

#### 4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

En la década de los 70's, con el desarrollo de la tecnología informática, aparecieron una serie de programas cuya finalidad era gestionar datos espaciales georeferenciados. 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”* (Chorley, 1987). No se sabe si realmente este “novedoso” invento sea tan crucial pero, sin duda, se trata de una interesante y útil herramienta que facilita la compilación, análisis y divulgación de los datos espaciales. Además, *“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”* (Conesa García, 1996). Todo esto argumenta todo aquel esfuerzo de síntesis que se realice para conocer y entender mejor los aspectos más relevantes de estos sistemas.

El desarrollo actual de los SIG ha sido paralelo al progreso del hardware y software informático. Los avances tecnológicos que han sufrido las computadoras personales se han visto correspondidos con unos Sistemas de Información Geográfica más potentes y mucho más sencillos de manejar.

#### Historia de los Sistemas de Información Geográfica

El antecedente histórico de lo que inicialmente podría considerarse un SIG, aunque falto del instrumental informático actual, es el protagonizado en el año de 1854 por el pionero de la epidemiología, el Dr. John Snow, ya que determinó el foco de cólera en el distrito de Soho, Londres. Este mapeo, permitió a Snow localizar con precisión un pozo de agua contaminado como fuente causante del brote. Si bien, la cartografía topográfica y temática ya existía, el mapa que elaborara Snow se convirtió en el único hasta el momento, que, utilizando los métodos cartográficos, no solo representaba la realidad, sino que se analizaba por primera vez los conjuntos de fenómenos geográficos dependientes.

#### 4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

MIMO (Map In Map Out) 1959, desarrollado por Waldo Tobler, es una de las primeras aplicaciones informáticas destinadas a la cartografía asistida por computadora, siendo ésta la primera que planteara los problemas de tratamiento de datos geográficos, su captura, su análisis y presentación; englobando de este modo todos los elementos básicos de un SIG.

El primer SIG como lo conocemos actualmente, es el Canadian Geographical Information System (CGIS), iniciado en 1964 y activo desde 1967. Se dedica al inventario y planificación de ocupación del suelo en grandes zonas. (Departamento de Agricultura de Canadá, Roger Tomlinson, IBM).

DIME (Dual Independent Map Encoding) es uno de los primeros intentos de resolución de los problemas que surgen en el CGIS; creado en 1967 por la administración de los Estados Unidos. Este desarrollo aportó ideas y soluciones para desarrollar y mejorar las estructuras topológicas de los datos vectoriales.

En 1968 la Universidad de Harvard desarrolla el SYMAP (Synagraphic MAPping) un programa de cartografía asistida por computadora y que tiene su continuación en los programas de trazado de curvas, como el CALFORM en 1970; aún no es posible la elaboración interactiva de mapas.

Junto al desarrollo de SYMAP (vectorial) se desarrolla GRID (raster), que posteriormente es ampliado con IMGRID. Al mismo tiempo en la Universidad de Yale se desarrolla el Map Analysis Package (MAP), base para el posterior desarrollo de programas como ERDAS e IDRISI.

En 1969 Ian McHarg publica “Design with nature”, referencia paradigmática en la que se plantea la metodología SIG, un método manual de superposiciones de transparencias de matrices binarias, con el cual se formula el concepto de SCA (análisis de capacidad-susceptibilidad) de gran importancia en el futuro desarrollo de las capacidades analíticas de los SIG.

Hacia finales de la década de los 60's comienzan a surgir las primeras aportaciones comerciales, así en 1969 fue creado el Environmental Systems Research Institute (ESRI), así como otras empresas dedicadas a los SIG, tal es el caso de Intergraph, Computervision y Synercom.

Así en los años 80's se da la expansión del uso de los SIG, facilitado por la comercialización simultánea de un gran número de herramientas de dibujo y diseño asistido por computadora (CAD o CADD), así como la generalización del uso de computadoras y estaciones de trabajo en la industria.

#### **4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Los SIG han estado considerados hasta ahora como herramientas muy tecnificadas y complejas en manos de científicos y tecnólogos. Hoy esto está cambiando y están siendo aceptados en el mercado comercial cada vez más, en función de dos factores primordiales: la existencia de geodatos en formato digital al alcance de todos y la sencillez de manejo y accesibilidad a los mismos y a la simplicidad de las herramientas que poseen.

Es cada vez más común el uso de los SIG en la Geología, especialmente en el ámbito de riesgos su uso se ha intensificado, ya que es una herramienta que permite realizar una gran variedad de análisis y que facilita la toma de decisiones.

Los SIG en el área de riesgos actualmente se utilizan para análisis regionales de peligro por deslizamientos (Pradhan, et al 2007); para la predicción de riesgos de volcanes (Renschler, 2005), la evaluación del riesgo volcánico (Felpeto et al, 2007); para modelos de riesgo por avalanchas de nieve (Gruber et al, 2007); se emplean en la predicción de peligros inducidos por terremotos (Chang-Guk Sun et al, 2008) por nombrar algunos, la utilidad de los SIG es infinita y hay tantas aplicaciones como temas existen.

#### **Sistema de Información Geográfica**

Un sistema de información geográfica (SIG) integra hardware, software y datos para capturar, administrar, analizar y mostrar todas las formas de información geográficamente referenciada.

Un SIG permite visualizar, comprender, cuestionar, interpretar y analizar los datos en muchos aspectos que revelan las relaciones, patrones y tendencias en forma de mapas, globos terráneos, informes y gráficos.

Un SIG ayuda a responder preguntas y resolver problemas al mirar los datos en una forma que sea rápidamente entendida y compartida con facilidad.

#### **Componentes de un SIG**

Básicamente un SIG está estructurado por cuatro elementos fundamentales que son: hardware, software, datos y el recurso humano.

#### 4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

El hardware o el componente físico del sistema se compone de una computadora o estación de trabajo y una serie de periféricos englobados en dos grupos fundamentales: de entrada y de salida. En los primeros se pueden incluir las mesas digitalizadoras, los scanners y el teclado; en los segundos, plotter, impresoras y monitores. Como un grupo aparte, deben ser tratadas las unidades de almacenamiento.

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 marcas comerciales que ofrecen sus productos. La facilidad de acceso, la capacidad de almacenamientos y procesamientos y la posibilidad de análisis complejos serán elementos esenciales a valorar en la calidad de un programa SIG. Cada vez es más numerosa la oferta de programas, destacando algunos como Arc-Info, IDRISI, Mapinfo, Osu-Map, ERDAS, etc. así como la diversa gama de software libre con la que actualmente se puede contar.

Los datos geográficos constituyen la base de todo el sistema; sin ellos no tiene sentido ni el software ni el hardware. La dificultad en la adquisición de algunos y lo perentorio de su actualidad provoca que sea este elemento el más costoso de todos los componentes de un proyecto utilizando un 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 tienen un papel importante en la configuración estructural de un SIG. Éste se encuentra orientado para su uso. No tiene sentido un SIG correctamente estructurado que no se encuentre pensado para ser utilizado por todo tipo de personas. Hay dos tipos de usuarios; los especializados y el público en general. Se denomina *especializados* a aquellos 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, sea la que fuese, de un SIG concreto. En este caso no se requiere una formación específica, y la adaptación debe estar en sistema que debe ser “amigable”.

### **Tipos de Datos**

Los datos de un SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes, litologías, ríos, etc.). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial.

Los SIG que se centran en el manejo de datos en formato vectorial son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias en fenómenos no discretos; también en estudios medioambientales donde no se requiere una excesiva precisión espacial (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.).

Raster. Un tipo de datos raster es, en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo de SIG raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor.

Cualquiera que esté familiarizado con la fotografía digital reconoce el píxel como la unidad de información de una imagen. Una combinación de estos píxeles creará una imagen, a distinción del uso común de gráficos vectoriales escalables que son la base del modelo vectorial. Si bien una imagen digital se refiere a la salida como una representación de la realidad, en una fotografía o el arte transferidos a la computadora, el tipo de datos raster reflejará una abstracción de la realidad. Las fotografías aéreas son una forma comúnmente utilizada de datos raster con un sólo propósito: mostrar una imagen detallada de un mapa base sobre la que se realizarán labores de digitalización. Otros conjuntos de datos raster contendrá información relativa a elevaciones, un Modelo Digital del Terreno (DEM), o de reflexión de una particular longitud de onda de la luz (las obtenidas por el satélite LandSat), etc.

Los datos raster se compone de filas y columnas de celdas, cada celda almacena un valor único. Los datos raster pueden ser imágenes (imágenes raster), con un valor de color en cada celda (o píxel). Otros valores registrados para cada celda puede ser un valor discreto, como el uso del suelo, valores continuos, como temperaturas, o un valor nulo si no se dispone de datos. Si bien

#### 4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

una trama de celdas almacena un valor único, estas pueden ampliarse mediante el uso de las bandas del raster para representar los colores RGB (rojo, verde, azul), o una tabla extendida de atributos con una fila para cada valor único de células. La resolución del conjunto de datos raster es el ancho de la celda en unidades sobre el terreno.

Este tipo de datos se almacenan en diferentes formatos, desde un archivo estándar basado en la estructura de TIFF, JPEG, etc. a grandes objetos binarios (BLOB), los datos almacenados directamente en sistema de gestión de base de datos. El almacenamiento en bases de datos, cuando se indexan, por lo general permiten una rápida recuperación de los datos, pero a costa de requerir el almacenamiento de millones registros con un importante tamaño de memoria. En un modelo raster cuanto mayor sean las dimensiones de las celdas, menor es la precisión o detalle (resolución) de la representación del espacio geográfico. Vectorial. En un SIG, las características geográficas se expresan con frecuencia como vectores, manteniendo las características geométricas de las imágenes. (Figura 6)

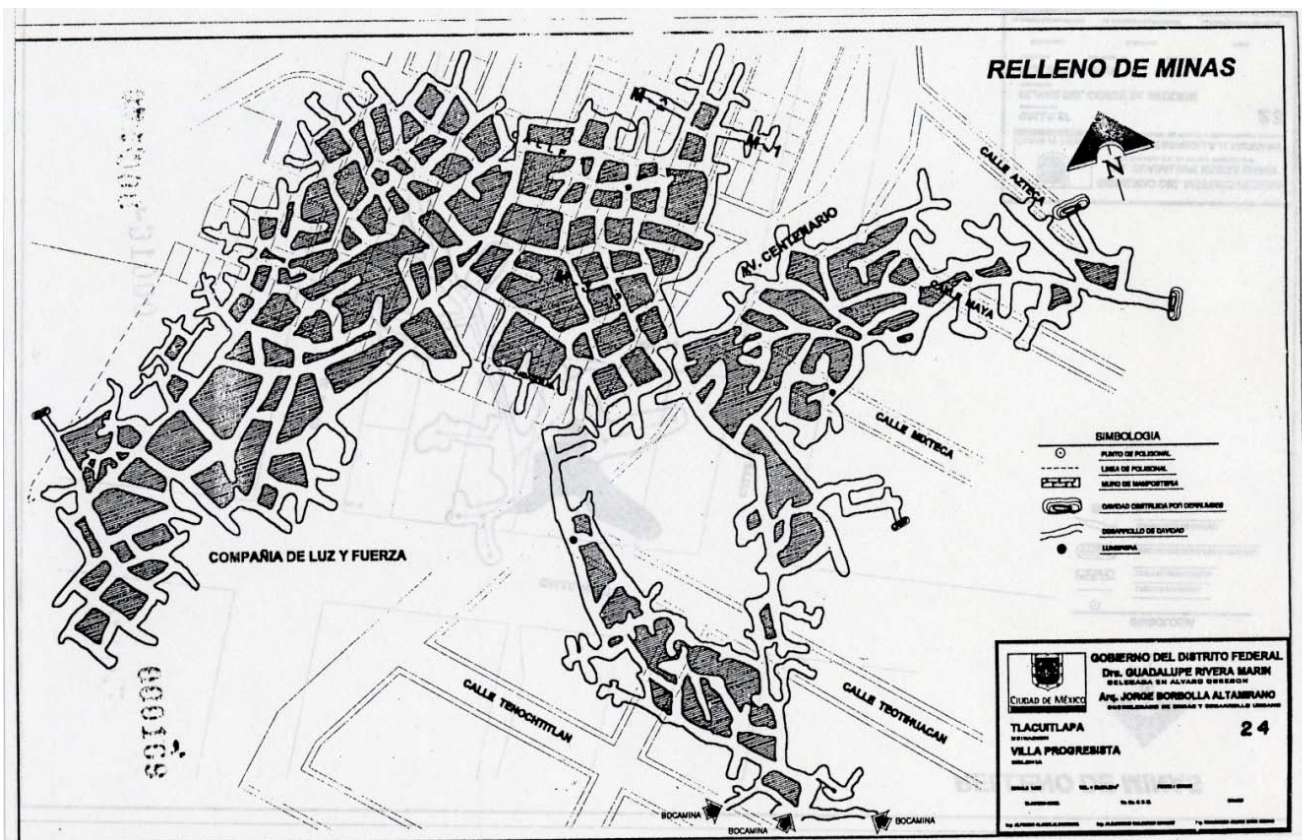


Figura 6. Datos raster.

En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. Cada una de estas geometrías está vinculada a una fila en una base de datos que describe sus atributos. Por ejemplo, una base de datos que describe los lagos puede contener datos sobre la batimetría de estos, la calidad del agua o el nivel de contaminación. Esta información puede ser utilizada para crear un mapa que describa un atributo particular contenido en la base de datos. Los lagos pueden tener un rango de colores en función del nivel de contaminación. Además, las diferentes geometrías de los elementos también pueden ser comparados

Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres elementos geométricos: el punto, la línea y el polígono (Figura 7)

- Puntos. Los puntos se utilizan para las entidades geográficas que mejor pueden ser expresadas por un único punto de referencia. En otras palabras: la simple ubicación. Por ejemplo, las ubicaciones de los pozos, picos de elevaciones o puntos de interés. Los puntos transmiten la menor cantidad de información de estos tipos de archivo y no son posibles las mediciones. También se pueden utilizar para representar zonas a una escala pequeña. Por ejemplo, las ciudades en un mapa del mundo estarán representadas por puntos en lugar de polígonos.
- Líneas o polilíneas. Las líneas unidimensionales o polilíneas son usadas para rasgos lineales como ríos, caminos, ferrocarriles, rastros, líneas topográficas o curvas de nivel. De igual forma que en las entidades puntuales, en pequeñas escalas pueden ser utilizados para representar polígonos. En los elementos lineales puede medirse la distancia.
- Polígonos. Los polígonos bidimensionales se utilizan para representar elementos geográficos que cubren un área particular de la superficie de la tierra. Estas entidades pueden representar lagos, límites de parques naturales, edificios, provincias, o los usos del suelo, por ejemplo. Los polígonos transmiten la mayor cantidad de información en archivos con datos vectoriales y en ellos se pueden medir el perímetro y el área.

#### 4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

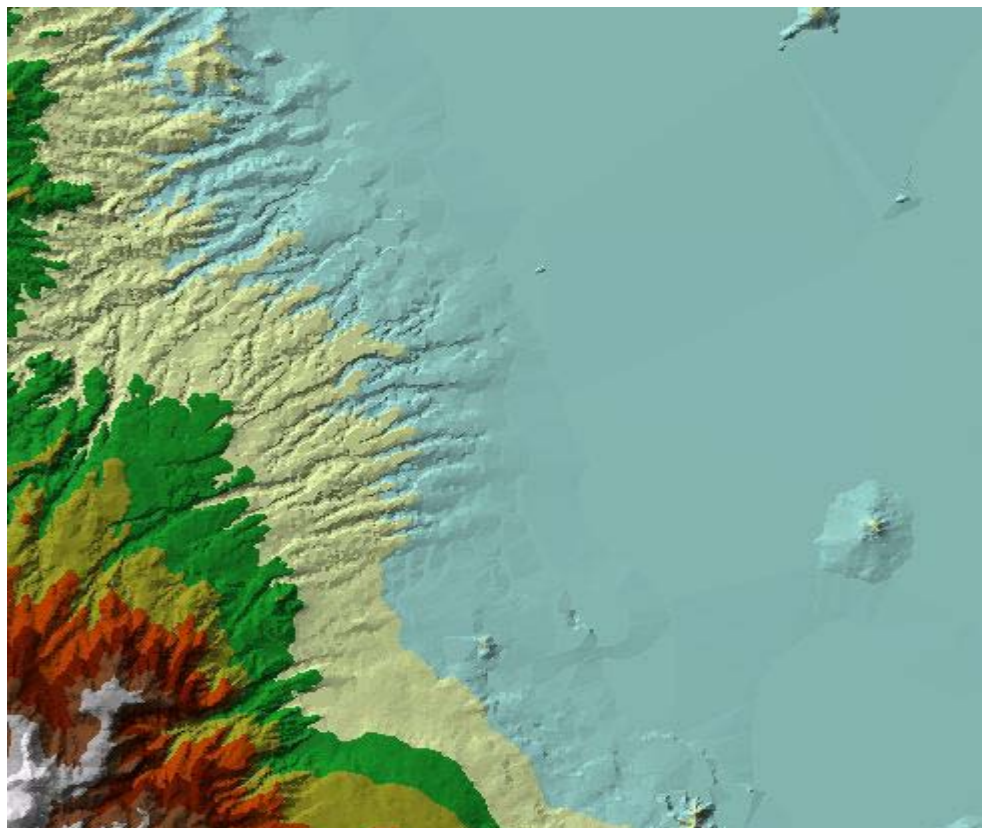


Figura 7. Datos vectoriales.

#### Funcionamiento de un SIG

Un SIG puede mostrar la información en capas temáticas para realizar análisis con varios criterios o variables complejos. (Figura 8)

El SIG funciona como base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional usuario la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.



#### 4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

1. **Localización.** Preguntar por las características de un lugar concreto.
2. **Condición.** El cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
3. **Tendencia.** Comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
4. **Rutas.** Cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
5. **Pautas.** Detección de pautas espaciales.
6. **Modelos.** Generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los SIG es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

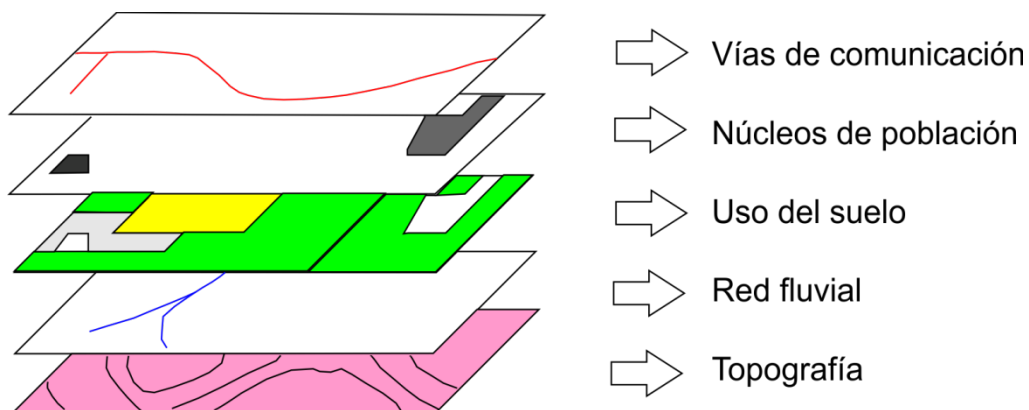


Figura 8. Superposición de capas en el SIG con diferentes temáticas.

#### Proyecciones y sistemas de coordenadas

La Tierra puede estar representada cartográficamente por varios modelos matemáticos, cada uno de los cuales pueden proporcionar un conjunto diferente de coordenadas (latitud, longitud, altitud) para cualquier punto dado de su superficie. El modelo más simple es asumir que la Tierra es una esfera perfecta. A medida que se han ido acumulando más mediciones del planeta los modelos del geoide se han vuelto más sofisticados y más precisos. De hecho, algunos de estos se

aplican a diferentes regiones de la Tierra para proporcionar una mayor precisión por ejemplo, el *European Terrestrial Reference System 1989* (ETRS89) funciona bien en Europa pero no en América del Norte.

La proyección es un componente fundamental a la hora de crear un mapa. Una proyección matemática es la manera de transferir información desde un modelo de la Tierra, el cual representa una superficie curva en tres dimensiones, a otro de dos dimensiones como es el papel o la pantalla de una computadora. Para ello se utilizan diferentes proyecciones cartográficas según el tipo de mapa que se desea crear, ya que existen determinadas proyecciones que se adaptan mejor a unos usos concretos que a otros. Por ejemplo, una proyección que representa con exactitud la forma de los continentes distorsiona, por el contrario, sus tamaños relativos.

Dado que gran parte de la información en un SIG proviene de cartografía ya existente, el sistema utiliza la potencia de procesamiento de la computadora para transformar la información digital, obtenida de fuentes con diferentes proyecciones y/o diferentes sistemas de coordenadas, a una proyección y sistema de coordenadas común.