

Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua 2006/2007

Módulo: Sistemas de información  
geográfica y teledetección

**SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA.  
ASPECTOS GENERALES**

AUTOR: JOAQUÍN RODRÍGUEZ CHAPARRO

## Sumario

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2. CONCEPTO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....</b>                                  | <b>4</b>  |
| <b>3. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS SIG .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>4. ELEMENTOS QUE CARACTERIZAN UN SIG .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>5. PRINCIPALES APLICACIONES ACTUALES DE LOS SIG .....</b>                                   | <b>7</b>  |
| <b>6. PRINCIPALES FUNCIONES DE LOS SIG .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>7. EL SIG COMO MODELO INSTRUMENTAL .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>8. LOS OBJETOS ESPACIALES EN LOS SIG .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>9. MODELOS DE DATOS ESPACIALES: VECTORIAL Y MATRICIAL .....</b>                             | <b>13</b> |
| 9.1 EL MODELO DE DATOS VECTORIAL.....  | 15        |
| 9.2 EL MODELO DE DATOS MATRICIAL .....   | 19        |
| <b>10. OPERACIONES, ANÁLISIS DE DATOS Y MODELADO CARTOGRÁFICO Y ESPACIAL CON LOS SIG .....</b> | <b>20</b> |

## 1. Introducción

En un curso de postgrado como el Master en Ingeniería Medioambiental. La gestión de agua, es necesario el conocimiento de las últimas técnicas para el tratamiento y análisis de la información. El volumen de ésta, que actualmente hay disponible, es tan grande que sin unas herramientas que nos permitan tratarla y analizarla sería prácticamente imposible poder tomar decisiones teniendo en cuenta todos los factores que tuviesen cierta influencia.

Por la necesidad anteriormente apuntada se ha creado, dentro del Master, un nuevo módulo denominado *Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*.

Los *Sistemas de Información Geográfica (SIG)* son una potente herramienta y, más aún, una creciente tecnología para todos aquellos sectores que requieren la gestión de información espacial de manera rápida y eficaz.

En los años sesenta hicieron aparición los *SIG*, desde entonces esta técnica ha pasado por diversas fases de desarrollo, alcanzando hoy en día áreas tan diversas como el *geomarketing*, la *logística* o la *navegación por redes de transporte asistida por satélite*.

Para nuestro caso el objetivo fundamental de impartir un curso sobre *SIG* será la solución de problemas espaciales complejos, de igual manera que con los *Sistemas de Información (SI)*, se persigue resolver problemas, por lo general, de índole no espacial, o bien contestar rápidamente a las preguntas planteadas al sistema.

Los *SIG* se podrían asimilar un laboratorio donde se trabaja con información geográfica y permite al analista, planificador o gestor plantear distintas hipótesis o escenarios virtuales de una determinada zona geográfica y así estudiar la influencia de la aplicación de determinadas normas, políticas, etc. Esto hace de los *SIG* una potentísima herramienta de planificación cuando se dispone de suficientes datos, tanto en cantidad como en calidad, para los fines que se plantean.

Esta primera conferencia saciará la curiosidad de quien quiera saber sobre *SIG* contestando a las preguntas que todos nos hacemos:

- ¿Qué es un *SIG*?
- ¿Para qué sirve?
- ¿Dónde se están utilizando y para qué?
- ¿Qué se necesita para poner en marcha un *SIG*?
- ¿Cómo abstraemos la realidad y la introducimos en un *SIG*?
- Etc.

## 2. Concepto de Sistema de Información Geográfica

Para entender lo que es un SIG lo mejor es acudir a la definición del mismo. En nuestro caso no hay una única definición, hay muchas dependiendo del punto de vista que asuma el autor en este campo; sin embargo, cuando comparamos las definiciones, vemos que muestran ciertos elementos en común, los cuales podemos considerar como los constituyentes de la base esencial de los SIG.

A continuación presentamos algunas de las definiciones más utilizadas:

- Base de datos georreferenciales o base de datos espaciales.
- Base de datos computarizada que contiene información espacial.
- Conjunto de herramientas para reunir, almacenar (en la computadora), recuperar, transformar y representar datos espaciales del mundo real para un grupo particular de propósitos.
- Tecnología informática para gestionar y analizar información espacial.
- 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.
- Sistema computarizado que provee los siguientes cuatro conjuntos de operaciones para tratar datos georreferenciados: 1) entrada de datos, 2) uso de los datos (almacenamiento y recuperación), 3) manipulación y análisis y 4) salida.
- 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 concreto.
- Base de datos especializada que contiene objetos geométricos.

En todas las definiciones anteriores hay un elemento fundamental que está expresado con distintos nombres: información espacial, datos espaciales, datos espacialmente referenciados o bien objetos geométricos. Esta información de carácter espacial es la que diferencia a los SIG de otras bases de datos especializadas, representando el elemento en torno al cual giran todas las posibles aplicaciones de los SIG.

La información o el dato espacial contiene, en su acepción más elemental, características de localización (X,Y) y tipo de característica temática (Z), en las cuales se asienta la base de todas las operaciones posibles de llevar a cabo en un SIG.

El dato espacial puede ser sintetizado, analizado y presentado cartográficamente a través de los SIG, para lo cual debe ser introducido en la base de datos con una serie de requerimientos y características que hacen al dato espacial operativo en el SIG, pudiendo así resolver con dichos datos problemas de toma de decisiones, lo que acerca a los SIG al ámbito de los sistemas de apoyo a la decisión (SAD).

### 3. Origen y Evolución de los SIG

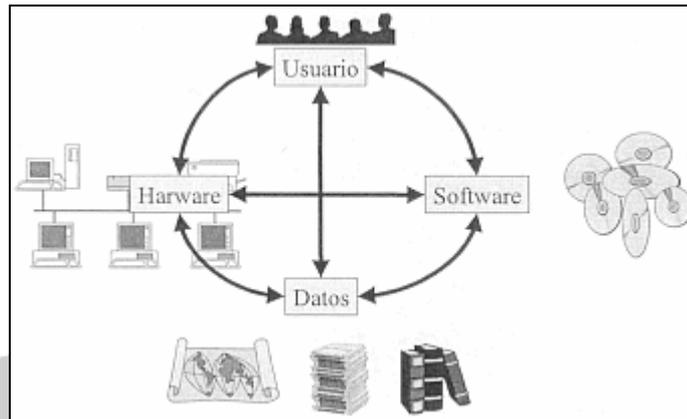
Los SIG son una tecnología reciente. El desarrollo del primero de estos sistemas se remonta al año 1966, cuando fue creado el Sistema de Información Geográfica Canadiense (CGIS) por Tomlinson y Cols., y fue a partir de ese año cuando diversas instituciones de varios países se decidieron a considerar el SIG como una importante herramienta en lo relacionado con la gestión y análisis de información geográfica o espacial.

En la evolución de los SIG se distinguen cuatro períodos fundamentales:

- El primero de ellos se extiende desde el inicio de la década de los años sesenta hasta aproximadamente el año 1975; en este período las aplicaciones más usuales se referían en esta primera etapa a producción cartográfica. Durante estos primeros años de la evolución, se buscó computerizar ciertos desarrollos existentes en el ámbito de la información espacial, como, por ejemplo, la técnica de superposición manual de mapas, lo que se puede considerar como la base del actual modelado espacial en los SIG.
- El segundo período abarca aproximadamente desde el 1975 hasta principios de los años ochenta, marca una fase de regularización, experimentación y práctica, alentada por agencias nacionales. En este período se logran importantes avances en cuanto a la configuración de los sistemas, diseñándose las primeras estructuras de datos topológicas para representar los datos espaciales. En este período continuaba la tendencia del período inicial de la cartografía automatizada, pero con un mayor énfasis en la descripción de los atributos pero no se orientaba al desarrollo de aplicaciones de análisis.
- El tercer período va desde el principio hasta finales de los años ochenta. Es una etapa de dominación comercial; en ella surgen importantes empresas dedicadas a la generación de SIG, tales como ESRI, Intergraph, Siemens o Erdas. Asimismo, algunos laboratorios pertenecientes a universidades desarrollan sus propios paquetes, entre los que caben ser destacados Odyssey, del laboratorio de Harvard; MAP, de la Universidad de Yale, e IDRISI, de la Universidad de Clark. Esta mayor disponibilidad junto con la eclosión de la tecnología informática, a mediados de los años ochenta, con productos baratos y potentes, impulsó notablemente los paquetes de SIG. En este período se inician aplicaciones en SIG relacionadas con modelado geográfico.
- El período actual, el cuarto, está dominado por los usuarios. Esto es así facilitado por la competencia entre vendedores de SIG, estandarización de sistemas abiertos y un considerable aumento de la percepción de los usuarios acerca de las capacidades de los SIG. En esta etapa, a partir aproximadamente del 1991, se desarrollan los análisis de decisión en los SIG, encontrándose los encargados de la gestión de estos sistemas ciertas carencias analíticas que por lo general presentan hoy los SIG, con lo cual es frecuente la integración de técnicas y programas compatibles con los SIG para, de algún modo, poder utilizar a plenitud su potencial en cuanto a rapidez, volumen y procesamiento de datos espaciales y temáticos.

## 4. Elementos que Caracterizan un SIG

Son cuatro los elementos fundamentales de un SIG están representados en la siguiente figura.



**FIGURA 1. ELEMENTOS DE UN SIG**

El hardware es la parte física donde se asienta el SIG. Se requiere principalmente un ordenador o una estación de trabajo y una serie de periféricos como tabletas digitalizadoras, plotters, scanners, así como unidades de almacenamiento y procesamiento de datos, para poder desarrollar la potencia operativa de los SIG.

El software, es el encargado de realizar las operaciones y la manipulación de los datos; con este elemento, el usuario establece una estrecha relación de comunicación acerca de las operaciones realizadas.

Actualmente se comercializan muchos sistemas de información geográfica. Casi todos realizan las mismas operaciones, pero tienen ciertas particularidades que diferencian unos de otros. Será el usuario el que deba decidir durante la planificación del proyecto SIG qué software se adapta de manera más adecuada a sus necesidades.

El dato es un elemento crucial. Debe ser suficiente en cantidad y calidad. Sobre él son realizadas todas las operaciones posibles de un SIG, además de ser el aspecto que requiere un mayor esfuerzo para su implementación en un proyecto SIG. Según algunas estimaciones realizadas se calcula que poner a punto los datos para ser utilizados en el proyecto SIG puede llegar al 70% del coste total del proyecto, esto indica su importancia.

La disponibilidad de datos puede condicionar la posible realización de los proyectos. En caso de carecer de datos, se puede recurrir a:

- Realizar de manera autónoma el proceso de digitalización de la información.
- Adquirir la disponible en el mercado.

A pesar de estas dos posibilidades, los inconvenientes para lograr una base de datos capaz de alimentar un proyecto ambicioso son múltiples, e incluso insalvables a costes bajos o medio.

El último elemento denominado *liveware* por algunos autores es sin lugar a dudas el elemento más importante de un SIG. Son el equipo humano encargado del diseño, implementación y manejo del SIG. Estas personas son las que deben gestionar y desarrollar las posibilidades que ofrecen estos sistemas, para así producir resultados.

## 5. Principales aplicaciones actuales de los SIG

**Ingeniería medioambiental:** por ejemplo en gestión de residuos, evaluar la vulnerabilidad de ecosistemas, calcular la erosión hídrica potencial, planificación hidrológica, hidrología superficial y subterránea.

**Gestión de recursos naturales renovables:** gestión de recursos hídricos, gestión de repoblaciones, contaminación del aire, evaluación del paisaje, ruido, etc.

**Explotación hidráulica:** gestión de concesiones, obras de modernización, control de pérdidas.

**Gestión de infraestructuras de distribución de agua,** tanto en las fases de diseño y construcción como en la explotación y mantenimiento.

**Planificación urbana y regional:** por ejemplo, en el diseño y gestión de normas y ordenanzas del uso del suelo, gestión de parques naturales, gestión municipal de licencias de obras, gestión de mobiliario urbano, señalización, etc.

**Ingeniería de transportes:** diseño de planes de tráfico, evaluación de la red viaria, optimización de los recorridos, gestión de líneas de transportes en autobús, tren y metro, incluyendo gestión de material, turnos, enlace, horarios, etc.

**Explotaciones mineras (gas, petróleo y carbón):** investigación de zonas más propicias para la explotación minera, obtención de horizontes de terreno para la investigación de los filones mineros, etc.

**Gestión del catastro urbano, rústico, registro de la propiedad, registros de productores y explotaciones agrícolas,** etc.

**Gestión de la seguridad pública:** bomberos, aplicaciones militares y policiales.

**Gestión pública de estadísticas y censo.**

**Mapas y datos referentes a la geografía en general:** física, económica, política, administrativa, etc.

**Cartografía a partir de fotografía aérea y triangulaciones; y con geoposicionadores (GPS Global Positioning System).**

**Gestión comercial de empresas:** idoneidad de centros de acopio y distribución, gestión de transportes, análisis de las áreas de clientes y demanda, geomarketing.

## 6. Principales funciones de los SIG

Las funciones de los SIG se pueden agrupar en cuatro conjuntos fundamentales:

- Entrada de información.
- Gestión de datos.
- Transformación y análisis de datos.
- Salida de datos.

Con estos cuatro conjuntos de funciones se pueden representar todas las operaciones posibles en un SIG. Seguidamente describiremos brevemente estos conjuntos de operaciones:

- Entrada de información

Esta etapa es fundamental para disponer de una base de datos potente, operativa, libre de errores y versátil, lo que permite posteriormente un adecuado funcionamiento del SIG.

Los datos espaciales y sus características temáticas asociadas provienen por lo general de diversas fuentes y en distintos formatos. Son fuentes de información frecuentes en los SIG: mapas analógicos, imágenes de sensores espaciales y fotografías aéreas, lo que implica que esta información debe ser homogeneizada y corregida para poder ser introducida en el sistema.

Actualmente, el proceso a seguir para la introducción de información espacial en formato analógico es la lectura a través de barreadores raster (scanners) de los documentos a digitalizar, para posteriormente, con programas de vectorización, obtener las capas de datos en formato vectorial; otros procedimientos, como la digitalización manual, son considerados actualmente más costosos y lentos.

La integración de datos entre la **teledetección** y los SIG es otro aspecto a tener en cuenta para la obtención de los datos espaciales; de esta manera, capas de uso y de ocupación del suelo, entre otras, pueden ser eficazmente obtenidas a partir de imágenes de satélite y posteriormente introducidas en un SIG vectorial o raster.

Otra técnica de altas prestaciones en cuanto a la obtención de información es el GPS (sistema de posicionamiento global). Con este sistema se puede obtener información del terreno en formato digital (datos espaciales) con precisión de centímetros, la cual puede ser introducida posteriormente como una capa de datos en un SIG, siendo ésta una información relativamente fácil de integrar en un SIG a bajo coste, disponiendo de un equipo medio de GPS.

En la etapa de entrada de datos se incluyen también los procedimientos de corrección de errores, así como la generación de topología de los datos espaciales y su caracterización o identificación temática (introducción de atributos).

- Gestión de datos

Esta función de los SIG abarca las operaciones de almacenamiento y recuperación de los datos de la base de datos, es decir, los aspectos concernientes a la forma en que se organizan los datos espaciales y temáticos en la base de datos.

- Transformación y análisis de datos

Esta función es la más importante de los SIG, y es donde radica todo su potencial operativo. Las funciones de transformación y análisis de datos son las que proveen *nuevos* datos a partir de los existentes originalmente. Es aquí donde se define los datos que

utilizará y cómo, para resolver problemas espaciales determinados, estableciéndose así soluciones a través del SIG con las operaciones que utilizan los datos espaciales de diferentes maneras.

La combinación, reclasificación, superposición y otras aplicaciones sobre las capas de datos espaciales que permiten desarrollar e implementar el modelado espacial son realizadas aquí, produciendo las posibles soluciones a los problemas planteados inicialmente.

- Salida de datos

En un SIG existen diversas formas de salida de datos, las cuales dependen de los requerimientos del usuario, las más frecuentes son: mapas analógicos, tablas de valores, gráficos, representaciones tridimensionales, simulaciones de vuelo sobre ciertas zonas, etc.; con estas salidas podemos representar la información contenida en la base de datos o bien mostrar el resultado de determinadas aplicaciones.

La presentación puede obtenerse en formato analógico a través de impresoras, plotters o conversores fotográficos, o simplemente ser dispuesta en un monitor gráfico.

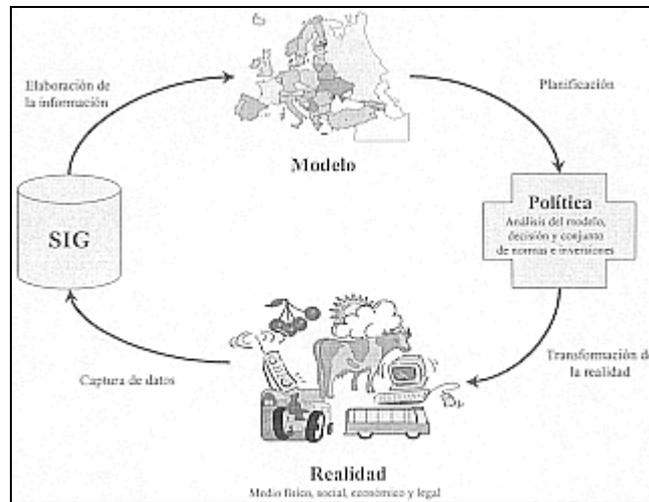
## 7. El SIG como modelo instrumental

Un modelo es una representación simplificada de la realidad. Así, como un mapa permite que nos hagamos una idea del territorio, de la misma forma que una tabla de datos estadística, un histograma o un modelo matemático nos puede dar idea de cómo es la realidad socioeconómica.

Los modelos permiten una aproximación al conocimiento de la realidad, la cual está formada por sistemas complejos. Los modelos simplifican la realidad y nos presentan aquellos aspectos en los que estamos interesados mediante elementos, imágenes u objetos sencillos.

Un SIG se puede entender como una representación abstracta y estratificada de la realidad, en la cual cada estrato o capa constituye un tema específico representado por ciertos objetos espaciales que lo definen, tales como puntos, líneas (arcos), áreas (polígonos) o bien celdas (*pixels*). Al concebir la estructura de los SIG como una representación de la realidad, surge el concepto de modelo, en este caso circunscrito al modelo de datos espaciales a través del cual la información del mundo real puede ser representada en un SIG.

Por tanto, con los SIG se pueden elaborar modelos que sirven de apoyo a la toma de decisiones para la planificación o para la gestión de sistemas complejos.



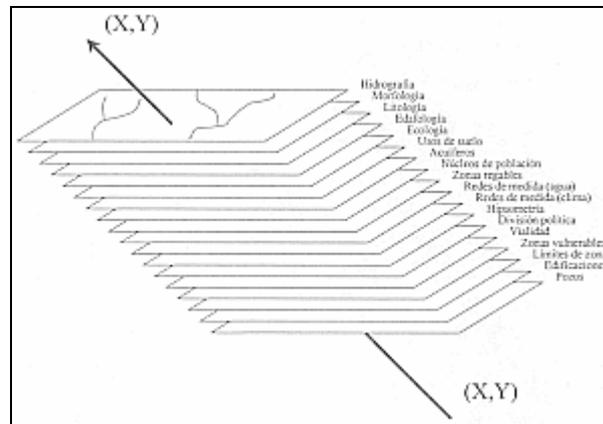
**FIGURA 2. PROCESO CÍCLICO DE LA GESTIÓN DE UN SISTEMA COMPLEJO.**

Los SIG deben ser diseñados como modelos de la realidad que se pretende gestionar. Deben evitarse planteamientos erróneos como sistema de emisión de mapas, gráficos, etc.

La estructuración de la información del mundo real en capas conlleva cierto nivel de dificultad para la representación de los datos espaciales como objetos espaciales pertenecientes a una capa, ya que cada objeto espacial está representado por información acerca de su posición (localización absoluta X, Y), relaciones topológicas (localización relativa en función de otros objetos espaciales y sus relaciones) y atributos de los objetos (características temáticas de cada uno).

Son los aspectos topológicos y espaciales relacionados con cada objeto espacial lo que diferencia a los SIG de otros sistemas de información.

La topología de los objetos espaciales es de suma importancia en un SIG. Esta es definida como la manera en la cual los elementos geográficos están vinculados, o bien como el método matemático usado para definir relaciones espaciales entre objetos.



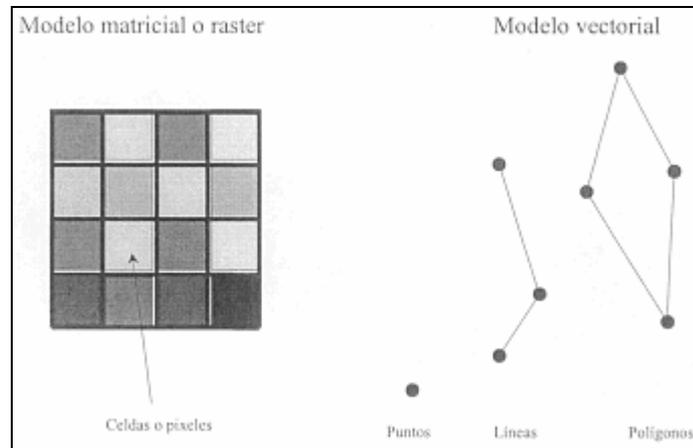
**FIGURA 3. CAPAS TEMÁTICAS**

El vínculo citado, establece una serie de relaciones topológicas entre los objetos espaciales de una capa, como conectividad, contigüidad, proximidad/lejanía, inclusión, etc. Tales aspectos son generados de manera interna a través de ciertas operaciones en el SIG utilizado; es decir, el usuario común no necesita conocerlos para realizar operaciones en el SIG.

Por último, un aspecto a destacar es que el conjunto de capas que lo componen tienen una característica que es fundamental para los análisis que pueden realizarse entre ellas, y es que un punto de una determinada capa tiene exactamente la misma localización (X, Y) en las demás, lo que permite una perfecta superposición entre dos o más capas de un mismo SIG para realizar determinadas operaciones espaciales.

## 8. Los objetos espaciales en los SIG

Los objetos espaciales son la representación de los hechos espaciales en una capa temática; dichos objetos se representan en función de los distintos tipos de unidades de observación que se pueden distinguir en la realidad; así, tenemos que a partir de las propiedades geométricas de un hecho espacial real, éste puede representarse en una capa por medio de alguno de los tres objetos espaciales establecidos: puntos, líneas y áreas en el modelo de datos vectorial, o celdas en el modelo matricial o raster.



**FIGURA 4. OBJETOS ESPACIALES.**

Con la relación a la representación de los hechos del mundo real en los SIG, la escala desempeña un papel fundamental en la selección de los objetos espaciales, ya que elementos espaciales de la realidad que en una escala pueden representarse por áreas o líneas, en una menos detallada pueden representarse por puntos, y viceversa. De esta manera, la representación de los elementos del mundo real en objetos espaciales se realiza como una abstracción en función de la escala y las características espaciales y topológicas de cada elemento espacial del mundo real.

Las capas que contengan un tipo específico de objetos espaciales diferentes a los de otra capa, tendrán también propiedades diferentes, por lo cual las técnicas de análisis y la organización interna (estructura de datos) de dichas capas en la base de datos será también distinta.

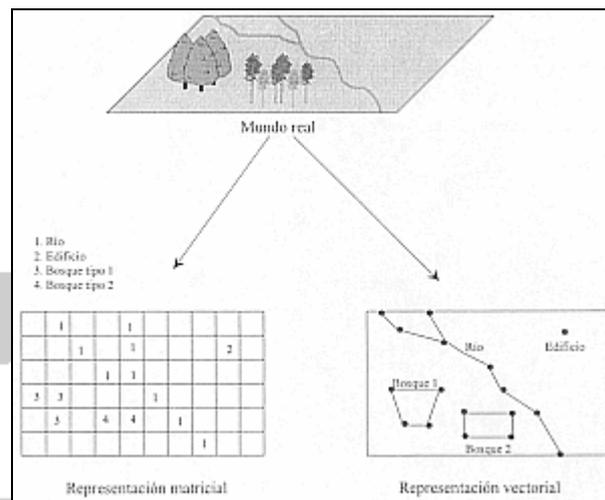
Comentamos anteriormente que un SIG se puede entender como una visión abstracta de la realidad, haciendo este hecho más patente si cabe, la forma de representar los datos espaciales dentro del sistema, basados siempre en la fuente de información original; es decir, la información geográfica.

La información geográfica puede ser en ocasiones enormemente compleja y difícil de representar. Tiene características únicas, por lo tanto su recolección, compilación y análisis presentan problemas únicos. De igual manera que presenta problemas para ser expresada de modo coherente a través de un modelo de datos con unos objetos espaciales específicos.

A partir de la información geográfica proveniente del mundo real, obtenemos en un principio los datos geográficos contenidos en ella, con lo cual llevamos a cabo un proceso de abstracción y discretización de una información originalmente continua. Pudiendo luego, dependiendo del modelo de datos que utilicemos, representarla a través de puntos, líneas, áreas o celdas.

## 9. Modelos de datos espaciales: vectorial y matricial

Los datos espaciales pueden ser representados digitalmente en un SIG a través de dos modelos de datos espaciales: vectorial y matricial o raster.



**FIGURA 5. REPRESENTACIÓN MATRICIAL Y VECTORIAL DEL MUNDO REAL.**

En el modelo vectorial, la información del mundo real es representada por los puntos y líneas que definen sus límites o fronteras, estableciendo un sistema de coordenadas (X, Y) para localizar cada objeto espacial en una capa. Los elementos son representados por sus fronteras, las cuales se definen explícitamente.

En el modelo de datos vectorial, las áreas (polígonos) están descritas por el conjunto de líneas de frontera que las delimitan; dichas líneas se representan por un conjunto de coordenadas correspondientes a sus vértices, mientras que los puntos se representan por una coordenada (X, Y).

En el modelo de datos matricial, el espacio está representado por un conjunto de unidades espaciales llamadas celdas, las cuales representan unidades homogéneas de información espacial; éstas establecen su localización por un sistema de referenciación en filas y columnas.

En este modelo de datos, los elementos del mundo real están representados por un conjunto de celdas adyacentes, pero que en realidad no mantienen una relación mutua entre ellas, ya que las fronteras de las regiones o áreas están definidas implícitamente, y no se reconocen a menos que se aplique un algoritmo de detección de fronteras, a diferencia del modelo vectorial, en el que cada objeto espacial (en el caso de las áreas) representa una unidad homogénea de información, con una topología que define sus relaciones con los demás objetos espaciales de la capa temática.

En el modelo matricial, cada celda tiene un valor o código asignado, correspondiente al tipo de información temática que representa cada celda, así en la aproximación matricial, el espacio es poblado por un largo número de celdas regularmente distribuidas, cada una de las cuales puede tener diferentes valores.

La asignación de atributos en el modelo vectorial se realiza a través de una tabla de atributos asociada a cada capa de datos espaciales, en la cual una etiqueta identifica cada objeto espacial, con cuya identificación se asignan los atributos temáticos a los objetos en dicha tabla de atributos.

Cada uno de los modelos tiene sus ventajas e inconvenientes que a continuación se exponen:

|                | Matricial  | Vectorial  |
|----------------|--|--|
| Ventajas       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adecuado para representar elementos geográficos poco definidos.</li> <li>• Estructura de datos simple.</li> <li>• Facilidad de análisis espacial. Superposición de capas sencilla.</li> <li>• Facilidad de aprendizaje.</li> <li>• Tecnología económica.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adecuado para representar elementos geográficos bien definidos.</li> <li>• Menor ocupación de disco.</li> <li>• Topología, ofreciendo una gran capacidad de análisis.</li> </ul>  |
| Inconvenientes | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad para definir topologías complejas.</li> <li>• Grandes volúmenes de datos.</li> <li>• Las salidas son, por lo general, menos elegantes.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura de datos compleja.</li> <li>• Superposición de capas compleja.</li> <li>• Poco eficiente representando en un mismo mapa gran variedad de atributos.</li> <li>• Dificultad de aprendizaje.</li> <li>• Mayor sofisticación (coste) hard y soft.</li> </ul> |

El modelo de datos vectorial concibe el espacio de modo continuo, de manera tal que la representación de los hechos espaciales del mundo real se realiza de manera más realista que en el modelo matricial, debido a que los objetos espaciales se representan de manera explícita. El nivel de precisión en el modelo vectorial está limitado por el número de bits usados para representar un valor simple dentro del ordenador, siendo la resolución espacial en este modelo mucho más fina en comparación al tamaño de celda generalmente utilizado en el modelo matricial.

En el modelo de datos vectorial, la representación espacial de la información está asociada a otra base de datos que contiene la información temática, lo que permite asignar una serie de características (atributos temáticos) a los objetos espaciales, dando pie a posteriores operaciones y análisis en cada uno de los componentes de los datos (espacial o temático) o, lo que es más importante, en ambos dentro de un mismo análisis. Por otra

parte, los métodos de almacenamiento de datos vectoriales utilizan relaciones implícitas que permiten que datos complejos sean almacenados en un espacio mínimo.

Como hemos visto, las dos aproximaciones conceptuales de representación de la información espacial, vectorial y matricial tienen características que las definen y diferencian notablemente. Sin embargo, a pesar de dichas diferencias, no está claro cuál de los dos modelos es mejor; esta respuesta debe darla el analista de SIG en el momento de emprender la ejecución de un proyecto en estos sistemas. Por otra parte, ciertas aplicaciones específicas encuentran mejor respuesta en uno de los dos modelos; por ejemplo, la representación de elementos espaciales continuos como la altitud (caso de los Modelos Digitales de Elevación –MDE–) encuentra una representación más operativa en el modelo raster, de igual manera que las imágenes satelitales. Sin embargo, la representación de variables discretas puede realizarse de manera más económica en el modelo vectorial, por ejemplo una capa de ocupación del suelo.

Así, podemos pensar que al contrario de buscar cuál es el mejor modelo de datos, debemos viajar hacia sistemas que integren ambos modelos en un solo ambiente de trabajo, hecho ya aplicado en algunos paquetes de SIG.

## 9.1 El modelo de datos vectorial

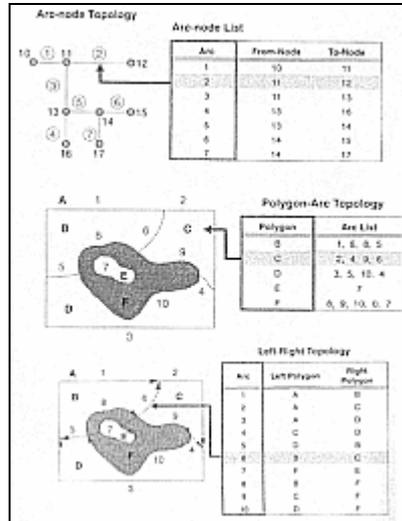
La estructura arco/nodo es una de las más usuales en SIG vectoriales. El SIG que se utilizará en las prácticas de este curso, reconoce esta estructura de datos para la componente espacial de los datos.

En esta estructura de datos, el elemento espacial básico es el arco o línea, el cual se define como una serie de puntos interconectados que empieza y termina en un nodo, estando así constituida la línea por una serie de segmentos rectos con la misma topología. El segundo elemento en importancia en esta estructura es el nodo, el cual es un punto de intersección donde confluyen dos o más líneas o que es el punto terminal de una línea (nodo colgante).

La estructura arco/nodo, basada en los elementos antes citados, la línea y el nodo, constituye una de las estructuras de datos espaciales más potente para el análisis espacial, dadas las características topológicas explícitas que en ella se establecen para cada objeto espacial en una capa temática.

Hay que hacer notar que los puntos no tienen topología, mientras que los arcos y los polígonos sí.

En las siguientes figuras podemos ver la representación de una capa en la estructura arco/nodo, así como las tablas de topología establecidas para cada objeto. Se pueden observar diferentes tablas topológicas, dependiendo del objeto representado.



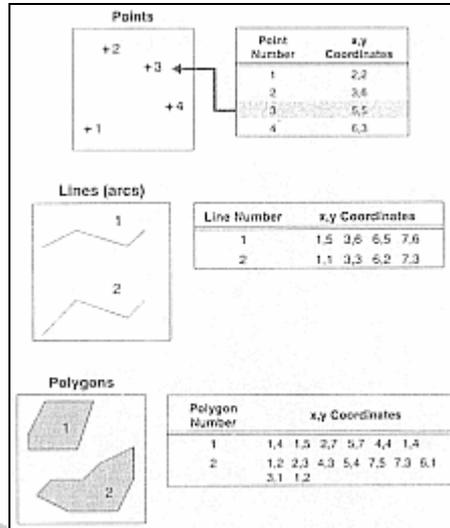
**FIGURA 6. DIFERENTES TABLAS DE TOPOLOGÍA.**

Aunque cada paquete de SIG pueda introducir algunas modificaciones en la codificación de los objetos espaciales, los principios establecidos suelen ser comunes. Así, con la topología expresada en las tablas correspondientes es factible realizar consultas espaciales más rápidamente que si fuera necesario recurrir a la tabla de coordenadas, como en el caso de estructuras de datos no topológicas.

Por tanto las relaciones espaciales que puede deducirse de la topología son:

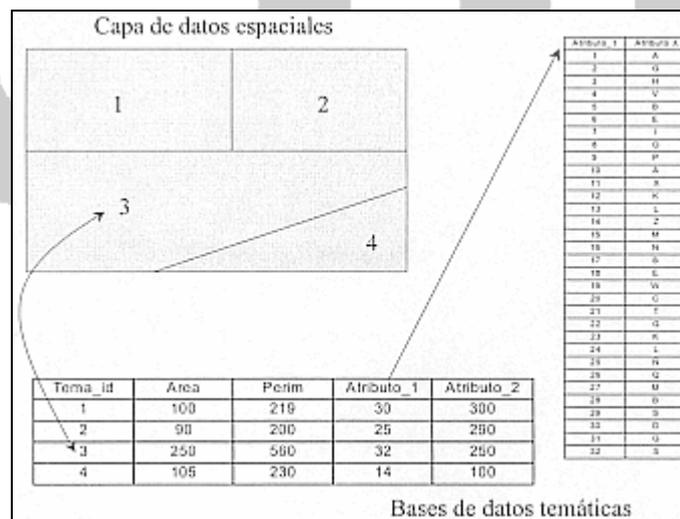
| Puntos  | Arcos  | Polígonos   |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Ninguna, no tienen topología.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Conectividad.</li> <li>Dirección y sentido</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Área.</li> <li>Inclusión.</li> <li>Contigüidad.</li> </ul> |

Las tablas de coordenadas, además de establecer la localización precisa de cada objeto espacial en la capa temática, proporciona la capacidad de conocer la localización en coordenadas del mundo real de los elementos representados, siendo esto factible con un operador de transformación lineal de coordenadas y de proyecciones cartográficas, llevando las originales de la digitalización a las de un sistema de coordenadas establecido, como UTM.



**FIGURA 7. TABLAS DE COORDENADAS.**

Una vez que la componente espacial de los datos ha sido establecida, es necesario relacionar los atributos temáticos pertenecientes a cada objeto espacial. Esta cuestión ha sido resuelta relacionando la parte de la base de datos que contiene los objetos espaciales con otra que contiene los aspectos temáticos de los mismos, así podemos relacionar una estructura de datos espaciales, como la arco/nodo con una base de datos de tipo relacional a través de un arreglo conocido como modelo híbrido o georrelacional.



**FIGURA 8. MODELO DE DATOS GEORRELACIONAL**

El diseño de la base de datos es un aspecto fundamental para el buen funcionamiento de los procesos de entrada/salida, análisis, consulta, almacenamiento y otros que

se puedan realizar sobre la base de datos, la cual debe diseñarse física y lógicamente antes de la introducción de los datos en ella.

El diseño lógico de la base de datos representa una visión del usuario de las interrelaciones entre los conjuntos de datos almacenados. Implica el uso de modelos de representación teórica de las relaciones entre los conjuntos de datos, entre ellos, el modelo entidad-relación es el más ampliamente aceptado, y se base en una serie de conceptos fundamentales que incluyen objetos, atributos y relaciones.

Las relaciones específicas entre entidades pueden caracterizarse de varias formas: una-a-una, una-a-varias y varias-a-varias. Una relación una-a-una constituye un tipo de relación donde un determinado elemento de una capa se relaciona con un, y sólo un, elemento de otra capa. Por ejemplo, una subcuenca tiene una, y sólo una, estación de un conjunto de estaciones meteorológicas (y así para cada una de las subcuencas que consideremos). Una-a-varias, por ejemplo una subcuenca que cuenta con un número determinado de estaciones de aforo, y la relación varias-a-varias se ejemplifica con varios usos de suelo que están presente en varias subcuencas.

Como ya se ha comentado, la forma más usual de representación de la componente temática de los datos espaciales es a través de una base de datos relacional. Este tipo de organización de base de datos, se estructura de manera similar a un aspecto de la geografía ampliamente difundido, como es la matriz geográfica o matriz de información geográfica, en la cual cada columna representa un lugar del territorio, y las filas, las variables que se incluyen para caracterizar los lugares establecidos.

El modelo de datos relacional es uno de los más extendidos en los sistemas informáticos de proceso y almacenamiento de datos. Este modelo de datos se estructura a partir de una serie de filas (registros) y columnas (campos); cada registro corresponde a un objeto espacial referido por un identificador que normalmente se define en la primera columna o columna principal (columna clave); así, las columnas representan los atributos asociados a cada objeto espacial.

Una de las ventajas de este modelo de datos, es que cualquier campo puede establecerse como campo clave, lo cual permite generar relaciones con otras tablas que contengan el mismo campo.

El modelo de datos relacional permite también añadir nuevos campos o eliminar alguno de los existentes, facilitando así la gestión y utilización de la base de datos temática.

En relación con las operaciones factibles de desarrollar con una base de datos relacional, destacan:

- Recuperación mediante especificación simbólica o nominal.
- Recuperación mediante condición aritmética y/o lógica.
- Análisis estadísticos.

En los dos primeros casos es posible realizar búsquedas de objetos espaciales a través de los valores que tengan asignados en determinados campos, bien especificando el atributo o estableciendo relaciones de lógica booleana. Es decir, se pueden plantear las siguientes relaciones de búsqueda.

Mayor que >

Menor que <  
Igual que =  
Diferente que  
o bien integradas con  
Y (and lógico)  
O (or lógico)  
NO (not lógico)  
NI (nor o xor lógico).

## 9.2 El modelo de datos matricial

Hemos comentado hasta aquí los aspectos concernientes a la organización y tratamiento de la componente temática de los datos en el modelo vectorial; entraremos ahora a plantear esta cuestión en su homólogo matricial.

Al igual que en el modelo vectorial, también existen varias estructuras de datos en el matricial; sin embargo, intentaremos centrar este comentario de manera general, dado que lo que nos interesa es cómo se incluye la componente temática de los datos en este modelo de datos.

Como vimos anteriormente, existen varios objetos espaciales para representar en un SIG los datos espaciales, siendo la celda la unidad básica o el objeto espacial en el modelo de datos matricial, lo que le confiere a este modelo ciertas diferencias con el vectorial, dada esta manera discreta de representar la información espacial del mundo real.

En una capa matricial coexisten un conjunto de celdas regulares de igual forma y tamaño, con un atributo numérico para representar la componente temática del dato representado.

Este tipo de representación puede generar en ocasiones un número elevado de celdas, ya que, por ejemplo, un bosque que en el modelo vectorial se representará por un único polígono, aquí debe representarse por un conjunto de celdas adyacentes con el mismo atributo temático, aumentando progresivamente el número de celdas a medida que aumenta la resolución espacial de la capa y éstas, por lo tanto, sean más pequeñas.

Otro aspecto destacable en esta estructura es que, por lo general, a las celdas sólo se les puede asignar un atributo único y no varios, como en el modelo híbrido, en el cual un punto, línea o polígono pueden tener múltiples atributos temáticos en la base de datos relacionada asociada a la capa de objetos espaciales. Eso puede ocasionar un mayor número de capas en una base de datos raster en comparación con una representación vectorial de la misma.

De esta manera, en una capa en modelo raster un elemento puntual, como un pozo, se representa por una celda; uno lineal como un río, por una secuencia de celdas alineadas, y un elemento poligonal, como un bosque, por una agrupación de celdas contiguas (ver figura 5).

En relación con las operaciones capaces de llevar a cabo un SIG matricial con la componente temática, podemos plantear ciertas diferencias con las del modelo vectorial;

por lo general, los SIG matriciales ofrecen más posibilidades de tratamiento temático de los datos que los vectoriales, disponiendo de posibilidades de aplicación dentro del álgebra de mapas; es decir, se ofrecen las relaciones de lógica booleana y aritméticas, además de otras, como las posibilidades de clasificaciones multivariantes; generación de histogramas; operaciones estadísticas univariantes y multivariantes, como correlaciones o medidas de autocorrelación; operaciones de vecindad inmediata, y algunas otras posibilidades, como interpolaciones.

Dichas operaciones le confieren al modelo matricial ciertas ventajas sobre el vectorial en este sentido; sin embargo, como ya hemos comentado, la elección de uno u otro modelo debe basarse en muchos otros factores, incluso en la disponibilidad o acceso al software.

## 10. Operaciones, análisis de datos y modelado cartográfico y espacial con los SIG

Las operaciones que puede llevar a cabo un SIG con los datos de la base de datos son diversas, pudiéndose realizar independientemente sobre el componente temático o en el espacial, o bien en procesos que involucren ambos componentes del dato simultáneo.

En la siguiente tabla se pueden ver cinco grupos genéricos de operaciones en un SIG.

|  | Operaciones   |
|--|---|
| 1. Entrada y salida de datos                                       |   |
| 2. Mantenimiento, recuperación y análisis de información temática. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Edición de atributos.</li> <li>• Interrogación de atributos.</li> <li>• Recuperación por especificación simbólica.</li> <li>• Recuperación por condición numérica o lógica.</li> <li>• Análisis estadístico de atributos.</li> <li>• Filtrado de datos.</li> </ul>   |
| 3. Mantenimiento, recuperación y análisis de información espacial. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperación por especificación de dominio espacial.</li> <li>• Recuperación por condición geométrica.</li> <li>• Búsqueda espacial entre varios estratos temáticos.</li> <li>• Transformaciones geométricas.</li> <li>• Transformaciones de proyecciones cartográficas.</li> <li>• Emparejamiento de bordes.</li> <li>• Edición de elementos gráficos.</li> </ul> |
| 4. Análisis integrado de datos espaciales y temáticos.             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperación/clasificación/medida.</li> <li>• Superposición.</li> <li>• Operaciones de vecindad.</li> <li>• Operaciones de conectividad.</li> </ul>  |
| 5. Modelado cartográfico y espacial.                               |   |

Las operaciones de entrada y salida de datos han sido desarrolladas anteriormente.

El modelado cartográfico es un término más amplio que los conjuntos de operaciones antes caracterizados; en el modelado cartográfico se integran en una secuencia lógica una serie de capas, operaciones del SIG topológicas y temáticas, información externa al SIG (opcionalmente) y juicios de valor, con el fin de buscar soluciones a determinados problemas de carácter espacial. Se explica el modelado cartográfico como una metodología general para el análisis y síntesis de datos geográficos, definiéndolo como el

uso de las operaciones básicas de un SIG en una secuencia lógica para resolver problemas espaciales complejos.

La información espacial, junto con la serie de funciones que puede desarrollar un SIG, puede ser utilizada para obtener *nueva* información resultante del análisis de la original; este proceso concierne al modelado cartográfico, que proporciona una aproximación sistemática para definir la información necesaria y el procedimiento de análisis para lograrlo.

El proceso de datos en el modelado cartográfico se expresa mediante operaciones (statements) y procedimientos (o programas).

Las operaciones consisten en unidades individuales de la actividad del proceso de datos, éstas son la expresión de las funciones básicas de un SIG.

Los procedimientos consisten en secuencias lógicas finitas de dos o más operaciones que son aplicadas para dar sentido a los datos con una finalidad predeterminadas.

Las operaciones y los procedimientos constituyen así los elementos que componen la descripción teórica del proceso de datos.

Las operaciones representan la función específica ejecutada por el SIG sobre una determinada capa de entrada, indicando adicionalmente el nombre de la capa de salida y la forma o los parámetros en que se aplica dicha función; la notación se representa como sigue:

**CAPA DE SALIDA = FUNCIÓN – DE – CAPA DE ENTRADA**

De tal forma, un conjunto de operaciones ordenadas de modo que produzcan el resultado planteado como objetivo representa un programa.

Se han definido dos tipos básicos de modelado cartográfico: descriptivo y prescriptivo. El modelado cartográfico descriptivo refiere aquellas técnicas cuyo propósito es lograr descripciones acerca de la información espacial; dentro de este tipo de modelado se puede realizar una diferenciación entre técnicas que analizan y técnicas que sintetizan datos espaciales. Las primeras tienden a descomponer la información espacial en sus unidades mínimas territoriales, mientras que las segundas tienden a recomponer la información espacial para una utilización específica.

El modelado cartográfico descriptivo se realiza por un proceso deductivo, en el cual con el planteamiento de un resultado esperado se procesan los datos para obtenerlo.

Por otra parte, el modelado cartográfico, prescriptivo consta de tres fases principales:

- Planteamiento del problema.
- Generación de soluciones al problema.
- Evaluación de las soluciones.

Las dos primeras son meramente descriptivas, siendo aplicadas también en el modelado cartográfico descriptivo, mientras que la tercera constituye la parte fundamental del modelado cartográfico prescriptivo.

Las técnicas de modelado cartográfico prescriptivo están generalmente asociadas con ciertas formas de localización geográfica; esto es, reuniendo ciertas condiciones te-

máticas de asentamiento de actividades, siendo el objetivo determinar los lugares más convenientes según una serie de condiciones para una actividad planteada.

eoii