde pasan estas infraestructuras, incluyendo los permisos y contratos de los terrenos particulares y públicos, aparte de gestionar y localizar la red de tuberías y gasoductos.

Además, hay que guardar informes de todas las actividades, mantener información precisa sobre dónde está cada cosa, mantener los datos actualizados, asignar las tareas diarias y proveer información a terceros, etc.

Transporte

Un departamento de transportes necesita almacenar información del volumen de vehículos, el estado de todas las carreteras de una región, mantener el inventario de las señales de todas las vías, analizar datos de accidentes para localizar los llamados *puntos negros*. Un comercial necesita un sistema en su automóvil para localizar direcciones o rutas.

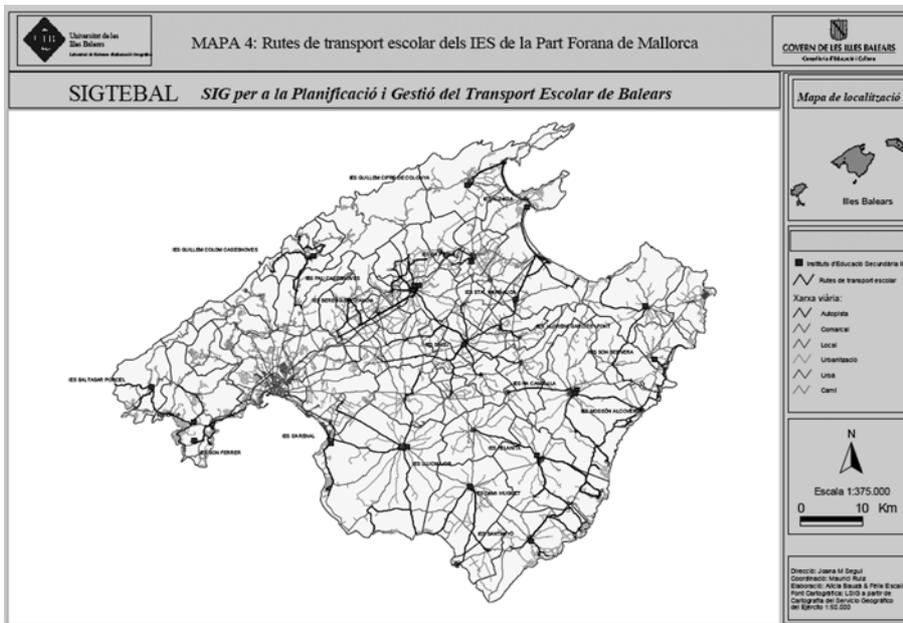
Una compañía de envío de mercancías necesita tener información de los vehículos y los paquetes: dónde se encuentran, cuándo llegarán, etc. Además, interesa planificar de manera eficaz las rutas de reparto. Un operador de autobuses escolares necesita planificar de manera eficiente las rutas de las paradas. También la autoridad de tráfico necesita conocer el estado del tráfico en todo momento.

Proyecto SIGTEBAL: un ejemplo de aplicación de los SIG en el transporte

Un ejemplo que sigue esta línea es el proyecto SIGTEBAL (Sistema de información geográfica del transporte escolar en las Baleares), elaborado por el Departamento de Ciencias de la Tierra y el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de las Islas Baleares.

El SIGTEBAL se construye a partir del diseño de una base de datos geográfica de la red viaria regional de Mallorca, a la cual se incorpora información correspondiente al sistema de rutas de transporte escolar (paradas, itinerarios, colegios, etc.), tal como podemos ver en la figura 25. El proceso analítico y de planificación de rutas se realiza a partir de la implementación de distintos métodos de optimización. El resultado final es una herramienta para facilitar las tareas de gestión de rutas escolares (Seguí, Ruiz, Guaita y otros, 2003).

Figura 25. Visualización de la red viaria de Mallorca y las rutas de transporte escolar existentes



Fuente: http://geofocus.rediris.es/docPDF/Articulo4_2003.pdf

Medio ambiente

El medio ambiente propició algunas de las primeras aplicaciones SIG, y de hecho fue una de las fuerzas motivadoras del desarrollo del primer SIG a mediados de los años sesenta.

En la actualidad, las aplicaciones SIG son de gran utilidad en la gestión del medio ambiente, y van desde las destinadas a la gestión de problemáticas ambientales hasta las que se usan para la evaluación y valoración de impactos ambientales.

Estos sistemas se utilizan en proyectos de análisis multivariables, como en el caso de las evaluaciones de impacto ambiental, en el diseño de alternativas, en la determinación de localizaciones óptimas (por ejemplo de parques eólicos), en la construcción de puertos deportivos, nuevas urbanizaciones, campos de golf, etc. También en estudios de impacto paisajístico, turístico, etc.

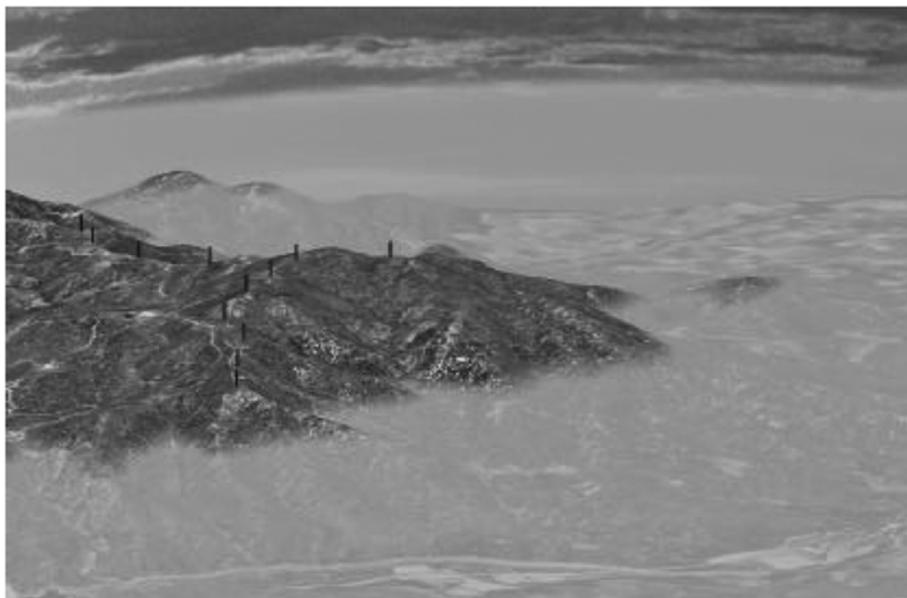
Parque eólico de la sierra de la Auleda: un ejemplo de aplicación de los SIG al medio ambiente

Ya que hemos mencionado los parques eólicos, introduciremos un ejemplo sobre el impacto ambiental que supondría la implementación de un parque eólico formado por doce aerogeneradores en la sierra del Auleda, en la población de La Junquera (Gerona).

Este proyecto, elaborado por el Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (SIGTE) de la Universidad de Gerona, se centró en el impacto visual que tendría la presencia de los aerogeneradores, así como en determinar el número que se podrían visualizar desde cada una de las poblaciones existentes en un radio de 15 kilómetros. Además, se calculó la visibilidad desde el trazado de la autopista (AP-7), así como de otros puntos de interés de carácter natural, patrimonial, arqueológico, etc. (Vicens y Orduña, 2004).

Este proyecto se caracteriza por el uso de una potente herramienta SIG como es el análisis tridimensional para el estudio de diferentes impactos ambientales, en este caso el impacto visual. La figura 26 muestra una captura de la sierra del Auleda en tres dimensiones, junto con los aerogeneradores representados, como un cilindro de color negro. En este caso también vemos un elemento añadido a la representación como es la niebla.

Figura 26. Ejemplo de modelización del parque eólico de la sierra de la Auleda



La imagen muestra los aerogeneradores, representados como cilindros negros, y la niebla
Fuente: SIGTE

Otro ejemplo no tan concreto lo podemos encontrar en el Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña, que tiene el Servicio Interactivo de Mapas Ambientales para la consulta de información ambiental. Las aplicaciones SIG de este departamento van desde las zonas protegidas, pasando

Servicio Interactivo de Mapas
Ambientales:
<http://sima.gencat.net>

por el control de aguas y contaminación atmosférica, hasta los gestores de residuos, como son los ganaderos, municipales o industriales.

Agricultura

En agricultura, aumenta el uso de mapas detallados e imágenes para planear los cultivos, analizar los campos y planificar aplicaciones eficientes de fertilizantes y químicos. Estas técnicas se conocen como “agricultura de precisión” y permiten obtener beneficios en la calidad y cantidad de las producciones agrícolas.

Recoger información asociada a una localización específica en el campo (datos agrícolas georreferenciados) sólo es el principio para ayudar a la toma de decisiones con vistas a la mejora de la gestión y el aumento de la productividad. Una de las claves para aumentar el rendimiento económico de una explotación podría estar, por ejemplo, en el cálculo de la productividad de las parcelas según la cosecha y la estación. La principal razón para entender que el SIG es útil para los agricultores es hacer que estos mismos conozcan las propiedades de esta herramienta. El análisis de los datos recogidos en las explotaciones agrarias puede ayudar tanto al agricultor en la toma de decisiones que consiga incrementar la renta y reducir la responsabilidad ambiental.

La información agraria introducida en un SIG puede ser muy variada: información hidrológica, información edafológica, topográfica, de la orientación y otras características que el agricultor considere que tengan relación con la mejora de la productividad agrícola. Una vez que tengamos toda esta información dentro de un SIG, se abre un amplio abanico de posibilidades de análisis espacial con el objetivo de obtener una mejora en el rendimiento de nuestras tierras.

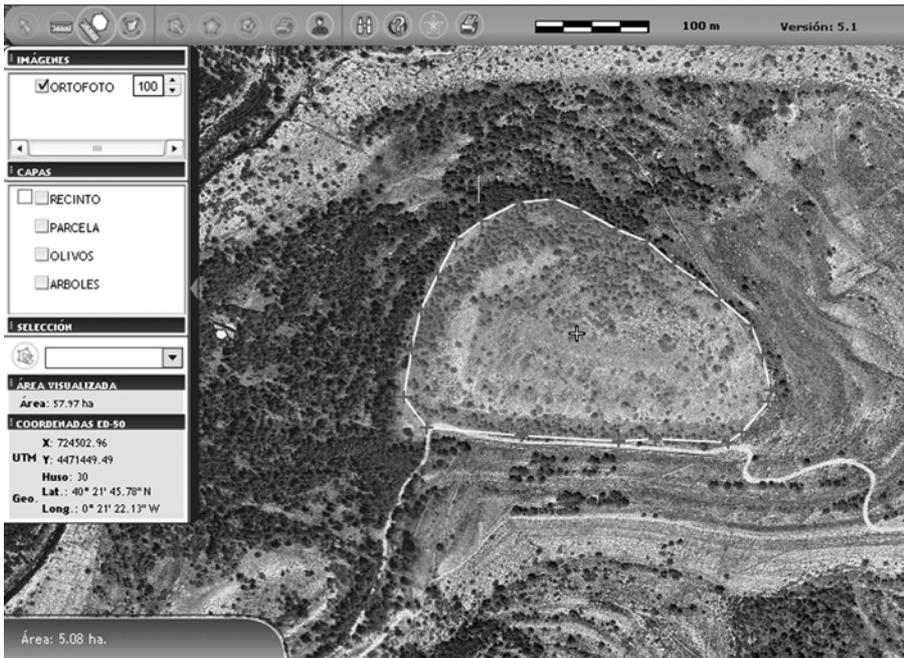
SIGPAC: un ejemplo de aplicación de los SIG en la agricultura

Un ejemplo a gran escala para el control y gestión de parcelario agrícola sería el SIGPAC. El SIGPAC es un sistema de información geográfica dedicado al control de las ayudas agrícolas de la PAC (política agraria común de la Unión Europea). Es obligatorio utilizar esta herramienta en la gestión de las ayudas comunitarias, y es la base que identifica cualquier tipo de ayuda relacionada con la superficie agrícola. Dispone de soporte gráfico del terreno, de las parcelas y recintos con usos o aprovechamientos agrarios definidos. La aplicación permite visualizar cartografía topográfica y ortofotos según la escala de visualización, y editar con las herramientas básicas que contiene cualquier SIG: *zoom*, desplazamiento por el mapa, consulta de información y buscador. Además, se compone de un módulo de herramientas que permiten al usuario medir distancias y áreas, y también seleccionar atributos. En la figura 27 presentamos un ejemplo sobre la edición de parcelas en línea mediante las herramientas de digitalización y medición que tiene la aplicación.

Entre los objetivos más importantes de esta herramienta SIG se pueden destacar los siguientes: facilitar a los agricultores la presentación de las declaraciones de superficie, facilitar ayuda a la administración en el control de errores de la declaración y facilitar el control sobre el terreno agilizando el proceso de localización de las parcelas.

SIGPAC: <http://sigpac.mapa.es/fega/visor>

Figura 27. Interfaz del SIGPAC con la edición y cálculo de un área en concreto



Fuente: <http://sigpac.mapa.es/feqa/visor>

6.2. Cómo trabajamos en SIG

Hemos visto campos de aplicación de los SIG, pero ahora veremos cómo insertamos los SIG en las organizaciones, qué supone su incorporación y qué aspectos debemos tener en cuenta para ello.

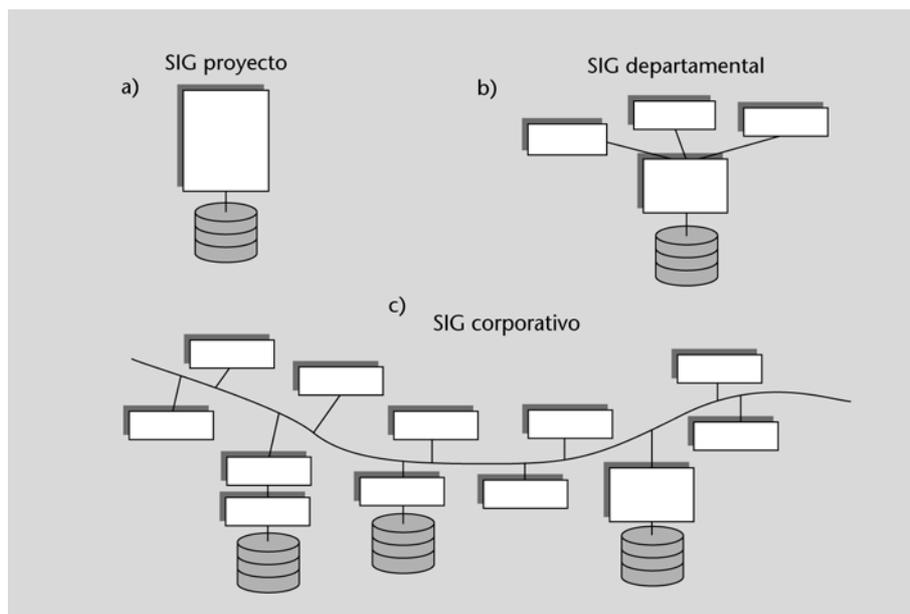
Normalmente, los SIG se introducen en una organización en el marco de un único proyecto, aunque en organizaciones mayores se pueden desarrollar varios proyectos en paralelo. En el momento en que los beneficios de la utilización de los SIG se hacen patentes en un departamento, éstos se pueden incorporar a otros departamentos, hecho que da como resultado un SIG corporativo.

Cuándo se acepta el SIG y la organización se da cuenta de que eso repercute en ahorro de dinero, colaboraciones y reutilización de recursos, se puede desarrollar un amplio SIG empresarial o corporativo (Longley y otros, 2001).

De esta manera, Tomilson (2003) diferencia tres tipos de proyectos SIG en cuanto a su papel dentro de una organización:

1) **Proyectos de propósito particular.** Tienen un calendario bastante delimitado en el tiempo y no suelen contar con un sistema de soporte a largo plazo. El estudio de la localización óptima de un vertedero sería un ejemplo de este tipo de proyectos. Es la estructura que responde al SIG proyecto que vemos en la figura 28a: estructura vertical simple.

Figura 28. Configuración de implementación SIG



Fuente: adaptado de Longley y otros, 2005

2) Aplicaciones de ámbito departamental. En este caso, hay como mínimo un objetivo de negocio o estratégico relacionado con la organización. No se trata de un sistema de soporte a las funciones u objetivos estratégicos generales de la organización a largo plazo, pero sí de una necesidad concreta. Un ejemplo sería el departamento de planificación de un ayuntamiento, que utiliza un SIG para generar listas de propietarios de fincas de más de 1.000 m² a los que afectaría una ordenanza municipal específica. Es la estructura de proyecto SIG que responde al SIG departamental de la figura 28b: estructura vertical simple que presenta diferentes resultados.

3) SIG corporativos de ámbito multidepartamental (también llamados *SIG institucionales, de empresa, organizativos o regionales*). Son aquellos que permiten a los miembros de una organización acceder a un SIG integrado, con datos transversales y comunes a diferentes departamentos. Se trata de un SIG que responde a las necesidades generales de la organización, por lo que resulta una herramienta poderosa dentro de la organización y está alineado con su misión. Es esencial un sistema de soporte específico y a largo plazo. Un ejemplo sería una empresa de transporte que implementa un SIG y múltiples aplicaciones en torno a éste y comparte bases de datos espaciales entre departamentos. Es la estructura del proyecto SIG que responde al SIG corporativo de la figura 28c: estructura horizontal compleja que integra a toda una organización.

Los principios que rigen en todos los casos son los mismos. Los SIG han sido y serán siempre un sistema de información (que maneja datos georreferenciados), por lo que su proceso de implementación, protocolos y arquitectura serán comunes. Un SIG tiene datos, clientes, servidor y trabaja sobre redes. En el caso de los proyectos SIG que hemos comentado, la dife-

rencia residirá en la complejidad de los elementos que entrarán en juego y en las estrategias para llevarlos a cabo. En nuestro caso tomaremos como referencia el SIG corporativo, ya que es lo que comporta la máxima diversidad de casuísticas (figura 28c).

Las organizaciones adoptan el SIG con la asunción de que éste hará que su trabajo sea más fácil, económico o mejor, con vista a sus clientes (o electores). Y eso puede ser cierto pero a menudo la fe en la tecnología es ciega, de manera que se olvidan aspectos mucho más importantes como los siguientes: personal cualificado, un estudio previo a la incorporación del SIG o la elección de las herramientas SIG adecuadas según los objetivos del proyecto.

El gran reto de introducir un SIG en una organización no reside en el aspecto tecnológico, ni siquiera financiero, sino en los aspectos organizativos y formativos. La tecnología cada vez cubre y satisface más las necesidades del usuario y, además, a un coste cada vez más asequible, pero son los factores humanos los que mantienen un condicionante más importante (Comas, 1993).

Sólo cuando la tecnología está plenamente integrada en una estructura organizativa aparecen beneficios reales.

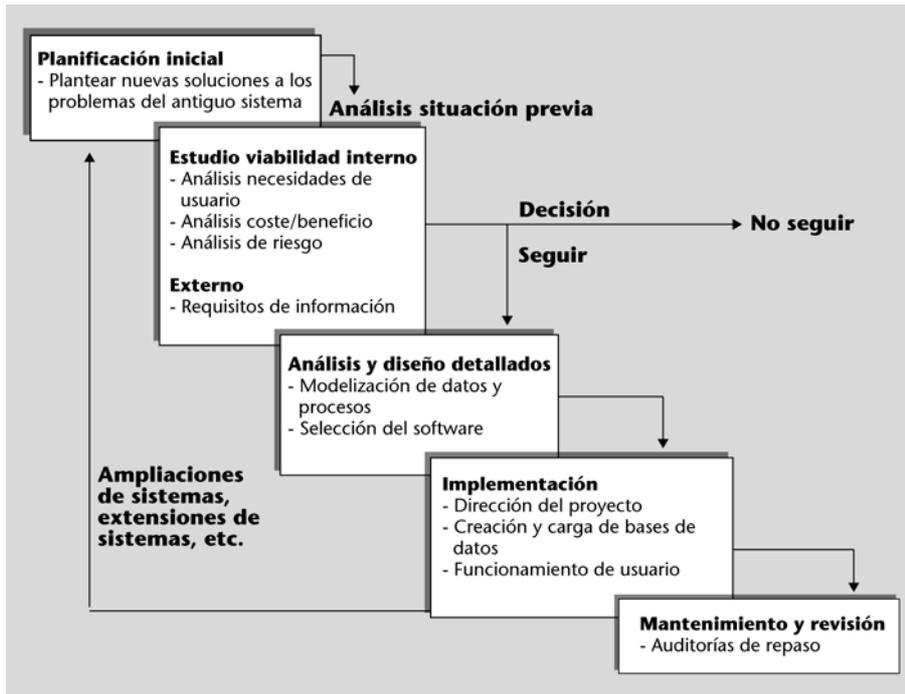
Entender qué hace la empresa y cuáles son sus planes de futuro permite al gestor SIG diseñar un proyecto de implementación directamente relacionado con los objetivos reales que se pretenden y estar en línea con la organización, con lo cual se minimiza el riesgo de perder el tiempo planificando lo que podría apartarse de las necesidades reales.

6.2.1. Metodología de desarrollo de un SIG

Una vez tenemos claro que queremos implantar un SIG en nuestra organización, el paso siguiente será diseñar una metodología (o plan) para desarrollarla.

En la figura 29 tenemos una metodología para la implementación de un SIG en una organización. Los que ya hayáis estado involucrados en alguna forma de planificación, comprenderéis que diagramas como los de la figura 29 deben tomarse con un poco de precaución. La planificación, en realidad, es mucho más que un proceso ordenado que se puede simplificar en estos diagramas. Hay tareas que deberían hacerse en serie y otras que deberían hacerse en paralelo; hay tareas que se acaban, aunque sea en un orden incorrecto, y algunas que no se acaban del todo.

Figura 29. Propuesta de metodología SIG para su implementación en una organización



Fuente: adaptación a partir de los materiales del módulo SIG en organizaciones del programa UNIGIS Girona

A pesar de todos estos imponderables, partiremos del diagrama de la figura 29 para explicar las ideas básicas sobre cómo debería desarrollarse un SIG en una organización. El tema es mucho más complejo y requeriría más páginas de las que dedicaremos aquí, hasta el punto que daría para una asignatura entera. Aun así, si alguien nos propone implantar un SIG, con las nociones que estudiaremos a continuación seremos capaces de iniciar su desarrollo. En esta metodología veremos los siguientes puntos:

- planificación inicial,
- estudio de viabilidad,
- análisis y diseño detallados,
- implementación,
- mantenimiento y revisión.

La planificación inicial

El interés inicial por un sistema de información puede tener distintos orígenes, como por ejemplo el de ayudar en la gestión y organización de una entidad u optimizar al máximo los servicios de esta entidad. Las presiones para cambiar se dan cuando los empleados se frustran con los medios disponibles para realizar su trabajo o saben que hay herramientas que se la pueden facilitar. En relación con el SIG, Aranoff (1989) sugiere cinco áreas problemáticas que pueden incitar al descontento oficial con los métodos actuales en el contexto de una organización como por ejemplo un ayuntamiento:

1) La información espacial está caducada o presenta una calidad muy baja, de manera que los mapas y las listas de propiedades están seriamente anticuados.

2) Los datos espaciales no se almacenan en formatos estándar, motivo por el que la precisión de los datos cartográficos es oscilante; además, distintos departamentos recogen y gestionan los mismos datos espaciales.

3) Los datos no se comparten, por problemas legales, de confidencialidad y a veces por el simple celo de cada departamento al insistir en que “aquella información es suya y sólo suya”.

4) Las herramientas de análisis y de representación no son las adecuadas.

5) La organización pide salidas de datos (u *outputs*) que los SI de los que dispone no pueden generar.

Una vez identificadas estas carencias primarias en el sistema, se pasa a la elaboración de un primer texto de planificación, que será un análisis de la situación previa al desarrollo del estudio de viabilidad (figura 29).

El estudio de viabilidad

Si la presión de introducir un SIG es lo bastante fuerte como para persuadir a los jefes administrativos de que hay garantías de mejorar la gestión, seguramente el paso siguiente será encargar el diseño a un grupo de trabajo. En este punto entraremos a analizar con más detalle todos los procesos, tanto internos como externos, que ayudarán a entender por qué necesitamos un SIG en nuestra organización.

Cuando nos referimos a los procesos **internos**, ponemos el acento en la investigación de aspectos relacionados con el análisis de las necesidades del usuario, con el análisis coste/beneficio y con el análisis del riesgo:

- **Análisis de las necesidades del usuario.** Consiste en determinar cuáles son las demandas de SIG a partir de entrevistas, cuestionarios, observación de los procesos de trabajo existentes y del análisis del flujo de datos.
- **Análisis coste/beneficio.** Es la técnica que pretende evaluar costes y beneficios sobre unas bases comunes y así hacer posible las comparaciones directas de los beneficios netos derivados de propuestas muy dispares.
- **Análisis del riesgo.** Es la estimación del riesgo de que las cosas vayan mal. Debemos considerar las consecuencias del error. Si el SIG fracasa, ¿cuáles serían las consecuencias para la empresa (y para nuestro trabajo)?

Con el término **procesos externos** nos referimos al ambiente externo. Se puede aprender mucho de los éxitos (y de los errores) de las empresas pioneras, de su política de hardware y software y de su relación con los suministradores de

datos. Los contactos con los aspectos externos pueden acortar el tiempo de desarrollo y pueden ayudar a evitar que se repitan los costosos errores de otros. Un peligro que debe eliminarse dentro de la empresa es el hábito de centrarse demasiado rápidamente sólo en unos temas determinados, como por ejemplo la elección del software SIG o el tipo de lenguaje de programación que se utilizará.

Después de este análisis, el grupo de trabajo presenta sus conclusiones (estudio de viabilidad) al comité directivo. Si la decisión es que el SIG no ha sido presentado con la suficiente fuerza para autorizar la inversión, el proyecto SIG acabará aquí. Sin embargo, si la decisión es la de proseguir, continuaremos con los pasos que se muestran en la figura 29: análisis y diseño detallados, implementación, y mantenimiento y revisión.

Análisis y diseño detallados

El propósito de los estadios anteriores ha sido esencialmente el de crear dudas sobre si el sistema SIG era necesario y analizar su viabilidad. Pero ahora la decisión es la de continuar con el proyecto, de manera que el énfasis se traslada a desarrollar el SIG más apropiado. El énfasis se ha trasladado desde la viabilidad (¿estamos construyendo el sistema correcto?) hasta la elaboración y verificación (¿estamos construyendo correctamente el sistema?).

A partir de la fase "análisis y diseño detallados" de la figura 29, consideraremos los pasos siguientes:

- **Modelización de los datos y del proceso.** A partir del estudio de necesidades del usuario, el grupo de trabajo determina los productos que debe generar el SIG, los datos necesarios y los procesos que ha de efectuar. Por lo tanto, tendrá que diseñar un proceso detallado de modelización espacial para determinar qué entidades espaciales hacen falta dentro del sistema, cómo se representará cada entidad y cómo cada una de estas entidades se relacionará con las otras.
- **Selección de software.** Si una empresa quiere implantar o modificar un sistema de información convencional, o bien tiene técnicos familiarizados con el tema, o bien sus SI preexistentes condicionan mucho las nuevas adquisiciones de software (podemos decidirnos por una u otra elección). Para la adquisición de un SIG, en cambio, estas condiciones no pueden aplicarse tan fácilmente. En muchas organizaciones el SIG será una nueva tecnología y, en consecuencia, no existirán las habilidades internas para guiar la selección. Además, hay una amplia gama de productos de software basados en modelos fundamentalmente diferentes y con una gran variación de funciones (todas ellas enmascaradas bajo el nombre de SIG) y, por eso mismo, es muy fácil hacer una mala elección.

Implementación

Basándonos en la figura 29, al final de la etapa de diseño y de análisis detallado, el grupo de trabajo conocerá con gran detalle la naturaleza del SIG requerido. El trabajo siguiente es asegurarse de que los planes dan su fruto, de manera que finalicen con un sistema logrado.

En gran manera, la implementación se puede ver como un problema de programación y de dirección de proyecto. Aquí simplemente perfilaremos algunas de las inquietudes más importantes:

- **Dirección del proyecto:** como en cualquier otro proyecto, el director debe establecer un plan de implementación, identificar las etapas más importantes y planificar para asegurar los recursos necesarios para cada etapa.
- **Creación y carga de la base de datos:** dentro de la puesta en marcha, la creación de la base de datos es una etapa decisiva (lleva mucho tiempo y es muy costosa), ya que contratiempos, falsos inicios y pérdidas de tiempo durante la fase de creación de la base de datos pueden causar pérdida de apoyo de la dirección. Por lo tanto, un director de proyecto experimentado prestará una atención particular a establecer conversiones de datos y planes de integración apropiados y realistas.
- **Funcionamiento de usuario:** es un periodo crítico en la vida de un sistema. En este punto, el sistema empieza a afectar a la vida cotidiana de la organización, de manera que las realidades políticas y humanas serán las que finalmente determinarán el éxito del sistema. Si la integración de un nuevo sistema dentro de una organización se hace de una manera insensible, las perspectivas del sistema se dañarán irreparablemente. En consecuencia, el equipo del proyecto debe esforzarse para educar al usuario.

Además, debe optarse entre una implementación "revolucionaria" (en la que se suspende el viejo sistema y el SIG arranca solo) o establecer un periodo de funcionamiento paralelo hasta que los usuarios tengan confianza en el nuevo sistema. Existe la alternativa de acogerse a una fase de funcionamiento en la que las diferentes partes del nuevo sistema se vayan introduciendo sucesivamente (en etapas). A veces, el proceso de mantener y/o corregir dos sistemas activos al mismo tiempo, así como formar a los usuarios en el nuevo sistema, comporta un gran esfuerzo en inversión de tiempo que se traduce en más inversión económica de la prevista.

Mantenimiento y revisión

Finalmente, un sistema de información nunca es estable. El hardware y el software rápidamente se desfasan, de manera que deben preverse actualizaciones a lo largo del tiempo. Los cambios en las necesidades del usuario y los errores y caren-

cias en el diseño inicial pueden llegar a ser muy evidentes. El proceso de desarrollo de los sistemas nunca acaba y tienen que ser evaluados periódicamente.

También está la necesidad de llevar a cabo auditorías formales para ver la salud del sistema. Las auditorías proporcionan la oportunidad de recuperar los documentos originales para contrastar las estimaciones iniciales (costes, beneficios...) con los resultados actuales. Por otra parte, constituyen una oportunidad de reconocer formalmente los resultados inesperados que no fueron anticipados durante las propuestas originales.

Finalmente, las auditorías pueden anticipar y representar gráficamente el nivel de desarrollo del sistema para confluir en los cambios de necesidades de la organización.

6.3. Implicaciones sociales de los SIG

Las tecnologías de la información espacial y sus productos tienen implicaciones en los procesos de toma de decisiones de las sociedades. El aumento del uso de los SIG puede producir un gran impacto en temas de interés social.

Algunos de los principales efectos del uso de los SIG en las sociedades son:

- consecuencias políticas de la adopción de los SIG,
- fórmulas de planificación basadas en análisis SIG,
- reestructuración de las actividades económicas,
- racionalización de la planificación,
- influencia en estructuras legales de la sociedad.

En los años ochenta y noventa los SIG, los datos espaciales y los sistemas de tratamiento de imágenes llegaron a ser elementos centrales en la reestructuración de la vida social de organizaciones públicas y privadas. Algunos opinan que la revolución del procesamiento de datos espaciales y los sistemas de imagen digital ofreció nuevas oportunidades para la construcción de sociedades informadas e interesadas en la planificación racional y eficiente. Otros piensan que los nuevos sistemas de conocimiento provocaron serios problemas de libertad, sociedad civil y práctica democrática.

El hecho es que los SIG han llegado a ser un elemento significativo en la reestructuración de las vidas públicas y privadas; en realidad, están siendo cruciales para preguntarse qué impactos tienen estas tecnologías y aplicaciones en la manera en que las personas interactuamos entre nosotros.

Por todos estos motivos, la comunidad SIG llama a la elaboración de un código ético, para tratar de dar respuesta a todas estas tendencias y dudas que surgen de la utilización de los SIG.

Lectura recomendada

Para más información sobre las diferentes opiniones de la influencia de las tecnologías en la sociedad, podéis consultar:

D. Sui; M. Goodchild (2003) "A tetradic analysis of GIS and society using McLuhan's law of the media". *The Canadian Geographer* (47, núm. 1, págs. 5-17) [artículo en línea]. Disponible en: <http://geog.tamu.edu/~sui/publications/TetradicAnalysisOFGIS&SocietyCGpaper.pdf>

6.3.1. El código ético de los SIG

Un código ético pretende guiar a los profesionales SIG y debe ayudarles a que sus elecciones sean apropiadas y correctas éticamente.

El profesional SIG tiene que ser consciente del impacto de su trabajo en la sociedad en conjunto, en grupos sociales que incluyen minorías geográficas y demográficas, en las generaciones futuras, en los diferentes campos sociales, económicos, ambientales y técnicos. Además, como técnico SIG, deberá reconocer las consecuencias que su trabajo puede tener en las personas, y tendrá que evitar causar daños o perjuicios en sus vidas.

Sin embargo, ¿quién se encarga de marcar estas pautas? ¿Quién se encarga de regular lo qué es ético y lo que no lo es en la comunidad SIG?

Pues bien, la comunidad SIG es tan nueva que los códigos de conducta todavía no han sido desarrollados u ofrecidos a los profesionales. Sin embargo, muchos grupos estrechamente relacionados con los SIG ya han desarrollado sus códigos de conducta y eso favorece el desarrollo del código ético de los SIG.

Por ejemplo, algunos códigos de conducta que pueden ser relevantes para la comunidad SIG son los que ha preparado la ACM (Association of Computing Machinery, 'Asociación de la Maquinaria Informática'), la DPMA (Data Processing Management Association, 'Asociación para la Gestión del Procesamiento de Datos'), el ICCP (Institute for Certification of Computer Professionals, 'Instituto para la Certificación de Profesionales de la Informática') y las organizaciones que regularmente patrocinan conferencias sobre temas de SIG.

También hay otros códigos de conducta que sirven para el desarrollo ético de los SIG. Éstos serían los vinculados a la utilización de la tecnología y su responsabilidad moral que podemos encontrar en algunos documentos, como por ejemplo en *The Mount Carmel Declaration* (Kranzberg, 1980, pág. 227).

Los códigos elaborados por estas organizaciones pueden ofrecer buenos modelos para que la comunidad SIG pueda utilizar sus propios códigos de conducta. Es, por ejemplo, el caso de URISA (Urban and Regional Information Systems Association, 'Asociación de los Sistemas de Información Urbanos y Regionales'), que establece que las obligaciones profesionales de los SIG ante la sociedad son:

- Realizar el mejor trabajo posible.
- Contribuir a la comunidad de la manera más extensa, viable y aconsejable.
- Hablar con claridad de los diferentes temas y obligaciones ante los individuos.
- Respetar la privacidad.
- Respetar a las personas.

Data Processing Management
Association (DPMA):
[http://courses.cs.vt.edu/~cs3604/
lib/WorldCodes/DPMA.html](http://courses.cs.vt.edu/~cs3604/lib/WorldCodes/DPMA.html)

Association of Computing
Machinery (ACM):
<http://www.acm.org>

Institute for Certification of
Computer Professionals (ICCP):
<http://www.iccp.org>

7. Software SIG

Hasta ahora hemos estudiado los SIG en sus vertientes más dispares, es decir: el concepto de SIG, los datos geográficos, sus componentes, sus funcionalidades e incluso su repercusión en la sociedad actual. En este último apartado nos centraremos en la herramienta principal para llevar a cabo nuestro proyecto SIG.

Igual que, por ejemplo, un mecánico debe saber escoger la herramienta adecuada para desmontar una rueda, un usuario SIG debe saber qué herramienta es la adecuada para llevar a cabo los objetivos del proyecto SIG, es decir, ha de saber qué software SIG es más adecuado dentro de la amplia oferta de que disponemos.

Actualmente, podemos encontrar diferentes aplicaciones informáticas que incorporan mapas o tienen funcionalidades SIG. En este apartado exploraremos las distintas tipologías de software y los diferentes programas SIG existentes en el mercado: tanto propietario como de código abierto. Tener este conocimiento nos será imprescindible para identificar qué es lo que se adapta mejor a cada uno de los objetivos de nuestros proyectos.

7.1. El software

El software proporciona al ordenador las instrucciones para realizar las tareas que debe desarrollar, hecho que facilita el proceso de adquisición de los datos y su transferencia a la memoria del sistema para su procesamiento posterior.

Cuando hablamos de software SIG nos referimos al sistema informático que permite editar, integrar, almacenar, analizar, compartir y visualizar información georreferenciada. Normalmente, el software SIG incluye funciones que permiten llevar a cabo todas estas operaciones. No obstante, es imprescindible que los datos estén en formato digital compatible con nuestro software, por lo que algunas veces el proceso puede incluir la transformación de los datos de un formato a otro para poder hacerlas compatibles con los formatos específicos que emplea el software SIG que utilizamos.

El proceso también puede llevar asociada una transformación geométrica, ya que los datos pueden estar en sistemas de coordenadas diferentes y hay que presentarlas en el mismo sistema. El proceso de georreferenciación implica la transformación algebraica de los puntos de coordenadas X , Y (y a veces Z) de un sistema de referencia a otro.

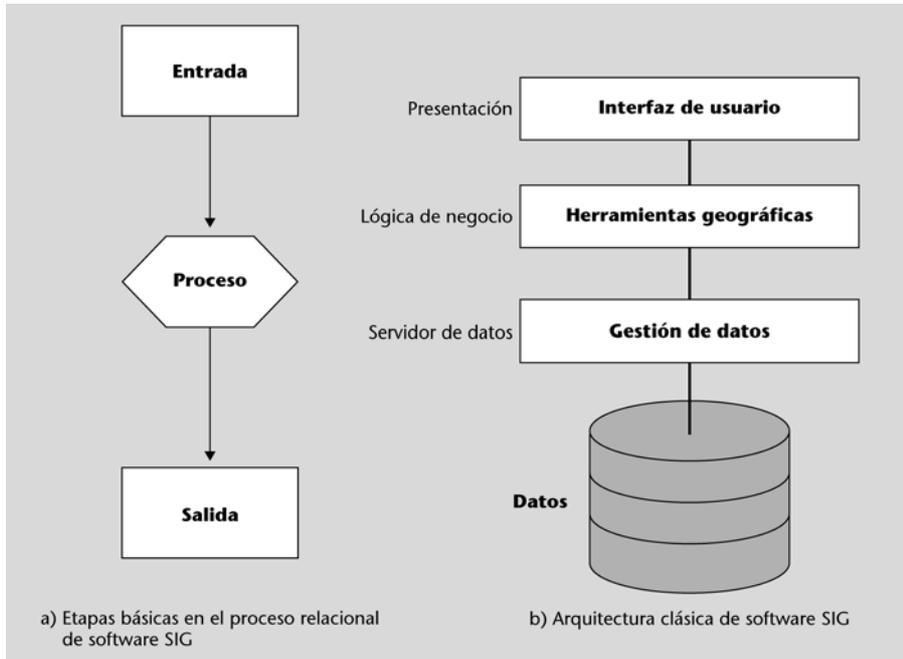


En cuanto a la georreferenciación, podéis repasar el módulo "Geodesia y cartografía".

Como consecuencia de ello, debemos tener en cuenta que en todo software se dan tres etapas básicas, que podéis ver estructuradas en la figura 30a:

- entrada de información (*input*),
- proceso (procesamiento de la información),
- salida de información (*output*).

Figura 30. a. Etapas clave de un software SIG. b. Arquitectura clásica del software SIG



Fuente: a. Elaboración propia. b. Adaptación de Longley y otros, 2001

Podemos llevar a cabo todo este proceso direccional gracias al hecho de que muchos SIG tienen un conjunto de funciones de análisis espacial y modelización que permiten sintetizar nuevos datos espaciales, por combinación de dos o más conjuntos de datos.

La elección final del software SIG dependerá de para qué y cómo lo queremos utilizar y de qué recursos dispondremos para sacar adelante un proyecto. Lo que determina cuál es la tecnología más adecuada para cada aplicación es la calidad, el volumen de producción, la dimensión y el coste que podemos asumir para la compra del software.

7.2. La arquitectura del software SIG

En el proceso funcional de un software SIG, llamado **arquitectura de software SIG**, podemos diferenciar tres partes fundamentales. Lo podéis ver representado en la figura 30b:

1) **Interfaz de usuario:** un grupo de interfaces con los menús que contienen las herramientas que permiten la interacción del usuario (localizar datos, crear mapas, etc.).

2) **Herramientas geográficas:** el conjunto de herramientas que definen las capacidades y funciones que el SIG tiene para el procesamiento de datos.

3) **Sistemas de gestión de datos:** el nivel más bajo, componentes que permiten el almacenamiento y que gestionan el acceso a los datos geográficos.

En la terminología estándar de un sistema de información, estas tres partes de la arquitectura de software SIG se conocen como (ved la figura 30b):

- presentación (interfaz de usuario con el que se presenta el software),
- lógica del negocio (herramientas de análisis que permite el software),
- servidor de datos (capacidad de gestión, consulta y almacenamiento de datos que proporciona el software).

La localización de estas tres partes varía en función del tipo de proyecto SIG que se lleva a cabo. Si se trata de un solo técnico que trabaja en un proyecto SIG, estas tres partes están instaladas en el mismo ordenador y el usuario no tiene por qué ser consciente de ello. En cambio, en la mayor parte de los departamentos multiusuario de SIG avanzado (un SIG departamental o un SIG corporativo), estas tres partes pueden estar instaladas en múltiples ordenadores para mejorar la flexibilidad y prestación del sistema. En este tipo de configuración los técnicos de un departamento de planificación u obras públicas de un gobierno local, por ejemplo, interactúan individualmente con el sistema mediante su ordenador, pero el software de gestión de datos y los datos mismos pueden estar localizados en otros ordenadores conectados en red: con todas las ventajas de la arquitectura cliente-servidor.

Este tipo de implementación es común en grandes empresas de SIG, que pueden involucrar a más de diez servidores y a centenares, e incluso miles, de técnicos que se encuentran dispersos por el territorio.

7.3. Clasificación de software SIG

Existe una gran diversidad de software SIG, que puede clasificarse según diferentes aspectos. La elección del software más apropiado para un proyecto o una organización dependerá de distintos factores como los objetivos, los requisitos en cuanto a funcionalidades del SIG, los recursos disponibles, la duración del proyecto, los conocimientos previos de los técnicos, la tecnología accesible, etc.

En este subapartado nos basaremos en la clasificación de software según su dominio en el mercado internacional (Longley y otros, 2005). Siguiendo esta premisa, encontramos cuatro tipos principales de software:

1) Los **SIG de escritorio** (o *desktop*) son la categoría de software más ampliamente utilizada. El origen de este tipo de software es el ordenador personal.



Recordad la figura 20, que recoge los tres tipos de SIG: SIG proyecto, SIG departamental y SIG corporativo.

Servidores en grandes empresas

Observad el SIG corporativo de la figura 28: en una misma línea de trabajo encontramos varios servidores con diferentes interfaces de usuario.

Los SIG de escritorio se ejecutan en el mismo PC y ofrecen un gran número de herramientas para una gran variedad de usuarios en diferentes campos.

El software SIG de escritorio ofrece un amplio rango de aplicaciones, desde simples visualizadores (ArcReader de ESRI, GeoMedia Viewer de Intergraph, MapInfo de ProViewer) hasta programas de creación de mapas y análisis (Map 3D de Autodesk, ArcView de ESRI, GE Spatial Intelligence, GeoMedia de Intergraph, MapInfo Professional) y tecnología puntera en sistemas de edición y análisis profesional (ArcInfo de ESRI, GeoMedia Professional de Intergraph o GE Energy Smallworld GIS) (Longley y otros, 2005).

Los precios de este tipo de SIG pueden variar dependiendo de su origen, pero en general pueden llegar a costar hasta unos 25.000 euros por licencia. Durante los últimos años, el software SIG de escritorio ha dominado, pero se prevé que la próxima década los servidores SIG o SIG web sean el producto predominante.

2) Los **SIG web** son productos localizados en un servidor al que acceden los usuarios por red (tienen una arquitectura cliente-servidor). Los SIG web tienen una interfaz de usuario que ofrece funcionalidades de consulta, edición y análisis espacial. Los productos de servidores SIG tienen el potencial para el máximo número posible de usuarios y el coste más bajo posible por usuario, aunque las tareas ejecutadas generalmente son más simples. Es una herramienta muy utilizada en entornos corporativos.

En la actualidad, hay disponibles diferentes posibilidades en Internet para ejecutar operaciones con información geográfica, como generar mapas, calcular rutas óptimas, visualizar datos específicos, o hacer análisis basados en criterios seleccionados por el usuario, por ejemplo, de disponibilidad de compra de inmuebles.

3) Los **componentes de desarrollo SIG** son paquetes de herramientas de funciones SIG. Es necesario tener conocimientos de programación para poder implementar los componentes SIG, los cuales se utilizan para la creación de aplicaciones SIG; es decir, programas con unas funcionalidades específicas. Son muy interesantes, puesto que permiten la creación de aplicaciones realmente adaptadas a las necesidades de los usuarios. Los componentes SIG permiten la programación de funciones de visualización y consulta de información geográfica, pero sus capacidades de edición y análisis suelen ser muy limitadas.

Son productos de componentes SIG: Blue Marble Geographics GeoObjects, ArcGis Engine de ESRI, MapX de MapInfo. La mayoría de las aplicaciones SIG mediante estos componentes están desarrolladas siguiendo los estándares de Microsoft.Net. El precio de los productos de desarrollo SIG comerciales está entre los 1.200 y los 6.000 euros.

ViaMichelin

ViaMichelin es un ejemplo en Internet de cómo interactuar con información geográfica. ViaMichelin permite generar mapas, calcular rutas óptimas y visualizar datos específicos. Podéis visitar esta web en la siguiente dirección:
<http://www.viamichelin.es>

4) Los **SIG móviles** son sistemas ligeros diseñados para usarlos en dispositivos móviles concebidos principalmente para el trabajo de campo. El desarrollo de este tipo de software ha sido estimulado por los adelantos en el diseño de hardware, que minimizan el peso y el volumen de los dispositivos, la tecnología GPS y las comunicaciones por redes inalámbricas. Actualmente, los SIG móviles ofrecen un gran número de funcionalidades similares a los SIG de escritorio de hace unos años (visualización, consulta, edición y análisis simples). Es el caso, por ejemplo, del ArcPad de la casa ESRI. ArcPad es una aplicación SIG destinada a dispositivos móviles y orientada a proyectos de captura de datos y recogida de información geográfica mediante posicionamiento GPS en campo.

Los desarrollos más recientes son los llamados *smartphones* (teléfonos inteligentes), que son capaces de trabajar con grandes volúmenes de datos a pesar de sus diminutas dimensiones. Estos teléfonos funcionan de manera que se conectan a la Red cuando el proceso lo requiere (mediante GPRS o *wireless*) y, por lo tanto, utilizan los datos y las aplicaciones de los servidores.

Esta clasificación se basa en software SIG genérico y excluye productos como, por ejemplo, sistemas de mapeo simple, sistemas de procesamiento de imágenes o extensiones espaciales de sistemas de gestión de bases de datos.

GPRS y wireless

GPRS (*general packet radio service*) es la tecnología digital de telefonía móvil que proporciona altas velocidades de transferencia de datos. Mientras que la tecnología *wireless* permite la conexión a Internet sin cable.

7.4. Tipos de software según la licencia

Como ya hemos comentado en el subapartado 7.1 sobre software SIG, uno de los aspectos más importantes dentro de un proyecto SIG es la elección del software. Esta elección dependerá, entre otras cosas, de la calidad que queramos para nuestro proyecto, del volumen de producción que tengamos, de las dimensiones y del coste que podamos asumir para la compra de licencias de software.

A continuación, prestaremos una especial atención en este último punto, sobre todo con respecto al software libre, que lo podemos ver como "emergencia de un *software* técnicamente viable, económicamente sostenible y socialmente justo" (Mas, 2005).

Seguramente, todos ya hemos visto el contrato de licencia típico que nos aparece cuando instalamos un programa en el ordenador. Podríamos definir una licencia como el mecanismo legal por el cual el titular del programa informático autoriza a utilizarlo bajo ciertas condiciones de uso.

Existen gran variedad de licencias, aunque aquí no explicaremos detalladamente cada una de ellas. Por una parte, distinguiremos las licencias de distribución (o de comercialización) y, por otra, las licencias libres o privadas.

Según los diferentes tipos de licencia de distribución (o de comercialización), principalmente distinguimos entre las licencias de pago previo, el *freeware* y el *shareware*:

1) Las **licencias de pago previo** son la gran mayoría. Se trata de las que sólo permiten utilizar el software una vez pagado el producto. En esta categoría se incluyen, por ejemplo, casi todos los productos de Microsoft, como Office, Windows, etc.

2) El **freeware** es una licencia de software que se distribuye libremente, de manera gratuita y por tiempo ilimitado. Encontramos varios ejemplos de *freeware* SIG en la Red, como por ejemplo los que os presentamos en la tabla 3.

Tabla 3. Algunos ejemplos de *freeware* SIG y su descripción

Freeware	Descripción
GeoDa	Es un SIG vectorial bastante limitado a operaciones de análisis espacial.
SADA	Es un SIG vectorial capaz de realizar operaciones de superposición de capas y consultas en la base de datos.
SIGIS	Es un SIG <i>raster</i> y vectorial (procesa los dos tipos de formato) limitado al tamaño de los archivos que maneja.
SPRING	Es un SIG <i>raster</i> que realiza operaciones espaciales complejas, análisis espacial y procesamiento de imágenes de satélite.

Fuente: elaboración propia

3) El **shareware** es una licencia de software que se distribuye libremente y de manera gratuita, igual que el *freeware*, pero su uso es limitado en tiempo y/o características. El objetivo de estas restricciones es que al final el usuario pague por conseguir la versión completa del software. Es lo que vulgarmente conocemos como las *demo* o *trial versions* (versiones de prueba) de programas. Un ejemplo podría ser cualquiera de las versiones limitadas de los productos que ofrece ESRI®.

ESRI

ESRI (Environment Systems Research Institute) es una empresa dedicada al desarrollo y comercialización de sistemas de información geográfica.

Otro gran grupo de licencias son aquellas que se distinguen según el acceso y modificación del código fuente del programa.

Por una parte, encontramos las licencias de **software propietario** o **de código cerrado**, en las cuales el usuario no tiene acceso al código fuente, y por la otra, las licencias de **código abierto** o **software libre**, que, como su nombre ya indica, permite al usuario acceder al código del programa:

1) **Software propietario o de código cerrado.** El código fuente del software no es público y está protegido por leyes de propiedad industrial. Son licencias que normalmente ceden un derecho para su uso en un solo equipo, pero no son transferibles y se prohíbe su copia, modificación, distribución y comunicación pública.

2) **Software libre o de código abierto.** Los desarrolladores de software pueden adaptar el código del programa a sus necesidades específicas, y eso quiere decir

que este tipo de licencia suele permitir su uso, copia, estudio, modificación y redistribución del programa.

7.4.1. La aparición del software libre o de código abierto

Nos centraremos ahora en el software libre o de código abierto. Los dos nombres son válidos y hacen referencia al mismo concepto, aunque con pequeños matices tal como veremos. El problema del término *free software* viene al traducir este concepto, ya que se entiende directamente el aspecto económico: *free* como gratuito y no como libre. Por lo tanto, como la gratuidad del software no lo es todo, sino que hay otras características, algunos consideran que el uso del término *open source* (código abierto) encaja mejor que el de software libre. Muchos prefieren usar el término *open source* (código abierto) porque da lugar a menos ambigüedad y confusión, aunque en realidad no define el concepto de la misma manera y da lugar a pequeños matices, tal como comentábamos al principio de este párrafo.

Del uso de un término u otro, se derivan dos corrientes ligeramente diferentes y que describimos brevemente a continuación:

1) Por un lado, está la corriente cuyo máximo exponente es la **Free Software Foundation (FSF)** o **Fundación de Software Libre**, creada por Richard Stallman en 1985. Esta corriente continúa prefiriendo utilizar el término *free software*, incluso a riesgo de ser malinterpretado, y se centra en un debate ético y moral sobre el derecho de todo ser humano a tener acceso a software con entera libertad y sin someterse a unas licencias restrictivas, limitantes y que, desde su punto de vista, son poco éticas e incluso inmorales. Algunos, dentro de este grupo, consideran que muchos tipos de software (en especial los sistemas operativos) deberán ser patrimonio de la humanidad y no propiedad privada de un único organismo o empresa.

"Free software es una cuestión de libertad, no de precio. Para entender el concepto, deberías pensar en free como libertad de expresión, no como cerveza gratis"(The Free Software Foundation, 2007).

2) Por otro lado, está la corriente cuyo máximo exponente es la **Open Source Initiative (OSI)** o **Iniciativa de Software Abierto**, fundada por Bruce Pernees y Eric Raymond en 1998. Esta corriente prefiere hacer uso del término *open source* y se centra en el aspecto tecnológico de éste y en sus ventajas como modelo de negocio para el desarrollo de software. Mantienen que no es una cuestión moral o de ética, sino simplemente creen que este tipo de productos pueden ofrecer mucho más de lo que puede ofrecer un producto de software propietario o de código cerrado.

“*Open source* es un método de desarrollo de software que aprovecha el poder de la revisión distribuida entre iguales y la transparencia de procesos. La promesa del *open source* comprende una mejor calidad, más fiabilidad, más flexibilidad, menos coste y el fin de los vínculos con vendedores rapaces” (Open Source Initiative, 2007).

En definitiva, podemos concluir que son lo mismo porque al fin y al cabo comparten los mismos objetivos, pero se diferencian en el hecho de que para llegar a estos objetivos utilizan corrientes o caminos diferentes.

El software libre (*free software*) se centra en un debate ético y moral sobre el derecho de todo ser humano a tener acceso a software con toda libertad, y el software de código abierto (*open source*) mantiene que no es una cuestión moral o de ética, sino simplemente cree que este tipo de productos pueden ofrecer mucho más de lo que puede ofrecer un producto de software propietario.

A modo de ejemplo, tomamos las características que considera la FSF que un producto de este tipo debería cumplir para poder ser llamado como tal:

- Libertad para ejecutar el programa, para cualquier propósito.
- Libertad para acceder al código fuente para estudiar cómo funciona el programa y adaptarlo a nuestras necesidades.
- Libertad para redistribuir copias del producto.
- Libertad para mejorar el producto y distribuir estas mejoras al público, de manera que toda la comunidad pueda beneficiarse.

La OSI ofrece unos objetivos prácticamente iguales, aunque quizás un poco más detallados en algunos aspectos.

Tipos de licencias

En cualquiera de los casos definidos anteriormente, es imprescindible que el producto liberado esté dotado de una licencia que sirva de marco legal gracias al cual el autor pueda especificar con todo detalle estas libertades, exactamente de la misma manera que un producto privativo requiere un marco legal que le permita protegerlo privando al usuario de ciertos usos. Para este propósito existen las licencias *copyleft* y las licencias no *copyleft* (es una especie de juego de palabras de los derechos del *copyright*):

- **Copyleft:** la licencia no debe simplemente ofrecer los objetivos (o derechos) mencionados anteriormente, sino que también debe ofrecer estas libertades para usuarios posteriores del software. Cualquier redistribución y

modificación del programa tiene que ser bajo esta misma licencia, sin restricciones adicionales (Malcolm y otros, 2007).

Algunos de los productos geográficos y de base de datos que hacen uso de licencias *copyleft* son los que podemos ver en la tabla 4.

Tabla 4. Algún software de ejemplo con licencia *copyleft* y su descripción

Software con licencia <i>copyleft</i>	Descripción
gvSIG	Software basado en los formatos más usuales de <i>raster</i> y vectorial.
SAGA	Software basado en el manejo de modelos de datos <i>raster</i> .
GRASS	Software basado en capacidades de análisis espacial <i>raster</i> y vectorial, y visualización 3D.
Quantum GIS	Software basado en el manejo de formatos <i>raster</i> y vectorial así como bases de datos.
UDig	Software basado en el desarrollo para aplicaciones espaciales.
MySQL	Software basado en un sistema de gestión de bases de datos.

Fuente: elaboración propia

- **No *copyleft*:** en esta licencia también se reservan los mismos derechos, pero no requiere que un producto derivado tenga la misma licencia que el original. En estos casos, se puede bajar el código fuente de un producto libre, modificarlo, y ofrecer el producto derivado de manera cerrada y con una licencia completamente diferente.

Algunos de los productos relacionados con el ámbito geográfico y de las bases de datos que hacen uso de licencias no *copyleft* son, por ejemplo, los que podemos ver en la tabla 5.

Tabla 5. Algunos ejemplos de software con licencia no *copyleft* y su descripción

Software con licencia no <i>copyleft</i>	Descripción
UMN MapServer	Creación de aplicaciones SIG en Internet para visualizar, consultar y analizar IG.
PostgreSQL	Es un servidor de base de datos relacional.

Fuente: elaboración propia

Cabe añadir que un mismo software se puede distribuir bajo varios tipos de licencia según el uso que se le dará. Por ejemplo, un software como MySQL tiene licencia *copyleft* para desarrollar proyectos de código abierto *open source* pero, si al contrario, el uso de MySQL es para fines comerciales, la casa distribuye otro tipo de licencia por la cual el usuario debe pagar para utilizar el software.

7.5. Tendencias en el software SIG

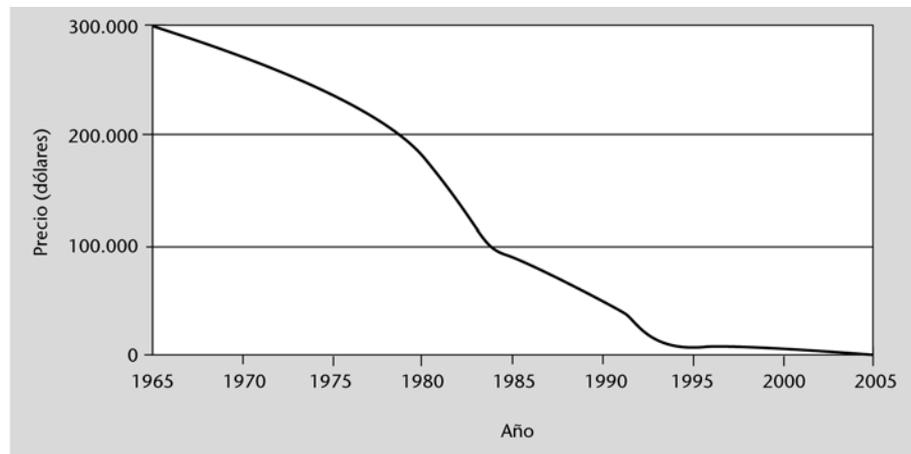
Una vez explorado cómo se presenta el software actual desde sus vertientes más variadas tales como la arquitectura, la clasificación y los tipos de licencia, pasamos a analizar qué nos ofrece el futuro en el uso de software SIG.

Según Longley (2005), la tendencia en el uso de software SIG continuará creciendo los próximos años, sobre todo por los motivos siguientes:

- Un rápido desarrollo de hardware y software que hacen aumentar las funcionalidades.
- Un descenso en el precio de los diferentes productos SIG.

El precio del SIG (hardware, software, datos y procesos de personalización) ha disminuido de manera drástica en las últimas cuatro décadas, tal como podemos ver en la figura 31. En la época de aparición de los SIG, cuando todavía no había paquetes de productos comerciales y se necesitaban grandes equipos informáticos para trabajar con un SIG, éste podía llegar a los 300.000 dólares (Longley y otros, 2001).

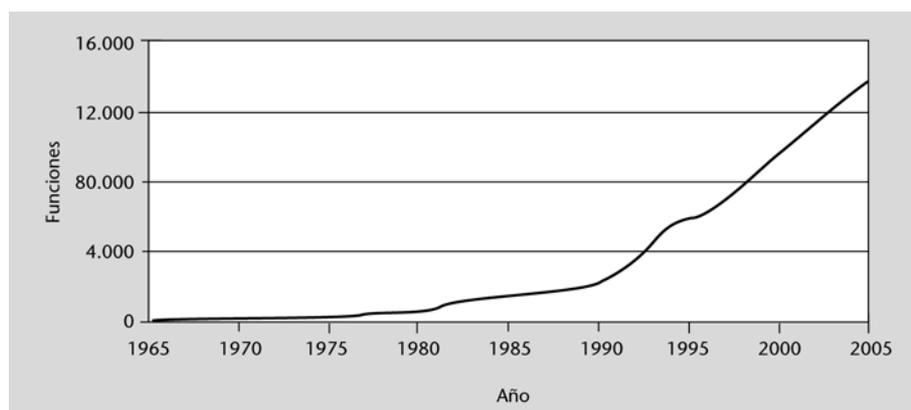
Figura 31. Gráfico de la evolución en el precio medio del software SIG en los últimos cuarenta años



Fuente: Longley y otros, 2005

Por otra parte, al mismo tiempo que su precio ha ido disminuyendo, la funcionalidad ha ido aumentando drásticamente en los últimos veinticinco años, como vemos en el gráfico de la figura 31. Los saltos más importantes en funcionalidades se produjeron en los años ochenta, con la liberación de la primera estación SIG de trabajo, y nuevamente en los noventa, cuando los productos SIG de escritorio salieron al mercado (figura 32).

Figura 32. Gráfico de la evolución de la cantidad de funcionalidades de los SIG en los últimos cuarenta años



Fuente: Longley y otros, 2005

La extrapolación optimista de la situación existente en la actualidad sugiere que el software SIG continúa avanzando en sus capacidades, usabilidad y asequibilidad. De hecho, los distribuidores principales de software SIG están trabajando con empeño en añadir nuevas funcionalidades a las últimas versiones de sus productos.

Visto eso, podemos mostrarnos optimistas en el desarrollo del mundo SIG en general, pero no podemos olvidar que se trata de predicciones de futuro y, por lo tanto, susceptibles de cambiar la tendencia en cualquier momento.

Resumen

En este módulo hemos definido los SIG, los hemos distinguido de aquellos sistemas que son susceptibles de confundirse con un SIG, y hemos extraído las siguientes conclusiones:

1) La cartografía digital no se considera un SIG, puesto que su objetivo final es el de confeccionar mapas de los datos que contienen (carreteras, ciudades, etc.) en formato digital. La cartografía digital se puede utilizar en un SIG, pero por sí misma no es un sistema de información geográfica.

2) Los sistemas CAD permiten producir un dibujo de un objeto, un esquema de red viaria, unas parcelas, calles, etc., pero no disponen de las herramientas para el análisis espacial que tiene un SIG.

3) El objetivo de la teledetección es la interpretación de los valores emitidos desde la superficie terrestre y que se registran mediante un sensor remoto. La teledetección es una tecnología para la captura de datos que pueden analizarse en un SIG.

4) Finalmente, el objetivo de los SGBD es la gestión de todos los datos que puede almacenar un SIG, pero carecen de funcionalidades gráficas.

Una vez analizado el concepto de SIG, hemos desglosado todas sus partes, empezando por los tres componentes que tienen los datos geográficos: el espacial, el temático y el temporal.

Cuando hablamos del componente espacial de los datos geográficos nos referimos a la información de la localización geográfica, las propiedades espaciales (longitud, forma, pendiente, orientación, superficie y perímetro) y las relaciones espaciales (proximidad, contigüidad, conectividad, inclusividad) del objeto representado. En cambio, cuando hablamos del componente temático de los datos geográficos nos referimos a las características y propiedades del objeto representado (atributos o variables). A partir de ahí hemos visto que hay unas relaciones espacio-tiempo entre los valores de las variables conocidas como “autocorrelación espacial” y “autocorrelación temporal”. Estas relaciones se basan en el principio de que los datos próximos en el tiempo y en el espacio tienden a ser más semejantes entre sí que los más lejanos.

También hemos definido los diferentes tipos de variables del componente temático –discretas, continuas, fundamentales y derivadas–, así como las diferentes escalas de medida: nominal, ordinal, intervalo y razón.

Finalmente, hemos destacado el componente temporal como la manera de expresar los fenómenos geográficos de manera dinámica a lo largo del tiempo, así como sus formas de representación más comunes.

Una vez estudiada la importancia que tienen los datos en un SIG, hemos explorado las demás partes, no menos importantes, como son sus componentes –hardware, software, redes, personas y métodos–, así como el cuerpo de ideas que hay detrás de estos elementos. Desde la perspectiva de los SIG como caja de herramientas, podemos fijar qué utilidades pone a nuestra disposición y qué procedimientos se pueden llevar a cabo.

Y no olvidemos que, desde un punto de vista más amplio, el conjunto completo de organizaciones, incluyendo las estructuras de gestión, las personas y el conocimiento humano y científico, son parte de los SIG y tienen implicaciones.

Relacionado con este último aspecto, hemos podido ver cómo el SIG corporativo acumula la máxima complejidad del proyecto SIG. Y cómo pueden conocerse los aspectos más esenciales de las organizaciones (y no siempre bastantes explícitos), como son sus objetivos estratégicos y el sistema organizativo para planificar un buen proceso de implementación de un SIG, así como cuáles son los pasos que deben seguirse para llevar un proyecto SIG a buen puerto.

Nos hemos aproximado a la utilidad y efectividad de los SIG en la sociedad actual, adentrándonos en algunas de las implementaciones y aplicaciones de los SIG en diferentes sectores, desde administraciones, catastro y planificación, transportes, compañías de servicios, ONG, medio ambiente, agricultura, etc.

Pero esta inmersión en la sociedad a partir de mediciones, representaciones, operaciones o transformaciones de la información espacial se debe considerar en un contexto amplio. Y es que en los últimos cinco años los SIG se debaten en importantes implicaciones sociales como son, por ejemplo, las consecuencias de políticas de adopción de los SIG o las fórmulas de planificación basadas en análisis SIG.

Desde el punto de vista operativo, hacer realidad las múltiples aplicaciones implica escoger un software SIG adecuado, entre muchos otros aspectos que hemos visto. En la actualidad, hay diferentes tipos de productos de software SIG para escoger y un gran número de formas de configurar implementaciones. Una de las características más interesantes del software SIG es su rápida tasa de evolución. Eso es una tendencia que parece que continuará desde el momento en que las industrias de software ayudan a su crecimiento con importantes descubrimientos y esfuerzos de desarrollo.

Ejercicios de autoevaluación

Responded a las siguientes preguntas teniendo en cuenta que puede haber más de una opción válida por pregunta:

- Señalad dos características de la información geográfica.
 - Es multidimensional.
 - No puede ser muy detallada.
 - Es proyectada en una superficie plana.
 - Es móvil.
 - No puede ser muy genérica.
- Un SIG es...
 - un sistema de hardware, software, datos, personas, organizaciones y convenios institucionales para la recopilación, almacenamiento, análisis y distribución de información de territorios de la Tierra.
 - una compilación organizada de hardware, software, datos geográficos y personal convenientemente designado para una eficiente captura, almacenamiento, actualización, manipulación, análisis y representación en diferentes formas de información geográfica georreferenciada.
 - un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelización, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.
 - Todas las respuestas son correctas. Encontramos muchas definiciones de SIG debido a la variedad de componentes y funcionalidades que lo forman. La condición es que en todas las definiciones aparezca un denominador común: trabajar con información espacial.
- Identificad cuáles de los siguientes sistemas no son un sistema de información geográfica:
 - Cartografía digital.
 - CAD.
 - Sistema de información.
 - Software.
 - SGBD.
- ¿Cuáles son las características que presenta el componente espacial de los datos geográficos?
 - Altitud, longitud y latitud.
 - La autocorrelación espacial y la autocorrelación temporal.
 - La localización geográfica y las propiedades y relaciones espaciales de los objetos.
 - Los tipos de variables, que pueden ser discretas, continuas, fundamentales y derivadas.
- Cuando hablamos de medición del componente temático de los datos geográficos, nos referimos a la calidad que presenta el objeto observado o representado. Si observamos la siguiente tabla, ¿qué tipo de escala de medida es la variable Calle?

Calle	P. española	P. extranjera	Distrito
21729	13	1	DI-S1
22722	10	8	DI-S1
21719	7	4	DI-S1

- Escala nominal.
 - Escala ordinal.
 - Escala de razón.
 - Escala de intervalo.
- Identificad cuáles son los componentes de un SIG:
 - PDA, GPS, escáner, mesa digitalizadora, plóter, impresora y pantalla del ordenador.
 - Personal, software, hardware, datos, métodos, red e ideas.
 - Entrada, almacenamiento, recuperación, análisis, consulta, modelización y salida.
 - Mundo real, usuarios, base de datos, software y resultados.
 - En el funcionamiento de un SIG entran en juego varios procesos, de los que uno adquiere una especial relevancia, ya que determina la complejidad del sistema y en qué medida se aproxima a la realidad. ¿Sabrías decir a qué proceso nos referimos?
 - La modelización.
 - La salida de los datos.
 - La generalización.
 - La georreferenciación.

8. Imaginad que una empresa os pide consejo para implantar un SIG con múltiples aplicaciones y bases de datos espaciales entre diferentes departamentos. ¿Qué tipo de proyecto SIG le aconsejaríais que llevara a cabo?

- a) Un SIG de proyecto particular.
- b) Un SIG departamental.
- c) Un SIG corporativo.
- d) Un SIG relacional.

9. Ordenad las siguientes fases de una metodología para la implementación de un SIG en una organización:

- a) Implementación.
- b) Estudio de viabilidad.
- c) Mantenimiento y revisión.
- d) Planificación inicial.
- e) Análisis y diseño detallados.

10. ¿Cuáles de los siguientes tipos de licencia pertenecen al llamado *software libre* o *de código abierto*?

- a) *Freeware*.
- b) *Shareware*.
- c) *Copyright*.
- d) *Copyleft*.
- e) No *copyleft*.

Solucionario

1. a, c. 2. d. 3. a, b, e. 4. c. 5. a. 6. b. 7. c. 8. c. 9. d, b, e, a, c. 10. d, e.

Glosario

análisis espacial *m* Análisis que se basa en los aspectos principales de las herramientas lógicas que forman un sistema de información geográfica, como por ejemplo superposición de capas de información, construcción de modelos tridimensionales del terreno y operaciones que permiten la transformación de escalas y coordenadas.

análisis multivariable *m* Método estadístico para la evaluación de las relaciones entre dos o más variables.

atributo *m* Información sobre una entidad geográfica en un sistema de información geográfica. La información se almacena normalmente en una tabla que está enlazada a la entidad por un único identificador. Por ejemplo, los atributos de un río pueden incluir el nombre, la longitud y sedimentos por dm^3/s .

capa *f* Representación visual de la información geográfica en un mapa digital. Concretamente, una capa es una porción o estrato de la realidad geográfica de un área particular. Por ejemplo, en un mapa de carreteras, los parques nacionales, fronteras políticas y los ríos son representados en diferentes capas.

catastro *m* Registro administrativo del Estado en el cual principalmente se describen los bienes inmuebles rústicos y urbanos.

coordenadas, sistema de *m* Estructura de referencia que consiste en un conjunto de puntos, líneas, polígonos y un conjunto de normas utilizado para definir la posición de los puntos en el espacio en dos o tres dimensiones. Los sistemas de coordenadas más usados para la superficie de la Tierra son el sistema de coordenadas cartesianas y el sistema de coordenadas geográficas.

data warehouse *m* Sistema de información que almacena gran cantidad de datos. Permite hacer consultas rápidas y eficientes, y modificar y analizar información de la base de datos.

dato alfanumérico *m* Información nominal y numérica. Los SIG están compuestos de una base de datos con información alfanumérica.

dato geográfico *m* Dato con información geográfica.

digitalización *f* Proceso de convertir elementos geográficos de un mapa analógico a un formato digital usando mesas digitalizadoras, o bien de un formato digital a otro formato digital mediante la digitalización en pantalla.

escala de un mapa *f* Relación matemática que hay entre las dimensiones reales de un territorio y las del mapa que representa este territorio.

espectro electromagnético *m* Distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas (radiación electromagnética) que emite o absorbe una sustancia.

geodesia *f* Rama de las geociencias y una ingeniería. Engloba las técnicas para la representación de la superficie de la Tierra, globales y parciales, con sus formas naturales y artificiales.

geografía *f* Ciencia que estudia la descripción y la representación de la Tierra en la configuración de su superficie y en la distribución espacial de los diferentes fenómenos, especialmente cuando se relacionan con la presencia y la actividad humana.

geomática *f* Conjunto de ciencias que integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica.

georreferenciación *f* Sistema utilizado para definir la localización de un objeto espacial en un sistema de coordenadas.

gestión territorial *f* Técnica administrativa influida principalmente por la geografía y ciencias ambientales, que tiene como objetivo la ocupación racional del territorio mediante la aplicación de una normativa que regule unos determinados usos del suelo.

imagen de satélite *f* Presentación visual de la información capturada por un sensor situado en un satélite artificial.

imagen digital *f* Imagen capturada por un sensor electrónico que dispone de unidades fotosensibles y se archiva en otro elemento electrónico llamado *memoria*.

mesa digitalizadora *f* Dispositivo periférico del ordenador que permite dibujar (o digitalizar) los elementos o entidades geográficas.**sin.**

modelización *f* Técnica que consiste en la generación de modelos de elementos geográficos.

modelo digital de elevación *m* Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable concreta: la altura.

modelo digital del terreno *m* Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, como puede ser la temperatura.

ortofoto *f* Fotografía del territorio donde todos los elementos presentan la misma escala. Han sido eliminados todos los errores y deformaciones debidos a la esfericidad de la Tierra.

plóter *m* Dispositivo de impresión conectado a un ordenador y diseñado para trazar gráficos vectoriales, en este caso mapas.

proyección geográfica *f* Sistema que convierte la superficie esférica de la Tierra en una superficie plana.

raster *m* Estructura de datos representados en una matriz de celdas regulares cada una de la cuales almacena información geográfica.

sensor remoto *m* Dispositivo situado en los satélites artificiales que detectan la radiación natural emitida o reflejada por la superficie de la Tierra.

sistema *m* Conjunto de elementos interrelacionados.

sistema de ayuda a la toma de decisiones (espaciales) *m* Conjunto de procesos mediante los cuales se escoge entre las alternativas o formas que existen para resolver diferentes situaciones del proyecto.

tecnologías de la información geográfica *f* Tecnologías que se encargan del estudio, desarrollo, implementación, almacenamiento y distribución de la información geográfica mediante la utilización de hardware y software como medio de sistema informático.

topografía *f* Ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra.

topología *f* Disciplina matemática que estudia las propiedades de proximidad, conectividad, compacidad, textura, metricidad, etc. de las entidades.

vectorial *adj* Relativo a estructura de datos que representan la realidad mediante puntos, líneas y polígonos.

Bibliografía

Bibliografía básica

Bosque, J. (1997). *Sistemas de Información Geográfica* (2.^a ed.). Madrid: Rialp.

Chrisman, N. R. (2003). *Exploring Geographical Information Systems* (2.^a ed.). Hoboken (Nueva Jersey): John Wiley & Sons.

Goodchild, M. F. (1997). "What is Geographic information Science?". En: *NCGIA Core Curriculum in GIScience*. faltan datos University of California, National Center for Geographic Information and Analysis.

Gutiérrez Puebla, J.; Gould, M. (1994). *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Síntesis.

Longley, P. A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J., y otros (2005). *Geographic Information Systems and Science* (2.^a ed. –ed. original, 2001–). Chichester (Reino Unido): John Wiley & Sons.

Malcolm, B.; Megías, D.; Pérez, A. (2007). "Software libre y sistemas de información geográfica: conceptos, definiciones y aspectos legales". En: *I Jornadas de SIG libre*. Gerona. faltan datos? ISBN: 978-84-690-38869.

Peña, J. (2006). *Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio*. Alicante: Editorial Club Universitario.

Bibliografía complementaria

Aronoff, S. (1989). *Geographic Information Systems: a management perspective*. Ottawa: WDL Publications.

Bosque, J.; Ortega, A.; Rodríguez, V. (2005). "Cartografía de riesgos naturales en América Central con datos obtenidos de Internet". *Documents d'Anàlisi Geogràfica* (núm. 45, págs. 41-70). Barcelona: ISSN 0212-1573.

Burrough, P. A.; McDonnell, R. A. (1998). *Principles of geographic information systems for land resources assessment*. Oxford: Clarendon.

Carter, J. R. (1989). "On defining the geographic information system". En: W. J. Ripple (ed.). *Fundamentals of geographic information systems: a compendium*. Falls Church (Virginia): ASPRS / ACSM.

Comas, D.; Ruiz, E. (1993). *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Barcelona: Ariel.

DeMers, M. (2001). *GIS Modeling in Raster*. Nueva York: John Wiley & Sons.

Deuker, K. J.; Kjerne, D. (1989). "Multipurpose Cadastre Terms and Definitions". En: *Proceedings of the American Society for Photography and Remote Sensing and American Congress on Surveying and Mapping* (pág. 12). Falls Church (Virginia): falta editorial.

Guimet, J. (1992). *Introducción conceptual a los sistemas de información geográfica*. Madrid: Estudio Gráfico.

Martin, D. (1991). *Geographic information systems and their socio-economic applications*. Londres: Routledge.

Mas i Hernández, J. (2005). *Software Libre: técnicamente viable, económicamente sostenible y socialmente justo* (1.ª ed.). Barcelona: Cargraphics.

Mas i Hernández, J. (2006). *Programari Lliure i empresa a Catalunya: experiències empresarials i casos d'èxit*. Barcelona: Idear.

Orduña, F. (2005). "SIGFRUT: aplicación web para el diseño de plantaciones e instalaciones agrícolas". En: *Ig+ más que Información Geográfica* (núm. 4, pág. 16-18). Gerona. ISSN 1885-0715.

Seguí, J. M.; Ruiz, M.; Guaita, F. y otros (2003). "La planificación de rutas de transporte escolar a través de un SIG: El proyecto SIGTEBAL". En: *GeoFocus* (artículos) (núm. 3, págs. 58-76). ISSN: 1578-5157.

Smith, T. R.; Menon, S.; Star, J. L., y otros (1987). "Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information systems". En: *International Journal of Geographic Information Systems* (vol. 1, núm. 1, pág. 13-31).

Tomilson, R. (2003). *Thinking about GIS. Geographic Information System Planning for managers*. Redlands (California): ESRI Press.

Vicens, L.; Orduña, F. (2004). "Utilización de un SIG y herramientas de análisis visual para la determinación del posible impacto ambiental debido a la implantación de un parque eólico en la «Serra de l'Auleda» (La Jonquera, Girona)". En: C. Conesa (coord.). *Aportaciones al "XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección" celebrado en Murcia, 20-23 de septiembre, 2004* (vol. 1, págs. 207-220). Murcia: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. ISBN 84-8371-485-X.