

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

INTRODUCCIÓN

En la década de los setenta, con el desarrollo de la tecnología informática, aparecieron una serie de programas cuya finalidad era gestionar datos espaciales georreferenciados. En los primeros momentos se necesitaba un potente instrumental para poder trabajar con ellos; pero poco a poco se fueron desarrollando mejoras técnicas que han ido simplificando y popularizando la utilización de este tipo de programas.

Algunos autores han llegado a afirmar que “los Sistemas de Información Geográfica son el paso adelante más importante desde la invención del mapa”. Sin polemizar, este nuevo avance es una interesante y útil herramienta que facilita la compilación, análisis y divulgación de los datos geográficos. Además, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen ventajas respecto a la cartografía analítica, puesto que de forma automática permiten manejar datos espaciales georeferenciados, producir mapas temáticos y realizar procesos a la información. Todo ello justifica todo el esfuerzo de síntesis que se realice para conocer y entender los aspectos más relevantes de estos sistemas.

El desarrollo de los SIG ha corrido paralelo al progreso del hardware y del software. Los avances en la tecnología de los computadores personales (PC) se han visto correspondidos con unos Sistemas de Información Geográfica más potentes y fáciles de manejar.

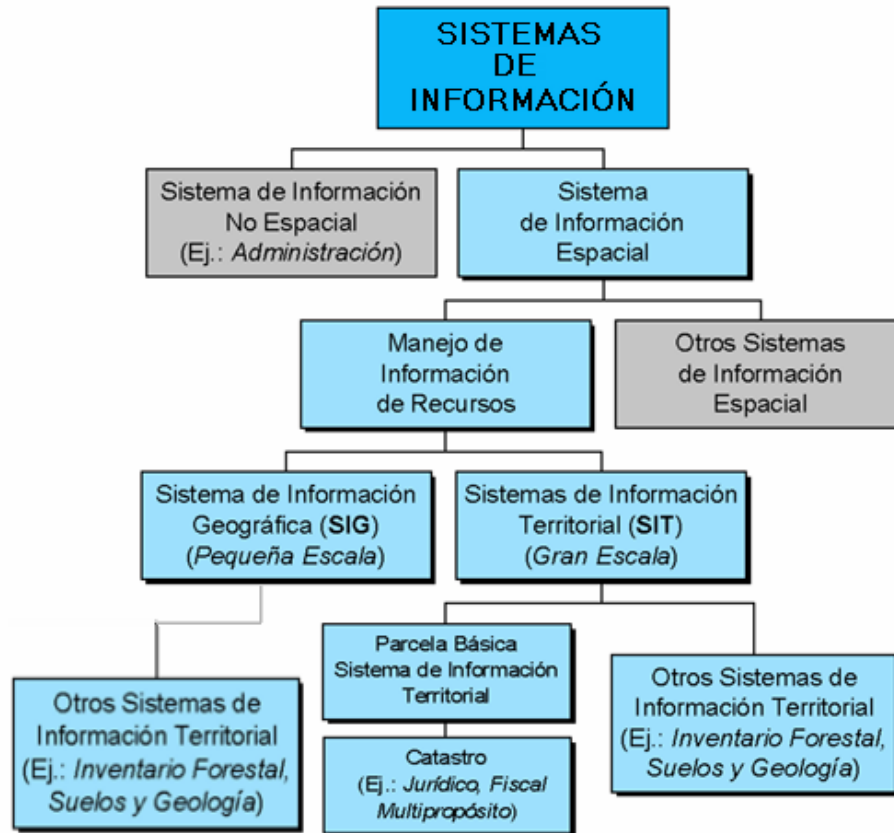
Quizás los aportes más importantes de los SIG, respecto a otros sistemas de información, son el marco de referencia y su capacidad de realizar análisis sobre un territorio o espacio definido. Es el adjetivo geográfico el que da la caracterización a esta herramienta.

A continuación se detalla lo que se estima aspectos fundamentales de los SIG.

Ámbito de los sig.

Los SIG constituyen una tecnología que forma parte del ámbito más extenso de los Sistemas de Información, que permiten analizar, evaluar y proponer alternativas de soluciones para la toma de decisiones con respecto de la información espacial y sobre el territorio.

Actualmente muchos profesionales utilizan la denominación de SIG para todos aquellos sistemas que tienen relación con el espacio.



Asimismo, se utiliza a menudo el término “Geoinformática” que es el empleo de las matemáticas y las técnicas informáticas para resolver problemas geográficos, normalmente creando o utilizando programas informáticos, modelos matemáticos o ambos.

Se dice que el 80% de la información que maneja una empresa, puede ser georreferenciada, es decir, se puede localizar en un lugar determinado por referencias geográficas (coordenadas, direcciones postales, sectores, barrios, etc.). Así, la Geoinformática añade la componente geográfica a la gestión de la administración de las empresas y organismos que gestionan información susceptible de ser georreferenciada, permitiendo una mejor y más eficiente gestión de los recursos.

La Geoinformática, dado su concepto integrador permite diseñar, crear e innovar información geográfica a través de modelos y proyectos basados en las ciencias y tecnologías de la teledetección, la cartografía, y la estructuración de sistemas de información geográfica, aplicados a la solución de problemas de tipo físico ambiental y socioeconómico que la sociedad plantea.

A lo anterior cabe agregar que la actual tendencia mundial referida a lo que se denomina la Infraestructura de Datos Geoespaciales (antiguamente conocidos como datos geográficos y cartográficos) tiene como fundamento la integración de todos los recursos institucionales, organizacionales, legales, humanos y técnicos

que permitan la recolección, administración y uso de la información geográfica fundamental que se produce; esto conlleva al empleo de un Sistema de Información Geográfico. En la actualidad, al simplificarse la producción, distribución e intercambio de información geográfica, se han multiplicado las aplicaciones en el ámbito geográfico - cartográfico.

En consecuencia la Geomática o Geoinformática, al igual que la Infraestructura de datos Geoespaciales solo se conciben con la existencia de los sig.

Definiciones

Con el objeto de establecer el marco conceptual se presentarán las distintas definiciones existentes respecto de los Sistemas de Información Geográfica. Se tratará de sintetizar, organizar y resumir las acepciones que existen de los SIG. La idea es generar el marco de referencia que permita a todos hablar en el mismo idioma. Igualmente se puede afirmar que “desde que la idea de los SIG fue concebida en sus inicios ha evolucionado de la misma forma que su conceptualización”

Una división que hace un autor sobre el concepto advierte que los Sistemas de Información Geográfica consideran tres aspectos: disciplina, proyecto y software.

Cuando corrientemente se expresa que se ha adquirido un SIG, esto expresa normalmente que solo se hace referencia al software que se compra a una de las empresas proveedoras.

Si se expresa que se está instalando un SIG, entonces se habla de un proyecto, esto implica más que la adquisición y uso de un programa, conlleva la recolección de información y su incorporación en el sistema, análisis y preparación para el manejo de la información por parte de los usuarios. Pero, por último, si se hace referencia a los SIG en general, usualmente se alude a la disciplina que incluye el software, el hardware, los proyectos concretos y las aplicaciones pertinentes que se organicen y cualquier otra aplicación, empleo o elemento relacionado con esta tecnología.

Es por ello que estos apuntes se centrarán en los SIG como disciplina, porque es el punto de vista que tiene mayor interés para la comprensión de estos sistemas.

Recopiladas algunas definiciones estas se han clasificados en definiciones globales, funcionales y tecnológicas.

Definiciones Globales son aquellas donde predomina la idea global y abstracta de la técnica.

Se tiene en consideración los objetivos generales de los SIG, sin especificar qué funciones realiza o métodos concretos que utiliza. Son definiciones donde importa menos el cómo y con qué, interesa fundamentalmente el qué.

- Los SIG, son un instrumento de percepción y comprensión del territorio
- Un SIG constituye una visión esquemática de una realidad compleja
- Un SIG se concibe como una especialización de un sistema de bases de datos, caracterizado por su capacidad de manejar datos geográficos, que están georreferenciados y los cuales pueden ser visualizados como mapas
- Un SIG es una base de datos espacializada que contiene objetos geométricos
- Un SIG abarca tecnología de la información, gestión de la información, asuntos legales y de negocios, y conceptos específicos de materias de un gran espectro de disciplinas, pero está implícito que es una tecnología usada para apoyar la toma de decisiones en la solución de problemas que tenga al menos una parte de componente espacial o territorial
- Un SIG constituye una herramienta para la investigación urbana y regional, análisis de políticas, simulación de actuaciones y planificación.
- Un SIG consiste en una base de datos que contiene datos georeferenciados espacialmente y, que como un LIS (Land Information System), tiene una serie de procedimientos y técnicas para la recolección, actualización y análisis de los datos

Definiciones funcionales, se refieren a las tareas que pueden realizar los SIG.

En principio estos sistemas deben servir para un objetivo básico que es la comprensión y uso de datos espaciales. La coincidencia en las funciones de los SIG es plena en casi todas las definiciones dadas por los distintos autores, siendo las más repetidas las siguientes: introducción, almacenaje, recuperación, análisis, modelamiento, simulación y representación. Las cuales se pueden agrupar en cinco grandes procesos: entrada de datos, uso de los datos, manipulación, análisis, y salida.

- Software utilizado para automatizar, analizar y representar datos gráficos georreferenciados y organizados según un modelo topológico
- Sistema computarizado que provee los siguientes conjuntos de operaciones para tratar datos georreferenciados:
 - entrada de datos
 - uso de los datos (almacenamiento y recuperación)
 - manipulación y análisis
 - salida

- Conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos
- Sistema para capturar, almacenar, validar, integrar, manipular, analizar y representar datos referenciados sobre la tierra
- Un sistema de base de datos computarizados para captura, almacenaje, recuperación, análisis y visualización de datos espaciales
- Colección de tecnología de la información, datos y procedimiento de captación de información, almacenamiento, manipulación, análisis y presentación en mapas y estadísticas sobre características que puedan ser representadas en mapas
- Actualmente, pueden considerarse como pseudo SIG, los sistemas de software que incluyen cuatro funciones (entrada, almacenaje, manipulación, y análisis y representación); y realizan eficientemente estas cuatro tareas
- Un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión
- Conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recolectar, verificar, intercambiar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar y mostrar datos espacialmente referenciados a la tierra
- Un SIG no es simplemente un sistema informático para hacer mapas, aunque pueda crearlos a diferentes escalas, en diferentes proyecciones y con distintos colores. Un SIG es una herramienta de análisis. La mayor ventaja de un SIG es que permite identificar las relaciones espaciales entre características de varios mapas. Un SIG no almacena un mapa en sentido convencional, ni almacena una imagen concreta o vista de un área geográfica. En vez de ello, un SIG almacena los datos a partir de los cuales se puede crear la escala deseada, dibujada para satisfacer un producto. En suma un SIG no contiene mapas o gráficos, sino una base de datos. El concepto de las bases de datos es central para un SIG, y es la principal diferencia entre un SIG y un simple graficador o sistema informático de cartografía, que solo puede producir buenos gráficos

Definiciones Tecnológicas son aquellas que reflejan un interés especial por la técnica utilizada; es decir, destacan el uso de la informática como medio para el fin último: la comprensión de los datos espaciales que permite adoptar decisiones que consideran el espacio mejor informadas.

- Tecnología informática para gestionar y analizar la información espacial

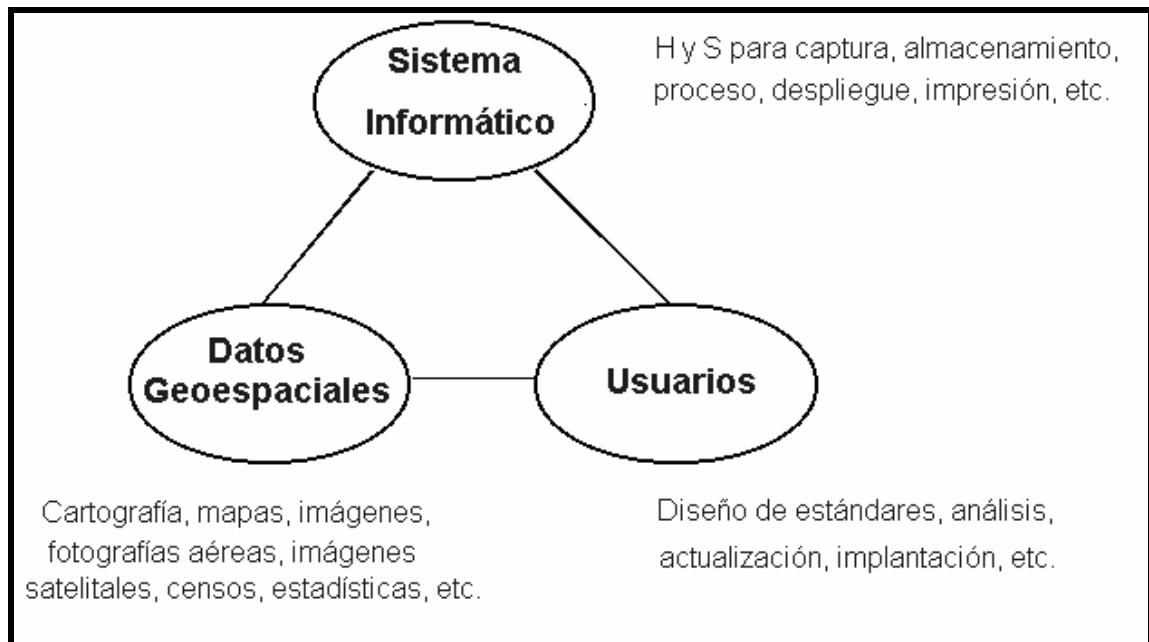
- SIG como denominación de bases de datos computadorizada que contiene información espacial
- Modelo informatizado del mundo real, descrito en un sistema de referencia ligado a la tierra, establecido para satisfacer unas necesidades de información específicas respondiendo a un conjunto de preguntas concretas
- Sistema digital para el análisis y manipulación de todo tipo de datos geográficos a fin de aportar información útil para las decisiones territoriales

Otras consideraciones, a lo anterior en forma adicional existen aspectos que caracterizan a los SIG, tales como:

- La capacidad de visualización de información geográfica compleja a través de mapas.
- La funcionalidad de los SIG como base de datos compleja, en la que se mantiene y relaciona información espacial y temática.
- La diferencia con las bases de datos convencionales estriba en que toda la información contenida en un SIG está unida a entidades geográficamente localizadas. Por ello en un SIG la posición de las entidades constituye el eje del almacenamiento, recuperación y análisis de los datos.
- Son una tecnología de integración de información.
- Se han desarrollado a partir de innovaciones tecnológicas disponibles en campos especializados, de la geografía y otras ciencias relacionadas como el tratamiento de imágenes, análisis fotogramétricos, cartografía automatizada y otras, para constituir un sistema único, con una mayor sinergia.
- Permiten unificar la información en estructuras coherentes y aplicar a la misma una tabla variada de funciones: análisis, visualización, edición, etc.
- Este carácter integrador y abierto, hace de los SIG área de contacto entre las mas diversas aplicaciones informáticas, destinadas al manejo de información con propósitos y formas diversos.

El sistema de información geográfico se define como sistema de información que se utiliza para ingresar, almacenar, recuperar, manipular, analizar y generar salidas de datos geográficamente referenciados o datos geospaciales, para apoyar la toma de decisiones para la planificación y administración de la utilización del suelo, recursos naturales, el ambiente, el transporte, instalaciones urbanas, y otros elementos relacionados con el espacio.

Los componentes dominantes de SIG lo constituyen un sistema informático, datos geospaciales y usuarios, según se muestra en la figura siguiente:



SIG y Geografía

El carácter interdisciplinario de los Sistemas de Información Geográfica es destacado por muchos autores. Son innumerables las ciencias y disciplinas que contribuyen a la construcción de un SIG o que necesitan de la información y los resultados del uso que de él se pueden obtener.

Aunque sea obvio, se estima necesario hacer presente que todas las disciplinas que requieren expresar propiedades relacionadas con el espacio utilizarán indefectiblemente cartografía.

La formación de los SIG procede de diferentes disciplinas científicas: geografía, ciencias ambientales, biología, economía, informática, ingeniería y otras.

Unas veces la expresión "Sistemas de Información Geográfica" se utiliza en plural, para referirse, genéricamente, a todos los sistemas, otras veces se usa en singular para calificar a una aplicación concreta (un SIG para la gestión municipal, un SIG de los recursos naturales, etc.).

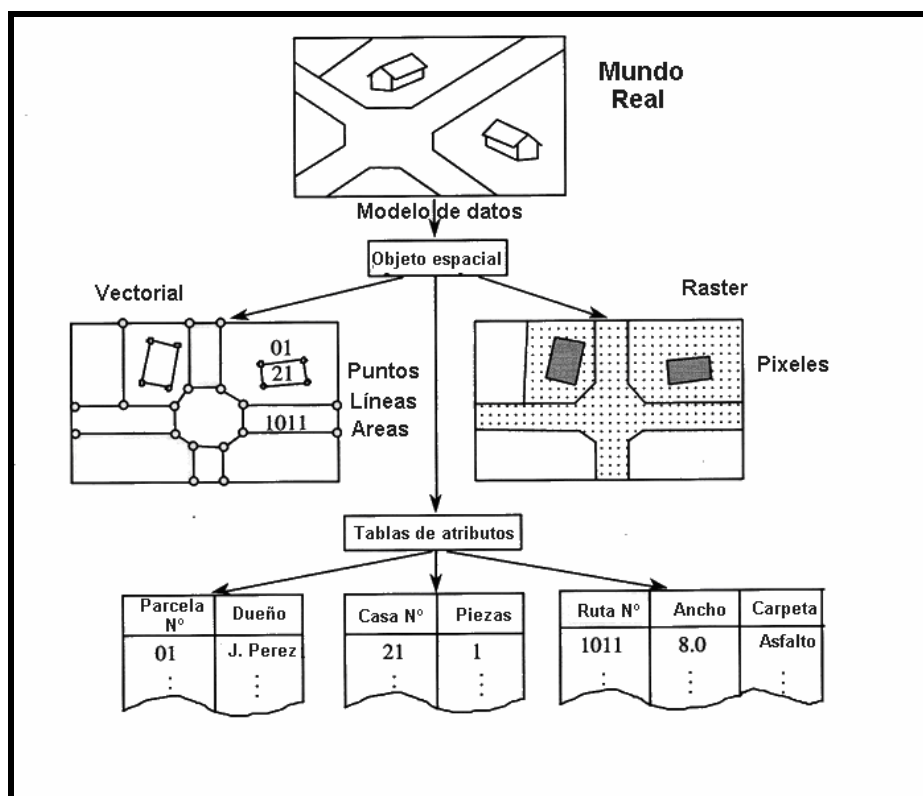
Pero si existe una disciplina que tenga una intensa y fructífera relación, tanto en el momento de su construcción como en el de su uso posterior, ésta es sin duda la ciencia geográfica y la cartografía.

Los SIG son cada vez más esenciales para la geografía. Algunos autores incluso los han calificado como el paso más importante después de la invención del mapa

Sin embargo, se puede expresar que los SIG han significado un cambio en el tratamiento de la información espacial.

Existen autores que dan un paso más al calificar a los SIG como ciencia de la información geográfica frente a los que la identifican como meramente instrumental. A pesar de las décadas de historia de esta herramienta no llega al grado de ciencia.

Los datos de Geospaciales se clasifican en datos gráficos (o los datos geométricos) y las cualidades o atributos (denominados también los datos temáticos). Además de los puntos, líneas y polígonos o áreas en el formato vectorial y de los pixeles en el formato raster, cada dato tiene una topología propia referida al tamaño, la forma, posición y orientación.



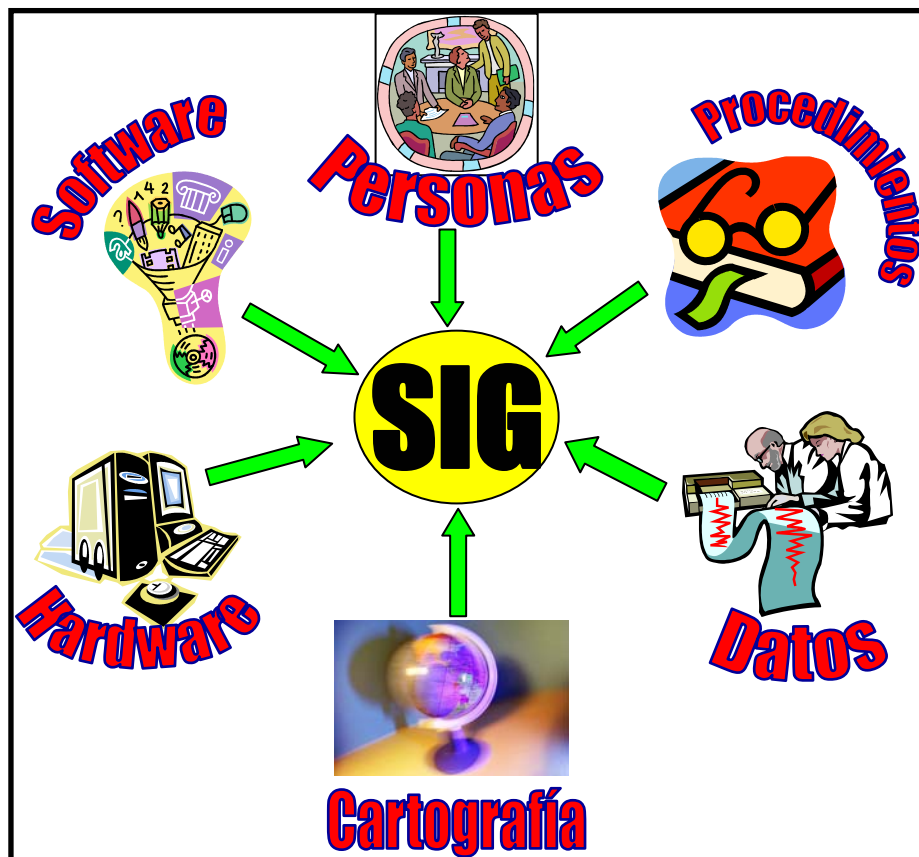
Los componentes de los Sistemas de Información Geográfica. Hardware y software

Básicamente un SIG está estructurado por los elementos fundamentales que son: hardware, software, datos, cartografía, metodología y personas (usuarios y operadores). El término sistema aplicado a este conjunto de componentes indica un rasgo estructural en la relación existente entre las partes.

El hardware o el componente físico del sistema se compone de una plataforma de computador (estación de trabajo, PC, etc.) y una serie de periféricos reunidos en

dos grupos fundamentales: de entrada y de salida. En los primeros se pueden incluir las mesas digitalizadoras, los scanner (lectores raster o barredores electrónicos) y el teclado; en los segundos, plotter o trazador, impresoras y monitores. Como grupo aparte, deben ser tratadas las unidades de almacenamiento. En ellas se pueden incluir desde una simple disquetera de 3.5', unidades de cinta, CD, DVD y discos ópticos.

En cuanto al software, “es el encargado de realizar las operaciones y la manipulación de los datos”. La variedad de modelos depende de las diferentes casas comerciales que intentan introducir su producto. La facilidad de acceso, la capacidad de almacenamiento y procesamiento y la posibilidad de análisis complejos constituirán elementos esenciales a evaluar en la calidad de un programa SIG. Cada vez es más numerosa la oferta de programas en el mercado.



Los datos geográficos constituyen la base de todo el sistema; sin ellos no tiene sentido ni el software ni el hardware, ni siquiera los usuarios. La dificultad en la recolección de algunos y lo perentorio de su actualización genera que sea este elemento el más costoso de todos los componentes de un proyecto SIG. Los datos pueden consumir el 70 % de todo el presupuesto de un proyecto. El éxito del

proyecto no está garantizado si no se tiene asegurada la actualización periódica de los datos. La dificultad en su representación es otro factor a tener en cuenta a la hora de organizar e introducir la información en el sistema.

Los usuarios también tienen un papel importante en la configuración estructural de un SIG. Todo está orientado para su uso. No tiene sentido una estructura bien montada que no esté pensada para ser utilizada por personal específico. Hay dos tipos de usuarios; los especializados y el público en general. Se denomina especializados a aquellos técnicos que trabajan con los sistemas en algunas de sus fases (introducción de datos, corrección, análisis, elaboración de cartografía, etc.), y que por ello deben tener una formación especializada; y público en general sería aquel que en algún momento tuviera que requerir información, de un SIG concreto. En este caso no se requiere una gran formación, y la adaptación debe estar en el sistema que debe ser 'amigable'.

Los procedimientos o la metodología estará determinada por un plan de trabajo que se diseñará en función de los objetivos definidos al iniciar el proyecto. Un mismo software puede variar al ser usado para temas distintos y por ello necesitar de métodos de trabajo distinto.

Finalmente la cartografía constituyen la base de cualquier SIG, puesto que ella muestra el espacio geográfico donde se grafican en forma georreferenciada los datos y se representan y modelan los inconvenientes sobre los cuales se requieren antecedentes que permitan apoyar informadamente la toma de decisiones que involucre el territorio en cuestión.

Resumen.

- “Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen numerosas ventajas respecto a la cartografía convencional, puesto que de forma automática permiten manejar datos espaciales internamente referenciados, producir mapas temáticos y realizar procesos de información de tipo digital”
- Puede hablarse de definiciones globales, funcionales y tecnológicas.
- Un Sistema de Información Geográfica puede definirse como un complejo sistema de 'hardware' y 'software' que tiene como objeto la comprensión y análisis de datos espaciales georreferenciados cuyo fin último es ayudar a las diversas actividades humanas donde los datos espaciales tienen un papel determinante.
- Básicamente un SIG está estructurado por los elementos fundamentales que son: hardware, software, datos, cartografía, metodología y personas.

LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

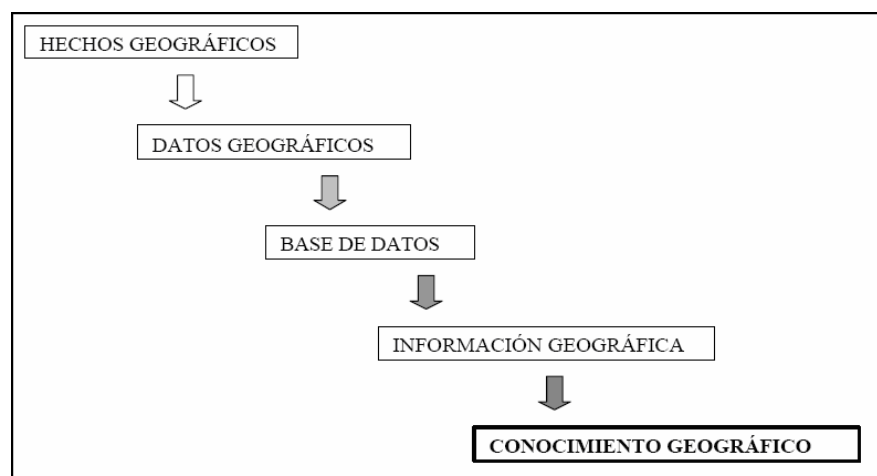
A continuación se presentará y analizará el objeto fundamental de los SIG que no es otro que la información geográfica. Es ella el objeto y el objetivo de esta nueva herramienta. Una herramienta que usa la información geográfica, la analiza, la transforma y es capaz de generar nueva. Por ello es imprescindible estudiar y sistematizar algunos aspectos y factores que singularizan este elemento.

Datos e información geográfica

Quizás sea conveniente distinguir entre datos e información. A veces se utilizan de forma indistinta pero se deben aclarar algunos rasgos diferenciadores. Ambos conceptos entran a formar parte del proceso para alcanzar el conocimiento geográfico. El camino, para obtener dicho objetivo, puede dividirse en cuatro partes bien diferenciadas.

En este proceso cognoscitivo la obtención de los datos sería el primer paso, siendo éstos definidos como la representación concreta de los hechos. Una segunda etapa sería la recopilación de estos datos en lo que podría llamarse una base de datos, presumiblemente digital.

Al culminar esta fase se entraría en una tercera donde se obtiene la información, que sería el resultado de un proceso interpretativo generado por el individuo que añadiría valor a los datos. Por último, se tendría la obtención del conocimiento del fenómeno a través de la interiorización conceptual de la información y que abriría la posibilidad al investigador de extraer razonamientos concluyentes.



El valor de alcanzar esta última fase radica en la dificultad que tiene conseguir una visión de una realidad compleja como es la geográfica. Una realidad que es la suma de hechos geográficos que producen unos datos que tienen una naturaleza y características singulares y que a continuación se analizan.

Características de los datos geográficos

Es evidente que la realidad geográfica es compleja y esta complejidad se origina en el carácter de los datos geográficos. Estas características pueden ser clasificadas en tres grupos diferenciados: las espaciales, las temáticas y las temporales.

En las primeras se incluirían la posición, las relaciones espaciales y las propiedades espaciales. Todas ellas responden a preguntas relacionadas con los aspectos consustanciales al carácter espacial de los objetos, es decir a la localización sobre el territorio, a su expresión morfológica o sus relaciones con otros hechos geográficos.

En las temáticas tendrían cabida todos aquellos atributos que no coinciden con los aspectos geométricos y topológicos. La gama de posibilidades es muy amplia y su clasificación heterogénea.

ESPACIALES	→	<i>Posición, relaciones y propiedades espaciales</i>
TEMÁTICAS	→	<i>atributos</i>
TEMPORALES	→	<i>variación en el tiempo</i>

Finalmente, hay que destacar lo que se denomina la componente temporal. El papel del tiempo como factor de cambio y a su vez explicativo de los procesos geográficos está fuera de duda. A pesar de la aceptación por parte de la comunidad científica de esta aseveración, la dificultad para reflejar cartográficamente el fenómeno ha provocado un menor interés por profundizar en estos aspectos, pues añade un grado más de complejidad a la información geográfica. Algunas de las soluciones adoptadas para reflejar los procesos espacio-temporales son las secuencias de mapas, mapas de diferencias temporales y mapas animados. Realmente los SIG tampoco han alcanzado mejores resultados en la captura de los procesos temporales. La tradición estática de la cartografía tradicional ha sido un lastre para una nueva visión dinámica que se puede ver favorecida por el uso de lo que podría denominarse la cartografía automatizada o apoyada por computadores que en si mismos tienen una fuerte componente temporal.

Componente espacial y temática

En este aspecto se intentará profundizar en dos de las componentes básicas de la información geográfica: la espacial y la temática.

Se puede hablar de tres aspectos distintos dentro de la componente espacial: la localización geográfica, las relaciones espaciales y las propiedades espaciales.

Localización.

También denominada posición, respondería a preguntas como ¿dónde está localizada la entidad X? o ¿qué entidad se encuentra en la posición Y? Se trata de referenciar cualquier hecho geográfico respecto al globo terrestre. Esta referenciación adopta el nombre de Georreferenciación. Puede ser de dos tipos: Directa y Continua o Indirecta y Discreta.

La primera estaría basada en la utilización de una red de coordenadas que se establecen a nivel global o terrestre. Las más usuales pueden ser las coordenadas geográficas generadas en latitud y longitud, o las conocidas como UTM. Así se obtiene un valor absoluto de localización de cualquier punto existente en el planeta.

La segunda sería una forma de medida relativa que se obtendría de colocar en relación el hecho geográfico estudiado con unidades territoriales administrativas del tipo del código postal, la dirección, el municipio, la provincia, etc. Esta fórmula es utilizada por muchos organismos institucionales para proporcionar información geográfica ligada a los distintos niveles administrativos de un país.

Relaciones espaciales.

Determinan las interrelaciones geométricas y topológicas entre elementos en el espacio. Es decir responden a preguntas como:

- ¿qué está junto a?
- ¿Que hay en 500 metros del punto X?
- ¿Qué distancia hay entre dos puntos?
- ¿Cuál es la siguiente parada en la línea 1 de autobuses?
- Etc.

Todas ellas se pueden responder a partir de la geometría o la topología. De otra manera se puede decir que la topología tiene en cuenta las relaciones de carácter cualitativo mientras que la geometría es cuantitativa. La distancia entre dos puntos medida en metros sería una relación geométrica mientras que la contigüidad entre dos elementos sería topológica.

No siempre los sistemas incluyen de forma automática las relaciones espaciales entre los objetos, de hecho en muchos de ellos se necesita ejecutar comandos específicos para que el programa tenga en cuenta las relaciones topológicas (es lo

que en algún caso se denomina dar topología). Quizás sea ésta una de las características más complejas tanto por el elevado número de posibles relaciones espaciales como por las complicadas operaciones que debe realizar el programa para establecerlas. Según unos autores, algunas de las relaciones espaciales posibles estarían comprendidas dentro de este listado:

Cuadro 3.2 Algunas de las relaciones espaciales

<i>1. A la derecha</i>	<i>10. Lejos de</i>
<i>2. A la izquierda</i>	<i>11. Tocando con</i>
<i>3. Junto a</i>	<i>12. Dentro de</i>
<i>4. Entre</i>	<i>13. Fuera de</i>
<i>5. Encima de</i>	<i>14. Al norte</i>
<i>6. Debajo de</i>	<i>15. Al sur</i>
<i>7. Detrás de</i>	<i>16. Al este</i>
<i>8. Delante de</i>	<i>17. Al oeste</i>
<i>9. Cerca de</i>	<i>18. Próxima</i>

Como resumen de lo anteriormente expuesto podría hablarse de cuatro grandes características, una geométrica y tres topológicas. La distancia entre dos puntos sería la geométrica, y la contigüidad, conectividad e inclusión serían la topológica.

Propiedades espaciales

Se encuentran determinadas por el tipo de elemento espacial que se considere. Dependiendo si se refiere a líneas o polígonos las propiedades espaciales difieren. En algunos casos cuando se introduce en el sistema el elemento automáticamente se añaden estas propiedades y en otros casos éstas deben ser añadidas por el que digitaliza. Las líneas tienen como propiedades espaciales la longitud, forma, pendiente y orientación mientras que los polígonos pueden tener el perímetro, la forma, la orientación y la pendiente. En todos los casos se debe distinguir entre el objeto real y el elemento que lo representa en el proceso de su conceptualización digital. Por ejemplo un río puede ser representado por una única línea cuyo ancho puede ser arbitrario mientras en la realidad el ancho está claramente determinado.

En segundo lugar se analiza la componente temática que son los atributos asociados a cada una de las entidades espaciales. Estos atributos pueden ser de muy diferente calado pero son esenciales a la hora del análisis espacial. Por ello se describirán tres aspectos esenciales para introducir la componente temática en el sistema: los tipos de variables, la escala de medida y el principio de autocorrelación.

Los atributos temáticos o variables pueden clasificarse según el valor que tomen y el origen de los datos. En el primer caso se darían dos tipos de variables: discretas y continuas. Las segundas toman cualquier valor entre dos cifras dadas. Es decir, admite la posibilidad de decimales mientras las primeras no admiten esta posibilidad (una superficie o una longitud serían variables continuas, mientras el número de habitantes de un municipio o de automóviles se denominarían discretas).

En cuanto al origen se pueden distinguir entre fundamentales y derivadas. Las fundamentales serían aquellas obtenidas directamente, en cambio las derivadas se consiguen a partir de la realización de operaciones aritméticas. En este punto es posible distinguir variables derivadas simples y complejas. Las primeras serían las obtenidas a partir de operaciones aritméticas simples mientras las segundas su obtención necesitaría de un proceso estadístico y matemático más complejo. Por ejemplo la densidad de población o el porcentaje de población urbana encajarían en el primer tipo, y el número z o el índice de desarrollo humano pertenecería al segundo.

Otro de los aspectos destacables es lo que unos autores denominan la escala de medida. En el momento de introducir la información se puede optar por incluir el valor o por utilizar una escala inferior. De menor a mayor, algunas de las escalas posibles son:

Escala nominal, en ella se distingue exclusivamente por clases distintas. Normalmente no es numérica sino que es un nombre o código numérico. Un tipo dentro de la nominal sería la variable dicotómica (presencia/ausencia).

Escala ordinal, se establece un orden dentro de las unidades espaciales. Es una relación de jerarquía por lo que se obtiene información del lugar o puesto que ocuparía una variable dentro de la totalidad.

Escala de intervalos, distingue por las diferentes distancias entre unidades. Se especifican unas medidas en donde estaría incluida cada una de las variables. Es cuantificar de forma única cada unidad espacial existente.

No siempre se puede obtener la información concreta de cada unidad espacial que se están introduciendo en el sistema. Por ello se admite en determinados casos lo que algunos autores denominan los principios de autocorrelación espacial y temporal. En síntesis, ambos principios defienden que la variación de los atributos en el espacio y en el tiempo no se presenta de forma aleatoria sino que mantienen unas pautas de cambio que se basan en la proximidad o lejanía tanto espacial como temporal. Es decir, cuanto más cercano en el espacio y en el tiempo estén los valores entre sí dentro de las unidades espaciales analizadas, sus atributos serán más parecidos. Utilizando estos principios es factible obtener información a partir de lo que se denomina interpolación, que no es otra cosa que aceptar que existe una variación continua y estable en el espacio y el tiempo.

Los mapas y la información geográfica

Rara vez se obtiene la información geográfica de forma directa a partir de trabajo de terreno o de levantamientos topográficos. Por ello es frecuente utilizar cartografía institucional obtenida mediante métodos directos para que sirvan de base para la introducción de la propia información. Los mapas pueden ser clasificados usando múltiples criterios. Se exponen seguidamente aquellos que se consideran de mayor interés dentro de los objetivos de los SIG.:

Formato; según el soporte en el que es conservado se pueden distinguir dos posibilidades: el soporte analógico y el digital. En el primero se incluiría todo aquel que no fuera apoyado por computadores, es decir papel, poliéster, tela, etc. El segundo sería todo aquel soporte informático con capacidad de almacenamiento de datos. En este segundo caso, y sin entrar en especificidades de formatos gráficos digitales se puede advertir una nueva división entre los que se denomina cartografía SIG y cartografía CAD, o lo que es lo mismo entre mapas digitales con o sin georreferenciación respectivamente.

Tipo; este segundo criterio permite hablar de dos posibilidades: los mapas topográficos y los temáticos. Los primeros incluirían la información básica territorial (Curvas de nivel, toponimia, red hidrográfica, núcleos de población, etc.) y los segundos proporcionarían información exclusiva de un tema concreto (tanto física como humana). A veces los mapas temáticos tienen una componente topográfica importante.

Escala; se refiere no tanto a la escala concreta numérica del mapa sino a los distintos niveles administrativos que puede cubrir. De igual modo este criterio puede ser usado en función del nivel administrativo del organismo que la origina. En cualquiera de las dos posibilidades la clasificación posible sería: local, comunal, provincial, regional y nacional.

Difusión; con este criterio se atiende al alcance que tiene la cartografía. Se distingue entre pública, privada y restringida. La primera sería aquella editada y publicada por una institución u organismo público y cuya difusión es pública de forma gratuita o bajo un precio regulado. Se entendería por privada aquella realizada por una empresa privada a partir de un encargo específico, y por último la restringida es la cartografía realizada por cualquier tipo de institución sea pública o privada para uso exclusivo de la misma.

Zona; dependiendo del ámbito a cartografiar se pueden distinguir tres grandes grupos: terrestre, aeronáutico y marítima. El área del litoral es cubierto por todas las cartografías en los respectivos lugares que sea comprendido.

Actualización; la cartografía puede ser actualizada de forma periódica o puntual. La primera normalmente coincide con una cartografía seriada realizada por alguna institución pública.

Organización; consideraría a la iniciativa con la que se realiza la cartografía. Es decir si se trata de una serie cartográfica (la cartografía de Chile a escala 1:50.000, el mapa de usos del suelo, los mapas regionales, etc.), de un iniciativa individual (la realización del mapa de Santiago,) o de mapas considerados en un proyecto puntual (planos reguladores comunales)

Función; tiene mucha similitud con el criterio organización y define la función para la que se realiza el mapa. Según este criterio deben distinguirse tres tipos:

- Institucional que abarca la información básica de un territorio definido. (cartografía de Chile a escala 1:50.000, el plano de la ciudad de Iquique a escala 1:10.000)
- Los proyectos adicionales que sustentarían los requerimientos o necesidades de un proyecto territorial público concreto.
- La actividad privada, que sería similar a la anterior pero en el ámbito privado.

Problemas de la información geográfica

Cuando se trabaja con información geográfica pueden aparecer numerosos problemas que, de forma general, es posible clasificarlos en dos grandes grupos:

- los derivados de la existencia y calidad de los datos, y
- los provenientes del proceso de introducción de éstos en un Sistema de Información Geográfica.

Problemas de la información geográfica

- Producto de los datos (disponibilidad y calidad)
 - Acceso restringido a la información
 - Falta de homogenización en el modelo de datos
 - Ausencia de datos
 - Escala inadecuada de la información
 - Falta de secuencia cronológica
 - Falta de actualización
 - Carencia de datos
 - Falta de fiabilidad de los datos
 - Falta de fiabilidad de las encuestas y estadísticas
 - Tipología digital diferente.
- Producto del proceso de incorporación al SIG.

- Errores en la captura de datos
- Errores en el almacenamiento
- Errores en la manipulación
- Errores en la salida cartográfica

Como se observa, es esencial controlar todo el proceso de captura de la información, de no ser así las probabilidades de obtener éxito en la creación de una base de datos geográfica se reducen. Por ello hay que tener presente las dos fases sustanciales de este proceso, es decir la búsqueda y selección de la información y la introducción de ésta en el sistema en cualquiera de sus etapas.

En la primera fase los problemas sobrevienen desde diferentes frentes:

- A veces el acceso a la información está restringido por distintos motivos (defensa, seguridad, privacidad, etc.), por lo que es casi imposible contar con datos fiables.
- Cuando se encuentra con datos en formato digital y el modelo de datos utilizado no es compatible con el que se trabaja. Por ejemplo si utiliza un tipo de base de datos con una serie de campos con tipología de caracteres impedirá realizar operaciones aritméticas con esa variable.
- Las bases de datos digitalizadas mantienen unos precios elevados cuando existen.
- En ocasiones la dificultad radica en la escala, cuanto mayor sea ésta la dificultad para encontrar la información se multiplica.
- Estudiar la evolución de un fenómeno territorial (por ejemplo la expansión urbana) se hace complejo por la inexistencia de información geográfica a la misma escala de un área territorial concreta.
- Existen fenómenos que necesitan una actualización casi inmediata por lo que los datos pierden su actualidad muy rápidamente, esto ocurre sobre todo en fenómenos espaciales de gran dinamismo.
- En ocasiones simplemente el problema está en la escasez o inexistencia de algún tipo de dato geográfico.
- La fiabilidad de la información obtenida a través de la cartografía y las estadísticas no es alta en algunas ocasiones.
- Por último, los problemas derivados de la utilización de diferentes formatos digitales. En la mayoría de los casos los procesos de conversión de información a formatos distintos supone una pérdida de calidad y de cantidad de la información.

Con posterioridad a esta fase se comenzará con la introducción de la información seleccionada en el sistema, y aquí surgen otros problemas que en este caso son atribuibles a la capacidad de control del proceso cartográfico. Desde el proceso de digitalización donde la profesionalidad y experiencia del operador son esenciales pasando por la capacidad de almacenaje de la base de datos (cuanto mayor sea el número de dígitos almacenados mayor será la precisión) hasta la salida cartográfica donde el soporte usado puede crear imprecisiones, todas las etapas tienen el riesgo importante de provocar deficiencias en la calidad de la información.

Resumen

- Los datos se definen como la representación concreta de los hechos.
- La información sería el resultado de un proceso interpretativo generado por el individuo que añadiría valor a los datos.
- Las características de la información geográfica pueden ser clasificadas en tres grupos diferenciados: espaciales, temáticas y temporales.
- Se puede hablar de tres tipos dentro de la componente espacial: la localización geográfica, las relaciones espaciales y las propiedades espaciales.
- Existen tres aspectos esenciales para introducir la componente temática en el sistema: los tipos de variables, la escala de medida y el principio de autocorrelación.
- Algunos de los criterios para clasificar los mapas son: formato, tipo, escala, difusión, zona, actualización, organización y función.

MODELOS Y ESTRUCTURAS DE DATOS

Una etapa esencial en la construcción de un Sistema de Información Geográfica es la elección del modelo de datos. Hay que convertir los datos espaciales que proporciona la realidad en digitales comprensibles por el software elegido. Sería el paso que autores denominan de la realidad al bit. En este proceso se crean una serie de reglas que permiten la translación de la realidad espacial compleja a una representación sintética digital. Estas reglas son básicamente lo que se podrían denominar el modelo de datos.

Partiendo de esta premisa se puede afirmar que existen dos grandes formas para estructurar la información real en un sistema informático, estas son el modelo vectorial y el modelo raster. A su vez ambas pueden cubrir otros tipos de modelos que tienen más relación con la forma de concebir el espacio que con el modelo lógico utilizado. Los modelos a los que se refiere son el orientado a niveles y el orientado a objeto. Por último, hasta ahora se ha estado hablando de modelos bidimensionales, es decir aquellos que no contemplan las tres dimensiones. La incorporación de una tercera dimensión es posible a partir de los Modelos Digitales de Terreno (MDT) que pueden ser implementados tanto desde modelos raster como vectoriales.

El modelo raster o teselar.

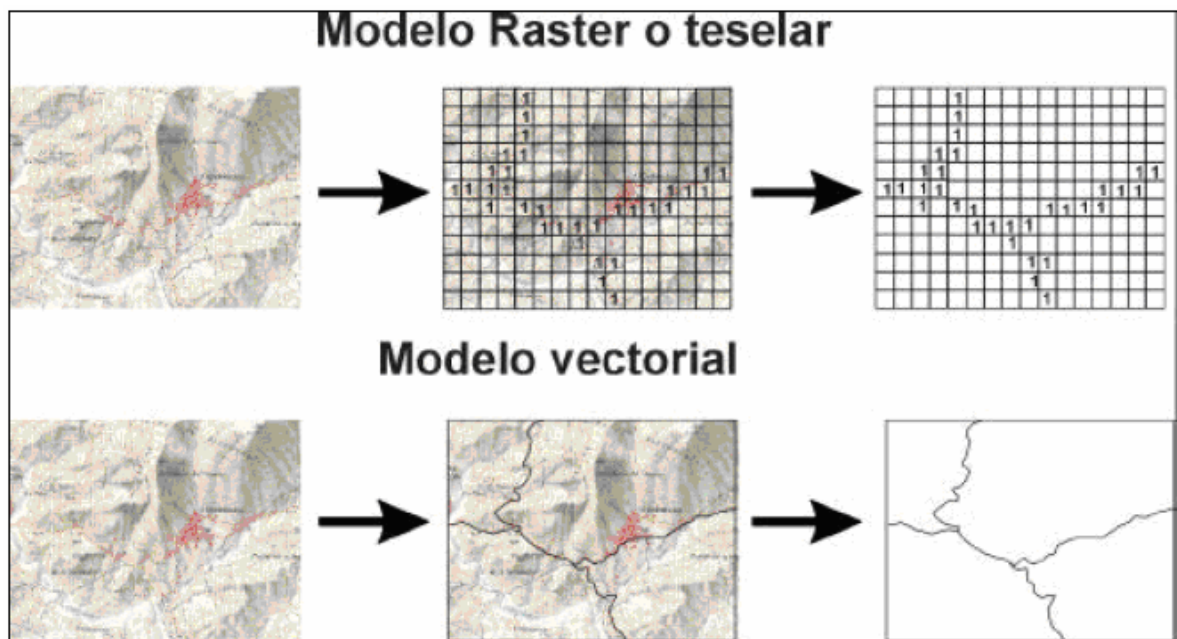
Su característica básica es la creación de una trama de celdas o píxeles en la que cada una de ellas tiene una única propiedad espacial. En este modelo lo que interesa es la propiedad espacial más que los límites exactos. Utiliza una base teórica similar a la teledetección por lo que la integración de la información geográfica obtenida a través de las imágenes satélites es más sencilla y directa.

La celda es el elemento básico de este modelo. Generalmente su forma es cuadrada o rectangular y todas tienen el mismo tamaño formando un entramado regular. Con su tamaño se determina la escala de la imagen que se está introduciendo, lógicamente cuanto más pequeña sea ésta mayor será la escala de resolución que se obtenga. Hay excepciones a la regularidad del tamaño de la celda en modelos complejos cuyo ejemplos más significativos son el quadtree y octree. (Estructura de datos jerárquica basada en el principio de la descomposición cíclica del espacio en cuadrantes y octantes, resultando en una determinada estructura de árbol. Se emplea con el objetivo de reducir el espacio de almacenamiento y el tiempo de procesamiento de los datos. Cuando la descomposición es en cuadrante se denomina quadtree y cuando lo es en octantes octree)

Definiciones de Modelo Raster

- Sistema de almacenamiento de datos de un SIG que parte de dividir el terreno en una serie de celdillas regulares, sobre las que se codifican las distintas variables que integran el sistema.
- Referido al modelo que emplea una matriz regular de celdas que cubren un área, conteniendo valores numéricos, para la representación del espacio. En este modelo, las relaciones topológicas entre las entidades geográficas están implícitamente definidas por la disposición de las celdas en la matriz.
- Una base de datos que contiene la información espacial dentro de un formato de entramado regular de celdillas.

En el modelo raster, los límites no quedan recogidos de forma explícita sino que se deben suponer de la delimitación de las celdas que forman la tesela. La información se estructura en niveles que contienen elementos de una misma variable.



El modelo vectorial

Cada entidad geográfica se representa a partir de tres elementos básicos, denominadas primitivas: puntos, líneas y polígonos. Las propiedades de las entidades constituyen el criterio de diferenciación. En este caso los límites de los objetos están representados de forma explícita. Según algunos autores este método se acerca más a la forma de percepción que tiene el ser humano. Es, quizás también, el modelo más intuitivo al momento de introducir la información.

Definiciones de modelo vectorial

- Forma de almacenamiento de datos en la cual las distintas unidades temáticas se definen por las coordenadas de sus bordes. Una descripción topológica asociada a esa información gráfica permite reconstruir posteriormente las variables temáticas asociadas a esos polígonos.
- Es uno de los modelos del espacio por excelencia más utilizados. Los elementos geométricos o gráficos del modelo vectorial son los puntos, líneas, los polígonos y los volúmenes. Las relaciones existentes entre ellos quedan explícitamente definidas mediante el empleo de la topología y sus características descriptivas están caracterizados por los datos alfanuméricos.
- Medio para la codificación y almacenaje de puntos, líneas y polígonos en forma de unidades de datos expresados en magnitudes, dirección y conectividad.

La estructura arco-nodo que es la predominante en los SIG vectoriales actuales (Arcinfo por ejemplo), según autores, ha favorecido el análisis ambiental. Éste análisis, de mayor complejidad que otros, se adapta mejor a una estructura menos regular que la teselar o raster que utiliza polígonos de perímetros rectos creando celdas.

La representación vectorial va unida a la concepción del territorio como un continuo. Claro ejemplo de ello es el carácter continuo de la geocodificación. Las coordenadas geográficas son un tipo de geocodificación en las que se usa números reales, fiel reflejo de la continuidad espacial.

Ventajas y desventajas de los modelos raster y vectorial

A pesar de que se van a analizar con mayor profundidad estos dos modelos, sobre todo en aquellos aspectos relativos a la manera de introducir la información; seguidamente se compararán según sus capacidades y las ventajas e inconvenientes que trae la gestión de la información en cada uno de ellos.

La polémica raster versus vectorial parece definitivamente superada. Pues en los últimos años la mayor parte de los SIG comerciales han ido integrando en sus programas los módulos adecuados para poder utilizar las mejores cualidades de cada uno de los modelos. A pesar de esto, aún, muchos usuarios de SIG se plantean este dilema en el momento de adquirir un software concreto. Se ha intentado hacer una valoración de las distintas opiniones existentes en la tabla siguiente, en la que se comparan algunas funciones y capacidades de ambos. Igualmente, en forma seguida se explican brevemente los resultados:

Estructura de datos. Por un lado la estructura raster es más simple y por tanto más sencilla de comprender pero por otro lado la vectorial es más compacta y permite unas capacidades de análisis mayores.

Introducción de datos. De igual modo cada una adquiere diferente dificultad en función del origen de los datos. El modelo raster admite mejor la información procedente de las imágenes satélites o la información adquirida a través de un barredor digital. Por otro lado la información de pantalla o la recolección a partir de mesas digitalizadoras se adaptan mejor al modelo vectorial. La introducción directa alfanumérica es mucho más pesada en el modelo raster.

Almacenamiento. A pesar de las mejoras alcanzadas en el modelo raster, sus necesidades de espacio de almacenamiento son mayores que para el vectorial. A un mismo número de entidades geográficas el espacio ocupado por la información raster puede doblar a la vectorial. Debido a ello la operatividad y versatilidad de los programas vectoriales es bastante mayor.

Gestión de datos. En el modelo vectorial las características de las entidades pueden ser consultadas como objeto individual o en conjunto. En el raster sólo se pueden consultar las características de cada celdilla y no las entidades en su conjunto.

Representación topológica. En el raster, a veces, algunas relaciones topológicas son difíciles de representar mientras que el vectorial genera una codificación eficiente de la topología.

Integración de imágenes satélites. El formato en bit de las imágenes satélites hace más eficiente al raster a la hora de integrar estas imágenes como información geográfica y su facilita el análisis posterior.

Análisis de redes. Como ya se expuso anteriormente el modelo vectorial es más eficaz a la hora de asumir algunas de las relaciones topológicas y por ello esta estructura es la más adecuada para trabajar en el análisis de redes.

Análisis poligonal. Por el contrario la regularidad de la celdilla del modelo raster favorece el análisis poligonal. Por ejemplo la superposición de mapas es una tarea que cumplen con mayor rigor los programas cuyo modelo es el raster.

Análisis estadístico. La estructura raster facilita en alguna medida el análisis estadístico y gráfico, sobre todo el poligonal.

Salida cartográfica. Parece consensuado que las capacidades de salida cartográfica son mayores en los programas vectoriales que en los raster. Los mapas generados por formatos vectoriales se asemejan en gran medida a los realizados manualmente.

Finalmente, sólo advertir que este análisis comparativo es altamente relativo pues en una parte importante depende del software que se utilice y de las necesidades que se tenga que cubrir con el Sistema de Información Geográfica. Si se atiende a la media, parece que el modelo vectorial es algo superior en prestaciones al raster pero si la preocupación se centra en el análisis poligonal o en la integración de imagen satelital está percepción puede variar por completo.

Comparación relativa entre el modelo raster y vectorial

Función / Capacidad	Raster	Vectorial
Estructura de datos	2	2
Introducción de datos	2	2
Almacenamiento	1	3
Gestión de datos	2	2
Representación topológica	1	3
Integración imagen satelital	3	2
Análisis lineal o de redes	1	3
Análisis poligonal	3	2
Análisis estadístico	3	2
Salida cartográfica	2	3

0= sin capacidad, 1= poca capacidad, 2 = capacidad media, 3 = capacidad alta

Modelo orientado a niveles y orientado a objetos

Otro de los debates que han tenido lugar es la dicotomía entre el modelo tradicional orientado a niveles basado en gran medida en las bases de datos relacionales y el modelo orientado a objetos que necesita de una tecnología más avanzada y compleja. El primero intenta representar el modelo del mundo real que se reproduce en los mapas tradicionales mientras que el segundo intenta reflejar el mundo real en si mismo.

Se parte de un concepción distinta del espacio en la tecnología orientada a objetos el espacio es un elemento por sí, siendo el continente de todas aquellas entidades geográficas que se den sobre él. Se advierte que las bases de datos orientadas a niveles distinguen y separan los elementos gráficos de los atributos. Es artificial y confuso separar la definición de objeto de las operaciones posteriores realizadas con ellos.

Incluso empresas que desarrollan SIG orientado principalmente a niveles, se atreven a afirmar que "la orientación a objetos es un potente concepto que promete ofrecer métodos muy útiles para la construcción de sistemas. La limitación inherente a las tecnologías orientadas a objetos es que sus productos comerciales no han alcanzado el estado de madurez y comprensión necesarios".

Modelo Digital de Terreno

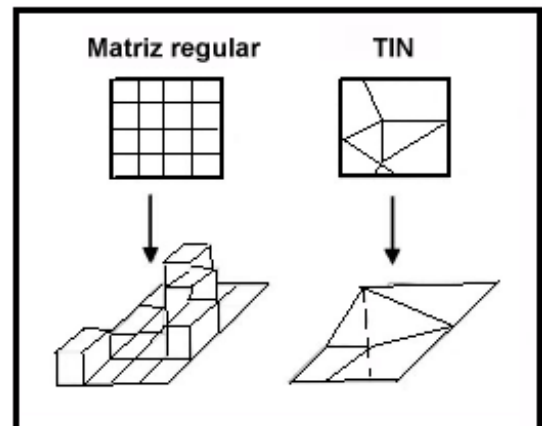
Los modelos digitales de terrenos (MDT) pueden ser tanto raster como vectorial. Siguiendo una definición, un MDT sería una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Una tipología especial de MDT sería el modelo digital de elevaciones (MDE) cuya variable 'z' midiera la altitud. En resumen se trata de un técnica que posibilita la representación de una variable continua, frecuentemente la altura, en un grafismo tridimensional.

Definiciones de Modelo Digital de terreno

- Generalmente representa la topografía del terreno, es decir, la altura de cada punto de un territorio. Pero, en realidad, se puede crear un MDT de cualquier hecho que cumpla unas mínimas características, esencialmente la continuidad espacial en la variación.
- Es un procedimiento computacional por el cual se representa el espacio geográfico en tres dimensiones.
- Una representación digital de una variable continua sobre una superficie de dos dimensiones por una regular cadena de valores z referenciado con datos concretos. Se usa normalmente para representar el relieve del terreno.

Tanto los MDE como los MDT son muy útiles pues permiten plantear y resolver problemas utilizando esta nueva perspectiva. Las características de los problemas territoriales que se presentan en las distintas ciencias que involucran el territorio utilizan esta técnica que se torna imprescindible en algunos aspectos (análisis de cuencas visuales, mapas de pendientes, problemas de erosión, etc.). No sólo por su capacidad de visualización en 3D, sino también y sobre todo por sus potencialidades en la prospección.

Las estructuras más utilizadas y representativas para almacenar y construir los modelos digitales de terreno son cuatro según un autor: las isopletas o contornos, la red irregular de triángulos (TIN), las matrices regulares y las matrices jerárquicas escalables. Las dos primeras se incluirían dentro de los modelos vectoriales y las dos segundas en los raster.



Hay que destacar que los modelos raster debido a su configuración estructural tienen mayor facilidad y capacidad para construir los modelos digitales de terreno

y de elevación, pero por otra parte las nuevas versiones del software vectorial más utilizados han adaptado y mejorado sus estructuras a las necesidades de los MDT.

Resumen

- Existen dos grandes formulas para estructurar la información real en un sistema informático, esto es el modelo vectorial y el modelo raster.
- El modelo raster se caracteriza por la creación de una trama de celdas o píxeles en la que cada una de ella tiene una única propiedad espacial.
- En el modelo vectorial cada entidad geográfica se representa a partir de tres elementos básicos: puntos, líneas y polígonos.
- La polémica raster versus vectorial parece definitivamente superada. Pues en los últimos años la mayor parte de los SIG comerciales han ido integrando en sus programas los módulos adecuados para poder utilizar las mejores cualidades de cada uno de ellos.
- La orientación a objetos es un potente concepto que promete ofrecer métodos muy útiles para la construcción de sistemas. La limitación inherente a las tecnologías orientadas a objetos es que sus productos comerciales no han alcanzado el estado de madurez y comprensión necesarias.
- Un MDT sería una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continúa.

MODELOS DIGITALES DE TERRENO

Los modelos digitales de terreno son muy utilizados a la hora de analizar los procesos espaciales y ambientales. Es un complemento perfecto para los Sistemas de Información Geográfica. Cada vez más los programas de SIG integran herramientas que posibilitan la creación de modelos digitales. La integración de ambos (SIG y MDT) favorece un mayor grado de profundidad y acierto en el análisis de la problemática ambiental.

Aunque no todos los autores están de acuerdo, no se va a diferenciar entre Modelo Digital de Terreno (MDT) y Modelo Digital de Elevación (MDE). A todos ellos se le va a denominar MDT tanto para aquellos donde 'z' mida la altitud como para cuando represente cualquier otra variable. Se debe insistir que serán los primeros los que interesan actualmente para los SIG.

Parece probable que uno de los primeros lugares donde se trabajó con modelos digitales de terreno fue el Laboratorio de Fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachussetts en los años 50. A partir de ese momento y de forma paulatina se fueron ampliando las aplicaciones sobre todo dentro del entorno de los SIG y la cartografía digital de los Estados Unidos. Merecen ser destacados el Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis en los finales de los sesenta y el U.S. Geological Survey en los ochenta que estandariza la información de un modelo digital de terreno en su país.

El objetivo es acercar en forma inicial a los modelos digitales de terreno sobre todo atendiendo a su concepción teórica y las aplicaciones que tiene en los aspectos medioambiental.

Aspectos generales de los modelos digitales de terrenos

Los MDT se basan en la concepción general de Modelo. Un modelo, referido al ámbito geográfico, es una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades. Existen diferentes tipos de modelos en virtud de su correspondencia con la realidad: icónicos, analógicos y simbólicos.

En los **icónicos** la relación de correspondencia se establece a través de las propiedades morfológicas.

Los **análogos** poseen algunas propiedades similares a los objetos representados.

Por último, los **simbólicos** tienen un nivel mayor de abstracción ya que el objeto real es representado mediante una simbolización matemática.

Sería en este último donde se incluirían los modelos digitales de terreno que no son otra cosa que una modelamiento matemático de alguna característica

espacial. Estos modelos cumplen unos requisitos que otros modelos no consiguen y son los siguientes:

- Estar exentos de ambigüedad
- Tener posibilidad de modelamiento de los procesos
- Verificable
- Repetibilidad de los resultados

Por último, y antes de introducirse en la estructura general de los MDT, se insiste en la definición anterior sobre Modelos Digitales de Terrenos que era una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Es la definición teórica de los que otros han denominado mapas virtuales.

Estructura y construcción de un Modelo Digital de Terreno

La estructura de los Modelos Digitales de Terreno de igual forma que los SIG se clasifican en dos grandes grupos en función de la concepción de la representación de los datos. Esto es raster y vectorial.

Para la obtención de la información se parte principalmente de dos fuentes: las curvas de nivel del mapa topográfico y la restitución de fotografía aérea. Tanto en uno como en otro existen dispositivos e instrumental adecuados para dichas tareas. En el primer caso se suele digitalizar las curvas de nivel y las cotas de alturas. En el caso de la fotografía existen modelos estereoscópicos que a partir de pares de fotos muestran el relieve de un área concreta.

A partir de la obtención de la información digital por los medios antes citados, se tiene que pensar si la muestra es lo suficientemente amplia, de no ser así habrá que recurrir a métodos de interpolación que son distintos para los modelos raster y los vectoriales. La interpolación puede ser definida como un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio.

Raster

En el modelo raster se obtiene una matriz regular donde sus valores han podido ser encontrados por interpolación. Son muchos los métodos posibles y de forma general es posible hacer la siguiente clasificación:

Métodos globales y locales. Su distinción está en el número de valores que se toman en el momento de hacer la interpolación. Los globales son aquellos que usan todos los valores de la rejilla, mientras los locales sólo utilizan los más cercanos.

Métodos directos y analíticos. Esta división se extrae del método matemático utilizado. La primera posibilidad sería la de aplicar un modelo de interpolación matemático directamente sin tener en cuenta las características del terreno analizado. Y la segunda tendría un paso previo a la formulación matemática que consistiría en estudiar el área a modelar y obtener datos que sirvieran posteriormente a través de autocorrelación para conseguir valores interpolados más cercanos a la realidad.

Método exacto y aproximado. El primero sería aquel que conseguiría los valores exactos en los datos muestrales mientras que el segundo sólo lo obtendría aproximado. Esto es sustancial sobre todo porque los modelos recalculan también los datos muestrales de origen.

Lógicamente los métodos globales, analíticos y exactos son los que obtienen resultados más cercanos a la realidad.

Después de analizar las características generales en las que se puede enmarcar los métodos de interpolación, se van a detallar dos de los más habituales y que no utilizan análisis de autocorrelación.

Polígonos de Thiessen. Se basa en la construcción de una serie de polígonos en los que se infiere que en todos aquellos puntos que no existan datos, éste será similar al punto con dato más próximo. Reflejará un aspecto de enlosado y desnivelado. Es un método local y exacto.

Ponderaciones por distancias. Se presupone que en cada punto son los puntos muestrales más próximos los que tienen alturas más parecidas, y además que esta semejanza disminuye con la distancia entre el punto calculado y el muestral. Dependiendo del número de puntos que elegidos se tendrá un método local o global. Usualmente se utilizan cuadrantes para facilitar las operaciones.

Otros métodos de interpolación que, en su caso, analizan la autocorrelación espacial de las variables son el método de Kriging y el análisis de superficie de tendencia. Éstos son más complejos y de difícil uso, y requieren unas operaciones matemáticas y estadísticas mucho más prolijas.

Método vectorial

Las estructuras vectoriales utilizan una red de triángulos irregulares (RTI o TIN en inglés) para crear un Modelo Digital de Terreno. Los datos imprescindibles son una lista de puntos de los que se toman tres valores x , y y z . El siguiente paso lo constituye la triangulación. Se hace a partir de triángulos equiláteros con ángulos semejantes o próximos a los 60 grados. Se consigue determinando los denominados triángulos de Delauney. Después de este paso se llega al proceso de interpolación que es algo diferente al proceso de interpolación para la estructura raster.

Criterios de selección de la estructura MDT

Es interesante detenerse a comparar las distintas estructuras posibles y sus ventajas e inconvenientes. La comparación se centrará en las dos estructuras más habituales según la mayor parte de los autores, y para ello se expondrán las opiniones de éstos recolecciones por un autor en su manual sobre MDT:

- Los primeros defienden que los modelos matriciales tienen a su favor facilitar las labores de análisis pero son poco flexibles debido a la rigidez de su estructura. Por otro lado, los modelos vectoriales facilitan las tareas de inventario pero presentan dificultades para realizar procesos de análisis.
- Un segundo arguye que la estructura matricial consigue una representación adecuada para las áreas de fuerte relieve siendo menos eficaz para las de topografía suave, mientras que las vectoriales son más capaces para aumentar el detalle de zonas determinadas.
- Otra opinión establece que los modelos *raster* se adaptan mejor a la representaciones espaciales de variables continuas.
- Finalmente otro defiende que las estructuras *raster* ofrecen mayor facilidad para el tratamiento numérico. Los modelos vectoriales son para este proceso más complejos y costosos.

Aplicaciones ambientales de los MDT

Las posibilidades de los MDT para el análisis ambiental son amplias y abarcan campos muy diversos. Tanto los modelos *raster* como los vectoriales capacitan para obtener una serie de datos que ayudan al análisis medioambiental.

En primer lugar están los que se denominan aspectos topográficos. Así el MDT ayudará a hallar la variación de altitud, la orientación, la pendiente, cálculo de perfiles topográficos, etc.

Desde el punto de vista hidrológico los ejemplos, también, son abundantes. Entre ellos destacarían los análisis de cuenca hidrográfica, sobre todo en la búsqueda de los límites. Además se podrán hallar las cuencas de drenajes, de recepción, prever el movimiento y acumulación de flujos de aguas, etc.

Otro aspecto muy interesante a destacar es el análisis paisajístico. Este tipo de análisis facilita conocer qué puntos son visibles y cuáles no desde diferentes posiciones. De igual modo se podrá determinar y saber si existe visibilidad o no desde diferentes posiciones. En resumen resolverá todas aquellas cuestiones que están relacionadas con cuencas visuales.

Otros temas de interés, que son abordados por los MDT, pueden ser los procesos de difusión y dispersión de la contaminación debida sobre todo a las características orográficas y climáticas.

Es también destacable su uso en los estudios para la realización de las obras de grandes infraestructuras. Su utilización se produce tanto antes de comenzar las obras como durante todo el proceso de construcción e incluso en el posterior control de la infraestructura (carreteras, ferrocarril, aeropuertos, puentes, embalses, etc.).

Por último debe señalarse que los MDT se han convertido en una herramienta muy útil en los estudios de impacto ambiental por su capacidad de modelización y predicción. También es primordial la fuerza visual que un MDT puede tener en el momento de defender un proyecto o una propuesta teórica.

Resumen

- Existen diferentes tipos de modelos en virtud de su correspondencia con la realidad: icónicos, análogos y simbólicos.
- Los Modelos Digitales de Terrenos son una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continúa.
- La interpolación puede ser definida como un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio.
- Las posibilidades de los MDT para el análisis ambiental son muy amplias y abarcan campos muy diversos. Tanto los modelos raster como los vectoriales capacitan para obtener una serie de datos que ayudan al análisis medioambiental y otros relacionados con el territorio.

CAPTURA E INTRODUCCIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Aspectos generales de la captura de información en un SIG

Un punto fundamental en el proceso de creación de un Sistema de Información Geográfica es la elección del formato de datos con el que se va a trabajar y la manera de introducirlos en el sistema. El proceso de captura es aquel que consigue el paso de los hechos reales que se dan sobre el territorio a formato digital sufriendo modificaciones, generalizaciones o simplificaciones para poder ser tratados por un Sistema de Información Geográfica.

Las principales opciones, son dos: raster o vectorial. Dependiendo de cual se elija será la forma de introducción de los datos, la dificultad de esta captura, el coste de la información, las necesidades telemáticas, entre otros, serán muy diferentes. De esta elección dependen todos los procesos que siguen en la construcción y utilización de un SIG.

La utilización de métodos manuales o automáticos para la captura e introducción de la información provoca distintos problemas. Por ejemplo, los métodos de introducción de datos manual en formato vectorial dependen en gran medida de las cualidades de los operadores que trabajen en esa tarea y la existencia o no de acuerdo previo para utilizar una metodología común y homogénea para introducir los distintos elementos que forman los niveles de información vectoriales.

Técnicas de Captura

Las técnicas de captura, como se señaló anteriormente, son varias. Pero hay que centrarse en las dos principales que dependen del formato de datos. Una primera división en la que hay un cierto consenso es aquella que distingue entre técnicas de capturas raster y técnicas de captura vectorial. A partir de esta primera clasificación se puede hacer una nueva división dependiendo de cómo se encuentra la información original. Si está en formato analógico hay que introducirla generalmente de forma manual o utilizar algún método automático o semiautomático. Si la información se dispone digital la forma de gestionarla es distinta existiendo varias técnicas para su tratamiento.

Clasificación de técnicas para capturar información en un SIG

Técnicas de captura		
Raster	Manual	
	Automática	Barredor óptico
		Capturadora de video
		Fotografía digital
		Imagen satelital
Conversion de archivos		

Vectorial	Manual	Digitalización por mesa
		Digitalización por monitor
	Automática	Información digital disponible
		GPS
		Conversión de archivos

Introducción de datos en formato raster

Entrada manual

La introducción manual de la información en formato raster requiere trabajos preparatorios esenciales. Primero se debe elegir la escala a la que se va a trabajar. Esto es el tamaño mínimo de la celda o pixel que se utilizará. Algunos autores afirman que las celdas deben tener la mitad de tamaño que el elemento más pequeño que se desee representar. Por tanto se requiere una tarea previa de reconocimiento del mapa analógico base. Cuando está determinada la escala se recolectará en las cuadrículas la existencia de los elementos que haya que representar. Para constatar esta presencia se utilizan diversas técnicas que difieren dependiendo del elemento que haya que representar: punto, línea o polígono. Es factible citar las siguientes opciones:

Presencia/ausencia. Se asigna valores de 0 ó 1, dependiendo de la existencia o no del elemento. Brinda un mapa binario. Se puede aplicar tanto para puntos, líneas o polígonos. En el caso de los polígonos lo que se representaran serán los límites exclusivamente.

Número de elementos. A cada pixel se le asigna el número de veces que aparece el elemento. Se creará un mapa cuantitativo. Se aplica únicamente para la representación de puntos.

Valor temático. El valor que se le da al pixel es el valor de la variable que exista dentro del pixel. Se puede utilizar para los tres elementos puntos, líneas y polígonos aunque con cierta variaciones. En los niveles de puntos se suele utilizar el valor más alto de la variable. En el caso de las de líneas se suele asociar al pixel el rango o valor jerárquico que tenga el elemento representado.

En los niveles de polígonos la variedad es mayor. Se pueden representar el tipo predominante es decir se le asignará al pixel el valor de la variable que ocupe un porcentaje mayor de superficie dentro de la celda. Una segunda posibilidad es asociar al pixel el porcentaje de ocupación por cada variable, con lo que se obtiene un nivel por cada variable analizada. Otro método es asignarle al pixel el valor de la variable que ocupe el lugar central.

Entrada automática

En este apartado se hablará de todos aquellos métodos que se utilizan para introducir datos en formato raster y que en algunos de los pasos necesarios se utilizan elementos técnicos que convierten o usan información digital. Aquí se incluirán desde los barreadores digitales hasta la teledetección. Como ya se dijo anteriormente esta última técnica se tratará con más profundidad seguidamente. Por ello en este punto principalmente se hará hincapié en los barreadores electrónicos, más conocidos como escáner.

Un escáner no es más que un instrumento óptico que transforma una imagen en un archivo digital que está formado por un determinado número de bits o punto de información. El mayor o menor número de éstos indicará la resolución de la imagen digital, medida en punto por pulgadas. Las posibilidades de los escáneres son ilimitadas pues las características de éstos han ido mejorando con el paso del tiempo. En la actualidad es posible encontrar desde barreadores de A4 (los más comunes en el mercado) hasta A0. De igual modo la gama de resoluciones y de captación de colores también es amplia, desde el blanco y el negro hasta los millones de colores.

Otra posibilidad, mucho menos utilizadas, es la obtención de archivos digitales a partir de imágenes procedentes de fotografías digitales o cámaras de videos. La técnica para integrar estos archivos varía en cuanto al proceso respecto a los obtenidos con escáner pero esencialmente tiene la misma base.

Introducción y edición de datos en formato vectorial

Se analizarán los métodos manuales o semiautomáticos para la entrada de información analógica y posteriormente se hablará de aquellos procesos donde la automatización es lo predominante.

Digitalización de la información analógica

Este grupo de técnicas es la que comúnmente se denominan digitalización. Por digitalización debe entenderse todo aquel proceso por el cual se pasa de formato analógico a digital. Aunque se reconoce de forma implícita como digitalización a la técnica que utiliza una mesa digitalizadora u otro instrumento que haga de tal para construir un archivo gráfico digital. En este manual se distinguirá entre las digitalizaciones realizadas sobre tablero o mesa digitalizadora y las realizadas directamente sobre la pantalla del computador. Los fundamentos son los mismos y únicamente se distinguen en el lugar donde se observa el mapa y la forma interactiva en la que se comunica con el software. La digitalización sobre pantalla es más rápida y con menos errores pero para poder llevarla a cabo se debe tener de antemano cartografía georreferenciada con la que trabajar.

La digitalización sobre tablero parte de vértices y nodos como elementos básicos que van creando las líneas. La introducción de estos puntos se hace a través de

dos técnicas: punto a punto o el modo continuo. El primero consiste en que el operador va incluyendo únicamente los puntos con el puntero que cree necesario. Es un proceso lento pero relativamente exacto. El segundo método es lo que se denomina el modo continuo. Para ello se usa un puntero o un lápiz óptico, que van introduciendo en chorros un gran número de puntos a lo largo de la línea que se está creando. Es una técnica bastante más rápida que la anterior pero mucho menos precisa, además de crear una cantidad excesiva de información no siempre necesaria.

Las características técnicas de la tableta o mesa digitalizadora también son importantes. Sobre todo el tamaño de la mesa y la exactitud de la referenciación, son dos aspectos a considerar. Pero además de los aspectos técnicos, son importantes los que tienen que ver con los operadores o digitalizadores. Es esencial, crear unas normas homogéneas y estrictas de digitalización. Es muy común encontrar grandes diferencias entre zonas digitalizadas por operadores diferentes o por el mismo operador en sesiones distintas. Por ello es esencial la coordinación, los acuerdos previos y controles o supervisiones en todos aquellos temas que puedan incidir en el modelo de digitalización. Muchos han sido los proyectos que han fracasado por una mala planificación en esta fase, que por otro lado es la más costosa y tediosa.

También es necesario insistir que este proceso estará incompleto si no se considera que la información incorporada requiere ser corregida y actualizada. Esta fase, en parte, está recolección está en los módulos de los programas más usados que generalmente se denomina edición. La mayor o menor capacidad del software seleccionado para esta fase hará más completo y útil el proyecto SIG. Hay que considerar que es fundamental planificar esta retroalimentación continua de los SIG dado que sin ella se perdería gran parte de su posible eficacia.

A ello hay que añadirle la etapa que tiene como objetivo incluir los atributos temáticos de cada uno de los elementos geográficos que se ha creado en el proceso de digitalización. Existen mecanismos manuales, semiautomáticos o automáticos. Todos ellos generalmente gestionados desde un sistema gestor de base de datos (SGBD), a veces incluido dentro del programa como un módulo más y otras veces externo utilizando cualquiera de los programas gestores de bases de datos del mercado. Aunque se incluya dentro de la digitalización manual este proceso puede ser automatizado a través de campos relacionados que hagan el proceso de unión de forma automática. Además este tipo de archivos de base de datos con datos temáticos georeferenciados por unidades administrativas cada vez es más común.

Utilización de información digitalizada y en otros formatos

Quizás sea en formato vectorial donde ha predominado la comercialización de información geográfica tanto en el ámbito oficial como privado. Son múltiples los organismos públicos que ofrecen cartografía digitalizada en diversos formatos y

escalas. La cartografía oficial del país se puede obtener del Instituto Geográfico Militar (IGM) que proporciona la base topográfica nacional a escala 1:50.000.

De igual forma es relativamente sencillo el uso de archivos digitales provenientes de otros programas gráficos de diseño asistido por computador (CAD) como pueden ser Autocad y Microstation. De la misma forma existen formatos generados por otros programas específicos o comerciales.

Por otro lado hay que mencionar otros dos posibles orígenes de la información digitalizada útil para ser integrada en los programas que usan el modelo vectorial, son aquellos datos procedentes de archivos con estructuras distintas que deben ser convertidos a vectorial y la información que llega a partir de los instrumentos de posicionamiento global, más conocidos como GPS.

Procesos de conversión de datos

Uno de los grandes problemas existentes a la hora de utilizar datos creados por un Sistema de Información Geográfica es la incompatibilidad con la mayoría de los programas. Esta incompatibilidad se refleja tanto desde la perspectiva gráfica como desde la estructural. No es sólo poder ver la imagen cartográfica creada por un sistema determinado sino la utilización de las bases de datos gráficas y numéricas que van asociadas a esos archivos. A pesar de que todavía queda bastante por hacer en la homogeneización de los formatos, muchos programas tienen módulos específicos para cubrir esta función.

Rasterización y vectorización

Con esta nomenclatura es como se conocen los dos procesos de transformación de *raster* a vectorial (vectorización) y de vectorial a *raster* (rasterización).

La vectorización es el proceso de conversión de datos en formatos *raster* (procedente de un barredor óptico o de un sistema *raster*) a formato vectorial. Es un proceso automático. Siguiendo de nuevo al mismo autor se pueden distinguir los siguientes pasos:

- Obtención de la estructura de cada línea.
- Extracción de las coordenadas de cada línea o vectorización propiamente dicha.
- Reconstrucción de la topología

La rasterización trata de volcar la información vectorial sobre las celdas del mapa *raster* mediante un procedimiento de presencia-ausencia. Este paso significa una cierta pérdida de exactitud.

Conversión y exportación a distintos formatos y estructuras

Seguidamente se señalarán someramente los módulos incluidos en la mayor parte de los Sistema de Información Geográfica para importar o exportar archivos digitales para hacerlos comprensibles por el mismo programa o por otros. Incluso el traslado de archivos de un computador a otro necesita de un proceso de importación para poder ser utilizado. Un caso típico es el de Arcinfo. Cuando se desea utilizar una cobertura creada en un equipo determinado en otro, se debe crear un archivo denominado E00 que es el fruto del proceso de compresión del formato Arcinfo a partir del comando 'export'. Para su posterior lectura es imprescindible un nuevo paso usando otro comando de importación ('Import').

De esta manera la mayor parte de los programas tienen módulos específicos de conversión de archivos tanto en un sentido como en otro. Es este aspecto un tema a tener en consideración al momento de la elección de un Sistema de Información Geográfica pues la convertibilidad y accesibilidad de la información que existe como de la que en el futuro se pueda generar con el propio sistema debe ser amplia, pues de ello depende parte del éxito e implantación de nuestro SIG.

Técnicas afines

Seguidamente se incluyen dos técnicas como repaso. Se refiere a las técnicas de Posicionamiento Global y de la Teledetección.

GPS

Se trata de un sistema de posicionamiento que utiliza como referencia las estrellas y una serie de satélites situados en la órbita terrestre. Gracias a este sistema es factible obtener información de cualquier punto sobre sus coordenadas geográficas y altitud, además de otras informaciones de menor relevancia para un SIG.

La utilización de esta nueva técnica es relativamente reciente, década de los noventa, pues en sus inicios fue un sistema exclusivo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos para facilitar la localización en la navegación aérea y espacial. Posteriormente se ha difundido para uso civil. Su proceso y evolución ha sido algo similar al sucedido para la red Internet.

Este sistema se basa en la triangulación de mediciones simultáneas entre tres o más satélites, apoyados por sistemas de control terrestre. El margen de error es pequeño, aunque lógicamente dependerá del instrumental que se utilice pues existen GPS de bolsillo hasta sofisticados equipos de alta precisión.

las aplicaciones de GPS en Sistemas de Información Geográfica son muy diversas. Destacable es su papel en aquellas aplicaciones que tienen que ver con los sistemas de transportes (empresas de autobuses urbanos, transporte ferroviario, navegadores de a bordo en vehículos privados, etc.).

Teledetección

Al igual que el GPS la teledetección ocupa un lugar relevante en la adquisición y tratamiento de la información digital territorial. La teledetección, de forma general, sería toda aquella disciplina que supone la observación remota de la superficie terrestre. Si se analiza más restringidamente, se centraría en los sensores que se encuentran sobre plataformas espaciales. La teledetección no englobaría únicamente el proceso que permite obtener una imagen sino también su posterior tratamiento para extraer informaciones precisas sobre un determinado tema.

Los elementos que componen un sistema de teledetección son:

- La fuente de energía que puede ser externa o interna al sujeto, en el primer caso se llamará teledetección pasiva y en el segundo activa;
- La cubierta terrestre;
- El sistema sensor que está compuesto por el propio sensor más la plataforma sobre el que se ha montado;
- El sistema de recepción.;
- Interprete y
- El usuario final.

Resumen

El proceso de captura es aquel que consigue el paso de los hechos reales que se presentan sobre el territorio a formato digital sufriendo modificaciones, generalizaciones y simplificaciones para poder ser tratados por un Sistema de Información Geográfica.

La introducción manual de la información en formato raster requiere de trabajos previos esenciales. Primero se debe elegir la escala a la que se va a trabajar, la que proporciona el tamaño mínimo de la celda o pixel que se utilizará.

Un escáner no es más que un instrumento óptico que transforma una imagen en un archivo digital que está formado por un determinado número de bits o puntos de información.

Se reconoce como digitalización a la técnica que utiliza una mesa digitalizadora u otro instrumento que haga de tal para construir un archivo gráfico digital.

Uno de los grandes problemas de utilizar datos creados por un Sistema de Información Geográfica es la incompatibilidad con la mayoría de los programas. Ésta se refleja tanto desde la perspectiva gráfica como desde la estructural.

Las dos principales técnicas afines a los SIG son las técnicas de Posicionamiento Global y la Teledetección.

EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

El análisis espacial (AE); sin esta capacidad los SIG perderían su importancia como herramienta para el tratamiento de la información geográfica.

Se puede definir el análisis espacial como el proceso de búsqueda de modelos geográficos y sociales y sus relaciones entre elementos espaciales. Este aspecto, indudablemente constituye el futuro de los sistemas de información geográfica, lo cual está relacionado con el progreso de las técnicas y el modelamiento que permite determinar la factibilidad de la aplicabilidad del proyecto.

Aspectos generales del análisis de la información espacial en un SIG

En los albores de los sistemas de información geográfica, las técnicas de análisis espacial se unieron a ellos. En un principio estas técnicas eran herramientas matemáticas y estadísticas que se usaban para el análisis de cualquier tipo de fenómeno fuera o no espacial.

En consecuencia existía una falta de adecuación entre las técnicas utilizadas y las características especiales de los datos espaciales.

Paulatinamente estos primeros problemas se fueron solucionando y se mejoraron las capacidades de análisis de los SIG, sobre todo con las mejoras tecnológicas del hardware. Para el análisis espacial sólo se necesita que los datos tengan dos tipos de información: la localización y algún atributo que los distinga.

Dependiendo del autor los objetivos del análisis espacial varían. Intentando recolectar lo más ampliamente posible las opiniones de los principales investigadores del tema, parece interesante esquematizar cuales serían los objetivos básicos que tendrían que cumplir el ANÁLISIS ESPACIAL:

- Recuperar la información espacial individualizada.
- Sistematizar la información geográfica.
- Buscar patrones espaciales.
- Predecir y modelar.

Pero si importante es la capacidad de respuesta analítica del sistema, mayor trascendencia tiene la capacidad de valoración del usuario. El AE proporciona una respuesta o varias a las preguntas formuladas pero el usuario a partir de ellas, debe realizar un juicio de valor que será lo que dé validez a los posibles resultados.

Finalmente, el análisis espacial sería la capacidad de respuesta del sistema a las preguntas que los usuarios se harían en la búsqueda de soluciones a los problemas espaciales. Dependiendo del tipo de pregunta se pueden distinguir diferentes tipologías de análisis.

Tipos de análisis

Generalmente se usan dos criterios para clasificar el análisis espacial. El primero denominado funcional, sería aquel que distingue al AE por las funciones que realiza y por su nivel de complejidad y el segundo, denominado estructural, se basa en el tipo de estructura de datos desde la que se hace el análisis, es decir, si es un análisis vectorial o raster.

Los resultados no son sustancialmente distintos. Aquí se optará por una vía intermedia aunque mucho más próxima a la estructural. La razón de esta opción se basa en la existencia de fuertes diferencias entre análisis similares según sea el tipo de estructura. Por ejemplo la superposición, que se trata de un tipo de análisis espacial, se realiza tanto en vectorial como en raster pero sus características difieren en gran medida según el modelo de datos que se utilicen. Por ello se ha considerado conveniente usar el segundo criterio, el criterio estructural, en vez del primero.

Funciones de los SIG a partir del AE.

- Recuperación
- Superposición
- Vecindad
- Conectividad

Sin embargo, se estima conveniente comentar otra clasificación realizada por otro autor que divide al análisis espacial en tres niveles dependiendo del grado de complejidad. En el primer nivel estaría la representación y medida de datos existentes; en un segundo nivel la búsqueda de patrones existentes y en el tercer nivel la generación y predicción de nueva información. La complejidad del proceso aumentaría en cada uno de los niveles, siendo el último el objetivo final del análisis espacial.

Análisis raster

El análisis de los SIG que trabajan con estructura raster se basa en las operaciones que se realizan en cada una de las celdas que forman las coberturas de datos espaciales. Las principales funciones que se pueden realizar son: medición e identificación de elementos, reclasificación, superposición y vecindad.

Mediciones e identificación de elementos

En el caso de los sistemas raster se realiza directamente en la base de datos formada por las celdas. Estas consultas pueden ser de dos tipos: la localización exacta de una celda determinada o la entidad existente en una localización concreta. De igual forma el sistema puede ofrecer la información sobre superficie o perímetro de celdas de un mismo atributo.

Reclasificación

En la mayor parte de los programas raster la reclasificación supone la creación de un nuevo mapa con nuevos valores resultado de determinadas operaciones matemáticas basadas en los valores iniciales. Es un tipo de operación en donde exclusivamente se utiliza un único mapa. Los tipos de reclasificación pueden ser varios:

- Reetiquetado; supone cambiar el valor de celdas con el mismo atributo por otro valor.
- Agregación; supone unir dos valores distintos en un único valor.
- Intervalos; es el paso de variable continua a discreta.
- Operacional; se trata de crear un nueva tabla a partir de la realización de una operación matemática (suma, resta, multiplicación, etc.) a cada uno de los píxeles.

Superposición

La primera diferencia con el anterior tipo de análisis es que en esta situación se utiliza más de un mapa. En principio la mayor parte de los programas de SIG raster sólo permiten el análisis de dos en dos niveles. Luego cuando se necesita superponer más de dos niveles el proceso debe ser continuado, es decir primero dos y luego el resultado de esa superposición con una tercera y así sucesivamente.

En principio existen dos grandes grupos de superposiciones, las denominadas lógicas y aquellas que se denominan aritméticas.

Las lógicas serían aquellas que buscan áreas donde coincidan determinadas condiciones lógicas. Dichas posibilidades se encuentran a partir de la utilización operaciones de lógica booleana. Los dos comandos son Y (*and*) y O (*Or*). Es decir en el primer caso la búsqueda se ciñe a las celdas donde se cumpla las dos condiciones. Por ejemplo al analizar un nivel donde se localiza el suelo urbanizable y otro mapa que representa la localización de pinos, el mapa resultante sería aquellas celdas donde coinciden pinos y suelo urbanizable. En el segundo caso se busca áreas donde se cumplan alguna de las dos condiciones. En la superposición aritmética se combinan dos niveles, celda a celda, utilizando una operación aritmética (suma, resta, división, etc.).

Vecindad

Es aquel análisis por el cual el resultado está en función del valor de celdas relacionadas, ya sea por cercanía inmediata o por otro tipo de relaciones. Así se puede hablar de análisis de vecindad inmediata y operaciones de vecindad extendida.

El **análisis de vecindad inmediata** se realiza a partir de los valores de las celdas contiguas a la celda analizada. Luego el resultado de cada celda del nuevo mapa se generará en función de sus celdas contiguas en el mapa base. Existen varias formas de análisis de vecindad inmediata, los más importantes son el filtrado de mapas y las pendientes.

El filtrado de mapas consiste en tomar un grupo de celdas, usualmente 3 por 3, y se establece el valor de la celda central. Normalmente el valor suele ser la media ponderada de los valores de todas las celdas analizadas. Dependiendo la ponderación que se utilice brindará dos efectos distintos: suavizado o realce.

Cuando dentro del atributo de las celdas es posible la altitud, de forma automática, se pueden conseguir los valores de pendientes y orientación. De nuevo se utilizan grupos de celdas de tres por tres.

El **análisis de vecindad extendida** consiste en operaciones que relacionan a una celda con celdas que no tienen porque estar contiguas. Su base está en el cálculo de distancia, sea euclidiana o de superficie de fricción. Existen diversos tipos de análisis según sea utilizando uno u otro cálculo de distancia. Aquí se analizará solo el análisis de proximidad o más conocido como *Buffer*. Es un sencillo cálculo por el cual se hallan las celdas que se localizan a una determinada distancia de otra celda o un conjunto de ellas.

Análisis vectorial

De igual forma que en el modelo raster, los SIG vectoriales ofrecen diferentes posibilidades para realizar análisis espacial. Su potencialidad y características está en función del tipo de elementos geográficos a analizar. La configuración de este modelo lo hace más compatible con cierto tipo de análisis, y además permite identificar claramente elementos geográficos con determinada tipología analítica. Así, si se habla de superposición se piensa en polígonos y si se refiere a análisis de redes se refiere a que se unen líneas.

A pesar que algunos autores usan los elementos geográficos como eje de la clasificación de la tipología de análisis posible en el modelo vectorial, se ha decidido mantener una estructura similar a la que se utilizó en el anterior modelo raster incluyendo aquellos aspectos singulares del vectorial.

Mediciones e identificación de elementos

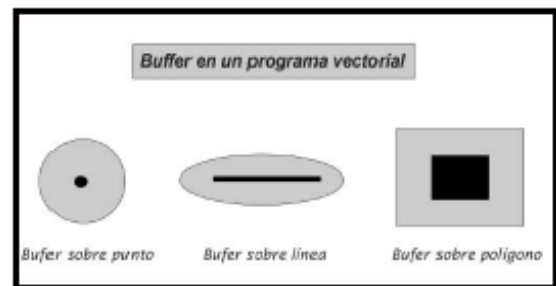
El sistema vectorial al localizar a los objetos espaciales por sus límites utilizando coordenadas geográficas le resulta muy sencillo medir distancias euclidianas tanto entre distintos objetos como dentro de un mismo elemento. De esta forma se puede medir, lo que en algunos casos el programa lo efectúa en forma automática, en las líneas su longitud y en los polígonos el área y el perímetro. Por otro lado es también muy fácil acceder a la información de distancias entre objetos sean del tipo que sean.

Otras de las posibilidades es analizar desde la base de datos de atributos relacionada con la gráfica para obtener información sobre un elemento concreto. Esto en la mayor parte de los programas se puede hacer de forma interactiva a través de pantalla o accediendo a la base de datos.

Análisis de proximidad

En el modelo *raster*, el análisis de proximidad es quizás uno de los más típicos de los sistemas de información geográfica. La acción que refleja este análisis es lo que se denomina *buffer*.

Con este análisis se logra delimitar un área próxima al objeto seleccionado que esté a menos de una distancia determinada. Dicha operación se puede realizar sobre punto, línea o polígonos. El resultado es siempre un nuevo nivel de información poligonal que incluye el nuevo *buffer*. La diferencia principal con



el modelo *raster* es que en el caso vectorial estas áreas sólo pueden ser encontradas a partir de la distancia euclidiana, aunque en el cálculo se pueden incluir factores relativos a los atributos de los objetos geográficos.

Superposición

En el modelo vectorial la superposición es una operación de mayor complejidad que requiere cálculos geométricos y topológicos para construir el nivel de información resultante del análisis. De igual manera que en el *raster* la mayor parte de los programas SIG sólo son capaces de realizar superposiciones de dos en dos niveles de información. Además, es importante el orden de los niveles según cual sean los resultados que se desean obtener. Uno de los factores que implican mayor dificultad en el modelo vectorial es la necesidad de trabajar con elementos geográficos distintos. Esto último agregado a lo anterior provoca que los resultados deban ser depurados con posterioridad al análisis, en atención que se suele generar falsos objetos e incorrecciones provocadas por procesos anteriores.

Las principales y más utilizadas posibilidades de superposición entre elementos geográficos son: puntos con polígonos, líneas con polígonos y polígonos con

polígonos. El nivel resultante es siempre de la misma tipología que la primera introducida donde las posibles modificaciones afectan tanto a los elementos gráficos y a los atributos temáticos. Los nuevos niveles resultantes deben ser editados y corregidos por ejemplo generalizando los polígonos de similares atributos.

Análisis de redes

Es quizás en este tipo de análisis donde los programas vectoriales han desarrollado mayores capacidades. La estructura vectorial facilita y potencia este tipo de operaciones. Los objetos lineales pueden agruparse de diferentes formas: líneas aisladas, árboles y circuitos o redes. Este último tipo de agrupación es la que permite un mayor nivel de análisis dentro de los elementos geográficos lineales. Una red sería, según un autor, “un sistema interconectado de elementos lineales que forman una estructura espacial por la que pueden pasar flujos de algún tipo (personas, mercancías, energía, información etc.)”. El análisis de redes se basa en la búsqueda de estos flujos y la posible predicción de los mismos.

Las dos operaciones más usadas son la búsqueda del camino mínimo y la red de influencia de lugares centrales. Con el primero de ellos se logra calcular el camino más corto para llegar de un punto a otro. Esta ruta más cercana puede estar medida en distancia euclidiana o la suma de ésta a otro factor que se tome como impedancia. Esta impedancia puede estar asociada a dos de los elementos de una línea: los arcos y los nodos. En el segundo caso, la red de influencia, el objetivo es encontrar todos los elementos de la red que se encuentra situados a una distancia máxima de un punto seleccionado. De nuevo es posible utilizar otras impedancias que no sean exclusivamente la euclidiana.

Las nuevas perspectivas del análisis espacial a través de los SIG

Las líneas de investigación actuales hacen pensar que en los próximos años la capacidad de los SIG para el análisis espacial van a crecer exponencialmente. Posiblemente se mejorarán y perfeccionarán las actuales, y es seguro que aparecerán otras nuevas.

Una de estas nuevas técnicas es el uso de Redes Neuronales. Las redes neuronales artificiales “son un sistema de computación compuesto por un gran número de elementos de procesos simples, denominados nodos o neuronas, que procesan información por medio de su estado dinámico como respuesta a entradas externas”. Apartándose de los aspectos matemáticos y telemáticos, lo interesante de esta nueva técnica es su capacidad de aprendizaje y por tanto de generar información que no se ha introducido de forma explícita. Las redes neuronales deben reforzar las técnicas que ayudan a resolver los problemas de optimización, predicción, aproximación de funcionamiento, clasificación, reconocimiento de patrones, identificación de objetos en imágenes satélites, etc.

Por último se estima necesario insistir en la importancia del análisis espacial, ello fundamentalmente porque en función de este análisis se puede obtener información que apoyará la toma de decisiones y resoluciones mejor informadas.

Los SIG tienen identidad propia, en parte, debido a su capacidad de análisis. A pesar de estos la mayor parte de los software de Sistemas de Información Geográficas han mantenidos ciertas lagunas en estas capacidades que deberán ir mejorando con las nuevas versiones.

Resumen

- Se puede definir el análisis espacial como el proceso de búsqueda de modelos geográficos y las relaciones entre elementos espaciales
- Para el análisis espacial sólo se necesita que los datos tengan dos tipos de información: la localización y algún atributo que los distinga.
- Los objetivos del Análisis espacial serían:
 - Recuperar la información espacial individualizada.
 - Sistematizar la información geográfica.
 - Buscar patrones espaciales.
 - Predecir y modelamiento.
- El análisis de los SIG que trabajan con estructura raster se basa en las operaciones que se realizan en las celdas que forman las coberturas de datos espaciales.
- El análisis raster puede ser:
 - Mediciones e identificación de elementos,
 - Reclasificación,
 - Superposición y
 - Vecindad.
- Existen dos grandes grupos de superposiciones raster;
 - Lógicas y
 - Aritméticas.
- Los principales tipos de análisis vectorial son:
 - Mediciones e identificación de elementos,
 - Análisis de proximidad,
 - Superposición y
 - Análisis de redes.
- En el modelo vectorial la superposición es un operación de mayor complejidad que requiere cálculos geométricos y topológicos para construir el nivel de información resultante del análisis.
-

- Las principales y más utilizadas posibilidades de superposición vectorial entre elementos geográficos son:
 - Puntos con polígonos,
 - Líneas con polígonos y
 - Polígonos con polígonos.

- Los objetos lineales en el modelo vectorial pueden agruparse de diferentes formas:
 - Líneas aisladas,
 - Árboles y
 - Circuitos o redes.

- Las redes neuronales artificiales “son un sistema de computación compuesto por un gran número de elementos de procesos simples, denominados nodos o neuronas, que procesan información por medio de su estado dinámico como respuesta a entradas externas”.

APLICACIÓN DE LOS SIG AL MEDIO AMBIENTE

El medio ambiente ha pasado a ser una de los temas principales dentro de las preocupaciones de la población mundial. En el último tiempo se ha ido incorporando al acervo popular conceptos y vocablos que hablan de la importancia del cuidado y conservación de lo que se denomina medio ambiente (elementos físicos y bióticos que hacen posible la vida en la tierra). A veces puede ser difícil determinar lo que podría ser catalogado como ambiental de lo que no lo es, por lo que investigaciones de muy diferente calado son tildadas de ambientales sin por ello cometer un error. Estas dos singularidades, es decir la actualidad del tema y su gran diversidad semántica, provocan que las necesidades de información sean mayores que en otros campos. Además a todo esto hay que añadir el enfoque sistémico, generalmente usado en el análisis ambiental, que hace necesario cubrir ámbitos muy diversos de la problemática a estudiar.

Como consecuencia de lo anterior es frecuente que la recopilación, tratamiento y análisis de la información para una investigación ambiental resulte laboriosa, compleja y costosa. Por ello es necesario dotar al investigador ambiental de las herramientas adecuadas para el tratamiento, análisis y difusión de la información.

Aunque esto parezca sencillo no lo es tanto pues, aunque inmersos en la era de la información, se carece en muchas ocasiones del marco sistémico en donde poder ordenar y organizar las innumerables fuentes de información de las que se dispone.

Gran parte de la información ambiental está íntimamente enlazada con la información geográfica o espacial. En gran medida se puede afirmar que la información ambiental suele ser a su vez información geográfica. Los sistemas de información geográfica se presentan como una herramienta eficaz en el manejo y análisis de toda información que pueda ser georreferenciada de algún modo. Su amplia difusión en los centros de investigación, las administraciones públicas y organizaciones privadas prevé un uso intenso y creciente de este nuevo instrumento de análisis territorial. En conclusión debe pensarse que una de las principales aplicaciones de los SIG, en la actualidad, son los temas ambientales y que en el futuro este uso no sólo se mantendrá sino que tenderá a crecer de forma exponencial.

En la actualidad, sin ser conscientes de ello, los SIG se van introduciendo en nuestra vida cotidiana de igual modo que no se entiende el uso de cartografía en niveles profesionales sin la utilización de estos sistemas. Como ejemplo de esta presencia de los sistemas de información geográfica en la realidad del día a día,

Aplicaciones de los SIG

Se puede señalar que los SIG pueden abarcar todas las necesidades de información de cada uno de los subsistemas que componen el sistema territorial, tal como se muestra en la tabla siguiente que no es exhaustiva.

Subsistema	Tema
Físico natural	Clima
	Biología
	Ecología
	Geomorfología
	Geología
	Hidrología
	Eventos naturales que generan desastres
	Territorio
Socio económico	Espacios naturales
	Población y sociedad
	Infraestructura
	Defensa
	Seguridad ciudadana
	Servicios públicos
	Actividades primarias
	Actividades industriales
	Actividades comerciales
	Turismo
Jurídico/Administrativo	Planificación
	Gestión

El análisis ambiental puede ser clasificado como transversal por lo que cualquier tema de los considerados en alguno de los tres grandes subsistemas en que se ha dividido en el sistema territorial podría ser considerado como ambiental. En principio se puede afirmar que la mayor parte de las aplicaciones incluidas dentro del subsistema físico-natural podrían ser catalogadas como aplicaciones medioambientales.

Los SIG aplicados al medio ambiente

De igual forma que para las aplicaciones generales resulta complejo realizar una clasificación de aplicaciones ambientales de los sistemas de información geográfica. Pueden existir multitud de divisiones posibles dependiendo del enfoque utilizado. En este caso se usará un único criterio para esta clasificación, y se ha el funcional. Es decir, se ha optado por la utilidad y objetivo de la aplicación en lugar del tema tratado.

De esta manera se pueden diferenciar los siguientes apartados:

Inventarios y cartografías ambientales. En este grupo se incluirían aquellos trabajos cuya funcionalidad sea realizar un inventario de los recursos ambientales de un territorio concreto o la realización de la cartografía básica topográfica o temática.

Estudios ambientales y análisis del paisaje. Serían aquellos proyectos que tienen como objetivo final conocer y analizar algún aspecto ambiental o paisajístico determinado, sin tener como propósito final la predicción, planificación o gestión.

Análisis de riesgos e impactos ambientales. Aquí se analizarían los trabajos que usa un SIG para conocer, estudiar y predecir los factores de riesgos ambiental en cualquiera de sus formas, incluyendo los estudios de impacto ambiental. Aquí se pueden considerar los análisis de peligrosidad sísmica, predicción de movimientos de tierras, análisis de riesgos de inundación, etc.

Modelamiento ambiental. Comprendería todos los trabajos cuyo objetivo fuera el modelamiento de algún fenómeno ambiental o territorial. Como el generar modelos digitales de terrenos o elevaciones, cuencas visuales, etc.

Planificación y gestión ambiental. En este aspecto podrían estar incluidos todos los trabajos cuya finalidad fuera la planificación y gestión ambiental tanto pública como privada. Sirva de ejemplo los trabajos de realización de Planes de Ordenación de Recursos Naturales con SIG.

Los SIG como herramienta para la gestión ambiental

De los cinco aspectos anteriores en que se ha dividido las posibles aplicaciones ambientales de los SIG, la planificación y gestión es, sin duda, uno de los más importantes. Sin embargo, es quizás uno de los campos de aplicación menos desarrollados.

Para analizar el papel de los SIG en la planificación y gestión territorial se estima menester formular algunos cuestionamientos. La primera sería: ¿Por qué defender que los SIG son una muy útil herramienta para planificadores y gestores territoriales?. Por varias razones que se basan en algunas de las características de los SIG:

- En la planificación y gestión se necesita una herramienta que sirva para integrar información de muy diversa índole.
- Se requiere de herramientas que sean capaces de analizar la información espacial.
- Se necesita homogeneizar la información para que pueda servir a los distintos agentes que intervienen en la planificación y gestión del territorio.

- Es imprescindible poder contar con una herramienta que realice inventario y análisis casi al mismo tiempo.
- Se debe contar con información comparable con otros territorios.
- Debe ser una herramienta ágil que facilite la incorporación de nuevas informaciones y que actualice la información existente sin un esfuerzo excesivo.
- Es interesante poseer una herramienta que pueda generar nueva información a partir de la información incorporada.
- Es preciso disfrutar de un instrumento que realice modelos, simule procesos y realice predicciones territoriales.
- Se debe tener una información que pueda ser presentada a diferente escala según el propósito de la misma.

Todos estos requisitos los cumplen en mayor o menor medida los distintos software que pueden ser denominados como sistemas de información geográfica. Al ser esto así, debe formularse la segunda pregunta: ¿por qué no existe una mayor difusión y uso en la gestión territorial de estas herramientas? Son diversas, también, las razones por la que no hay una generalizada utilización de este tipo de programas:

- La información soportada por el sistema debe tener unas características mínimas en formato digital que a veces es difícil de obtener.
- La información es inexistente o excesivamente onerosa.
- El uso de estos sistemas requiere de un personal relativamente especializado.
- El uso adecuado de un SIG en una administración pública exige un cierta coordinación y sistematización por parte de los gestores del sistema.
- Se necesita la concienciación de las bondades de estas herramientas por parte de los que toman las decisiones políticas.

La implantación de Internet debe facilitar el uso de estas herramientas y promover la cooperación íter-administrativa e íter-territorial en los procesos de planificación y gestión espacial. La Información Geográfica Distribuida debe promover un mayor uso de esta nueva técnica que facilita la integración y ordenación del territorio a partir de hacer posible su gestión desde una visión global e integrada del espacio.

Resumen

- Una de las principales aplicaciones de los SIG, en la actualidad, son los temas ambientales y en el futuro este uso tenderá a crecer de forma exponencial.
- El análisis ambiental puede ser clasificado como transversal por lo que cualquier tema de los incluidos en alguno de los subsistemas del sistema territorial podría ser considerado como ambiental.
- Según el criterio funcional las aplicaciones ambientales de los SIG son:
 - Inventarios y cartografía ambiental,
 - Estudios ambientales y análisis del paisaje,
 - Análisis de riesgos e impactos ambientales,
 - Modelamiento ambiental y
 - Planificación y gestión ambiental.
- La planificación y gestión es quizás uno de los campos de aplicación menos desarrollados.
- Es preciso contar con un instrumento que realice modelos, simule procesos y haga predicciones territoriales.
- El uso adecuado de un SIG en una administración pública exige una cierta coordinación y sistematización por parte de los gestores del sistema.

LOS SIG EN INTERNET

El uso generalizado de Internet ha provocado cambios sustanciales en muchos aspectos de nuestra forma de vida. Este nuevo sistema ha revolucionado muchos campos de la sociedad como pueden ser, entre otros:

- El periodismo (las noticias se transmiten a velocidades inimaginables hace décadas),
- La investigación científica (la difusión inmediata de los conocimientos hace posible la cooperación global entre científicos),
- El comercio (a través de Internet se vende de todo y desde todas partes del mundo),
- La publicidad (se ha puesto al alcance de cualquiera la posibilidad de difundir sus ideas sean del tipo que sean),
- Etc.

Sin lugar a dudas una lo más trascendental que ha facilitado este nuevo medio es el cambio radical en el tratamiento y difusión de la información. Antes de la llegada de Internet acceder a la información era un proceso lento, tedioso y, a veces, frustrante. Todo esto ha cambiado sustancialmente y se espera que cambie aun más en el futuro con las nuevas técnicas de transmisión y recepción de la información.

La evolución, de Internet y los SIG ha significado un factor favorable de difusión para este último. Sería casi imposible recuperar toda la información de SIG disponible en la red. Internet está sirviendo a la divulgación y uso de los SIG como herramienta de manejo de la información geográfica desde diversas ópticas. En principio es un medio de difusión cada vez más importante tanto para transmitir conocimientos y avances respecto de los Sistemas de Información Geográfica como para conseguir datos geográficos ya sean alfanuméricos como cartográficos. También está sirviendo como herramienta didáctica de las diferentes instituciones docentes e investigadoras que se dedican a estos temas. Pero quizás el aspecto de mayor interés de Internet para los SIG es su posible uso como soporte del software a partir de las técnicas cliente-servidor. Tales técnicas posibilitan la utilización de los SIG desde lugares diferentes a donde estén instalados.

El uso de Internet como medio de difusión

En sus inicios la red era un complejo sistema usado por los militares estadounidenses en un proyecto que se denominó ARPANET (Red de la Agencia de Proyecto e Investigaciones Avanzadas) previendo un posible ataque nuclear de las potencias enemigas. Con el fin de la guerra fría pierde su funcionalidad recuperándose para el ámbito público sobre todo universitario. Y es en este ámbito

donde la red comienza a tomar un papel básico tanto desde la perspectiva académica, investigadora como de la entretención y comercial.

Pero es a partir de 1995 cuando Internet emerge como la herramienta potencial de la comunicación global que es. En el mundo nacen diariamente miles de sitios web y servicios que aprovechan las potencialidades de la red para ampliar su área de influencia. En estos últimos años el protagonismo de Internet en nuestra sociedad ha ido aumentando hasta poder llegar afirmar algunos “que quien no está en Internet no existe”.

Son muchas las formas de presentarse la información en la red. Las más conocidas y utilizadas son: la World Wide Web (WWW), la transferencia de archivos (FTP), la posibilidad de compartir recursos entre computadores y el correo electrónico (email).

Los usuarios (creadores de programas SIG, Investigadores de procesos territoriales, instituciones generadoras de información geográfica, docentes y formadores de SIG, empresas de servicios SIG, usuarios finales, etc.) de los Sistemas de Información Geográfica se han visto favorecidos por este nuevo medio de comunicación, y para ello han utilizado las diversas formas que Internet proporciona aunque destaca sobre todo la Web. Es raro el organismo público o privado que no ha creado su propia Web y que ha comenzado a dar ciertos servicios a través de ella.

Generalmente es información básica sobre el organismo o institución en cuestión pero cada vez con más frecuencia la gama de actividades que pueden realizarse a través de la red crece de forma exponencial.

Por último hay que señalar que las potencialidades de la red están aún por explorar. La necesaria coordinación entre organismos hace todavía lejano un uso pleno de los Sistemas de Información Geográfica que puedan generarse en la red y a través de ella. Las posibilidades de gestión territorial que la integración de los SIG e Internet ofrecen están todavía lejos de alcanzarse.

Las hojas Web con información general de SIG

En este primer apartado se analiza uno de los usos más comunes de la red, el de difusor de conocimientos e informaciones en este caso relativos a los Sistemas de Información Geográfica. Sin temor a exagerar se puede afirmar que el número de hojas Web que entrarían en este apartado es muy elevado y que casi diariamente aparecen y desaparecen sitios sobre la temática objeto de este estudio.

Al observar detenidamente las hojas Web que se incluyen en esta tipología se puede realizar una distinción entre ellas. Unas englobarían aquellas que han sido creadas por organismos e instituciones que de una u otra manera tienen relación con la información geográfica; en segundo lugar entrarían aquellas hojas publicadas por las universidades, normalmente a partir de la creación de servicios

cartográficos o de investigación territorial, y por último aquellas web que no dependen directamente de ninguna institución oficial pública o privada y que dan información exclusivamente de SIG en cualquiera de sus facetas.

Organismos geográficos. Se incluyen aquí aquellas entidades que de una u otra manera se dedican a la investigación geográfica y territorial pero que no publican y editan cartografía de forma sistemática. A través de sus sitios Web trasladan información que generalmente versa sobre dos aspectos: las características de esas instituciones o entidades (miembros, publicaciones, organigrama, etc.) e información general sobre SIG (definiciones, formación, enlaces, etc.).

Centros Universitarios. En este segundo bloque las hojas Web proliferan en todo el mundo. La mayor parte de las universidades que trabajan con SIG a cierto nivel han creado un laboratorio, aula o servicio especializado.

Todos los sitios Web de las universidades tienen una oferta similar. Cursos o master de formación en SIG y Teledetección, información sobre proyectos realizados o en curso, bibliografía sobre SIG, enlaces de interés con otras hojas Web de la misma temática son las principales propuestas.

Web SIG. Aquí se agrupan todos aquellos sitios Web que tienen como fin exclusivo proporcionar información sobre los SIG no dependiendo directamente de ninguna institución u organización. Algunas son iniciativas privadas e individuales y en otros casos aparecen enmarcadas dentro de intereses comerciales o institucionales. Todas ellas reúnen lo que se ha denominado recursos de SIG, que no es otra cosa que todos aquellos elementos que sirven para utilizar y formarse en los Sistemas de Información Geográfica (archivos cartográficos digitales, datos geográficos bibliografía, manuales, software libre, glosarios de términos usados en SIG, oferta de cursos, foros de debates, oferta de empleo, etc.).

Web de empresas de software SIG. La mayor parte de las empresas que se dedican a desarrollar y comercializar programas con tecnología SIG utilizan la Red como medio de difusión de sus productos. Internet es el mejor escaparate comercial del mundo: gastos publicitarios mínimos y una máxima capacidad de llegada a un gran número de personas. Es por ello que las empresas tienen en la red su mejor aliado tanto para su servicio de venta como de postventa.

Web de empresas consultoras. La red sirve también como plataforma publicitaria de un buen número de empresas consultoras que usan los SIG como herramienta fundamental de análisis. De igual forma distribuyen software para sus países correspondiente, además de vender y reelaborar cartografía y fotografía digital de espacios concretos.

El papel de los organismos oficiales y privados: la cartografía digital en la red

Hay que distinguir entre la opción de descargar cartografía, sea del tipo que sea, y poder utilizar cartografía en la red. Los dos planteamientos son compatibles entre si pero en muchos casos se dan de forma independiente.

Quizás un plano todavía no explotado con la intensidad necesaria sea la difusión de cartografía digital a través de la red. Cada vez son más los organismos generadores de información territorial que usan la red. Pero a pesar de ello la disponibilidad de obtener cartografía gratuita o de pago por la red es aún reducida. La difusión cartográfica y la existencia de un SIG en red son acciones complementarias.

El futuro de los SIG en Internet

El futuro desarrollo de Internet está garantizado gracias a la amplia gama de funciones y servicios que puede cubrir. Por ello la red es el marco óptimo para el desarrollo de los SIG en una doble faceta: vía de comunicación de las experiencias acumuladas y línea de conexión entre los diferentes elementos de un posible de Información Geográfica Distribuida (IGD).

Es en la futura gestión administrativa y territorial donde están puestos los mayores esfuerzos en la actualidad. Las tipologías de IGD se multiplican a la vez que el número de usuarios pero su finalidad sigue siendo la misma, y no es otra que la de hacer más asequible a todos los ciudadanos, ocupen el lugar que ocupen, la información geográfica y cartográfica.

Resumen

- Internet está sirviendo a la difusión y uso de los SIG como herramienta de manejo de la información geográfica.
- Son muchas las formas de presentarse la información en la red. Las más conocidas y utilizadas son: la World Wide Web (WWW), la transferencia de archivos (FTP), la posibilidad de compartir recursos entre computadores y el correo electrónico (e-mail).
- La Información Geográfica Distribuida (IGD) se define como la aplicación que emplea la red de Internet para distribuir la información geográfica con el uso de un Sistema de Información Geográfica.
- Un aspecto todavía no muy desarrollado de las aplicaciones IGD es su uso para la gestión territorial. Es aquí donde se estima que debe estar el gran beneficio de la integración SIG e Internet.

RESUMEN CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN SIG.

Los Sistemas de Información Geográficos (SIG) poseen una serie de características propias de su estructura y conformación, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Estos sistemas informáticos pueden crear imágenes de un área en dos o tres dimensiones, que se utilizan como modelos en los estudios geográficos.
- Se diseñan para procesar grandes cantidades de datos y ayudan a los científicos, militares y profesionales a realizar sus investigaciones de un modo mucho más rápido y con mayor precisión.
- Cuentan con la capacidad de aceptar, procesar y presentar datos, actualizar y modificar datos y cambiar conjuntos de datos provenientes de diferentes fuentes y lo que es más importante, permite ejecutar funciones de análisis espacial desde la base de datos espacial.
- El SIG tiene muchas aplicaciones en la actualidad: son usados distintas actividades, administrativas, económicas, militares, etc.
- Un SIG puede generar imágenes de un área en dos o tres dimensiones, representando elementos naturales, como cerros, colinas, quebradas o ríos, junto a elementos artificiales como carreteras y tendidos eléctricos, como elementos geométricos (puntos, líneas y polígonos), etc.
- Se utilizan las imágenes del terreno como modelos (cartografía apoyada por computador), se obtienen mediciones precisas, se recogen datos y se comprueban ideas con la ayuda de una computadora.
- Se puede descomponer en distintos temas, es decir en distintos niveles, capas o estratos de la información de la zona que se desea estudiar: el relieve, litología, suelos, ríos, ciudades, carreteras, límites administrativos. Por tanto se puede trabajar sobre cualquiera de éstos niveles según las necesidades del momento. Su gran ventaja es que pueden relacionar éstos niveles entre sí, lo que concede a estos sistemas una sorprendente capacidad de análisis.

En cada nivel se almacena información geográfica y alfanumérica. Existen distintos tipos de almacenar éstas informaciones.

La más clara es aquella en la que existe un archivo con información cartográfica (mapa digital) y otro con información alfanumérica (la base de datos asociada).

Ambos archivos están conectados de manera que a cada uno de los objetos espaciales del mapa digital le corresponde un registro en la base de datos.

Esa conexión es posible gracias a que cada objeto del mapa digital y su correspondiente registro de la base de datos tienen un identificador común o clave, ello indica que si en el mapa digital se señala un determinado objeto, a través de su identificador es posible conocer cuáles son los valores que registra ese elemento.

- Un SIG está diseñado para aceptar datos de una gran variedad de fuentes, ya sean mapas, fotografías desde satélites, textos impresos o estadísticas.

Los sensores del SIG pueden escanear algunos de éstos datos: el operador de la computadora coloca una fotografía en el escaner y la computadora lee la información que contiene.

- El SIG convierte todos los datos geográficos en un código digital, que se halla dispuesto en su base de datos, y que es programado para que procese la información y obtener así las imágenes o la información que necesitan.
- Un SIG puede responder seis (6) grandes tipos de cuestiones o interrogantes que son.

1. Localización ¿Que hay en...?

Apuntando con el cursor en la pantalla se puede obtener información sobre lo que hay en un lugar determinado (por ejemplo, cuánta población hay y de qué tipo en una localidad). Se trata de realizar una consulta en la que es necesario relacionar la información cartográfica con la base de datos de atributos.

2. Condición ¿Dónde sucede que...?

A partir de unas condiciones previamente especificadas, el sistema debe indicar dónde se cumplen o no esas condiciones (por ejemplo, indicar dónde encontrar un lugar para desplegar una instalación logística a menos de 15 Km. de nuestra actual ubicación, que tenga agua en las cercanías, que esté protegida de la observación y fuego por alturas, que tenga buenas vías de acceso y caminos cercanos).

3. Tendencias ¿Qué ha cambiado.....?

En esta pregunta lo fundamental es la comparación entre situaciones temporales distintas (por ejemplo, cual ha sido el comportamiento de un río en los últimos 4 años en época de verano e invierno, en cuanto a crecidas, vados que se producen, inundaciones, cortes de caminos, etc.).

4. Rutas ¿Cuál es el camino óptimo....?.

El sistema permite calcular el camino óptimo (el más corto, el más económico en cuanto a consumo de combustible, el más rápido, el menos peligroso en cuanto a cuestas y curvas peligrosas, etc.) entre dos puntos a través de una red (por ejemplo, entre el lugar de empleo de una unidad y el puesto de atención sanitaria para la evacuación terrestre de heridos y enfermos).

5. Pautas ¿Qué pautas existen...?.

Ciertas regularidades espaciales pueden ser detectadas con la ayuda de un SIG (por ejemplo, qué patrones de distribución espacial existen en una determinada zona en cuanto a su poblamiento en los últimos 6 años en personas mayores de 18 años).

6. Modelos ¿Qué ocurriría si...?.

Se pueden generar modelos para simular el efecto que producirían posibles fenómenos o actuaciones en el mundo real (por ejemplo, qué sucedería si se produjera una gran cantidad de precipitaciones que produjera aumento del caudal de los ríos o determinado río lo que inhabilitaría algunos vados aptos para su cruce por vehículos militares y con cortes de caminos en determinados tramos).