
CAPÍTULO IV

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

4.1 Introducción

Hace casi 30 años, un gran número de geógrafos crearon un sistema de almacenamiento y organización de información espacial en un ordenador, sin llegar a darle un nombre propio (ESRI, 1995). Fue en el inicio de la década pasada, cuando este proyecto llegó a ser conocido como Sistema de Información Geográfica (SIG). Con estos sistemas paralelamente se fueron desarrollando aplicaciones importantes como la cartografía de alta resolución, la planificación del uso de suelo, gestión de recursos naturales, evaluación y planificación ambiental, investigación ecológica, comunicaciones, investigación demográfica, servicios, aplicación a negocios, entre otras muchas.

El interés de los SIG continuó creciendo gracias a que son un medio de integración de la información de manera que ayudan a entender y orientar algunos de los problemas con mayor riesgo a los que se enfrenta el mundo actual, como la deforestación tropical, la lluvia ácida, la urbanización rápida, el crecimiento incontrolable de la población, la hambruna, el esparcimiento de enfermedades e impactos de cambios en nuestro clima y, actualmente, el riesgo sísmico (aunque no es un problema nuevo, su implementación en los SIG, resulta ser relativamente reciente). Un SIG ayuda a organizar los datos con respecto a estos problemas y a entender su relación espacial, creando una base de datos para hacer más sensibles e inteligentes las tomas de decisiones. Además, la reducción de los costos en los equipos informáticos ha permitido también que los SIG incrementen rápidamente su uso.

Dentro de las ventajas que presentan los SIG en las aplicaciones está la discretización de la información en sistemas de pequeñas unidades que pueden almacenarse en una base de datos divididas en dos temas principales: por una parte la información referente a la ubicación

o localización georreferenciada de los elementos de estudio, y por la otra, la información descriptiva de los mismos. Es decir, por una parte en forma geométrica se representan los elementos, que se pueden describir por medio de diferentes temas, por ejemplo, un elemento geométrico georreferencial que represente una ciudad puede estar acompañado de información en forma tabular como el uso del suelo, tamaño de la población, geología, topografía, etc., relacionados por un indicador común.

La capacidad de los SIG para obtener y presentar los resultados de los análisis en mapas temáticos resulta fundamental en cualquier estudio geográfico, en especial en los estudios de Riesgo Sísmico. Éstos mapas permiten mostrar los posibles escenarios de daño de la zona en estudio, con lo cual se pueden estimar localizaciones y regiones con riesgo sísmico más alto, sitios con efectos locales del suelo más marcados, estructuras más vulnerables estimaciones de pérdidas esperadas, dando una idea global del problema y sentando las bases para dar soluciones al mismo, mediante planes de mitigación del riesgo sísmico.

4.2 Definición de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Dentro de un contexto de innovación, los SIG han tenido un papel importante como una tecnología avanzada de integración. A pesar de ser relativamente nuevos, los SIG han evolucionado gracias a la unión de un número discreto de pequeñas tecnologías en un todo. Los SIG han surgido como una tecnología muy poderosa ya que permiten a los geógrafos integrar sus datos y métodos tradicionales de análisis geográfico, como el análisis de superposición de mapas, con nuevos tipos de análisis y modelación, que están más allá de los métodos manuales. Con los SIG es posible realizar mapas, modelos, consultas y análisis de grandes cantidades de información todos ellos apoyados en una base de datos.

En el desarrollo de los SIG se ha confiado en las innovaciones realizadas por muchas disciplinas como son: la Geografía, Cartografía, Fotogrametría, Topografía, Geodesia, Ciencias de la Computación, Investigación de Operaciones, Inteligencia Artificial, Demografía, Sismología y muchas otras ramas de las Ciencias Sociales, Ciencias Naturales e Ingeniería. Por todo esto, por la variedad de aplicaciones y por la variedad de sistemas desarrollados, existen en la actualidad dificultades para dar una definición única de los SIG. Por lo tanto, tratando de integrar todos los aspectos que cubren los SIG, se utilizará la siguiente definición (ESRI, 1995; GIS Development; NOAA):

"Los SIG son un sistema organizado de equipo informático, software, datos geográficos y descriptivos, así como diseños personales para hacer más eficiente la captura, almacenamiento, actualización, manipulación, análisis y despliegue de todas las formas de información georreferenciada"

La palabra SIG es un acrónimo de tres palabras básicas: **Sistemas, Información y Geográfica**, cuyo significado permite un fácil entendimiento.

- **Sistemas.** Este término se utiliza para representar los subsistemas que integran los SIG. Es decir, un ambiente de trabajo complejo que se divide en diferentes componentes para una mayor facilidad de entendimiento y de manejo, pero considerándolas como parte integral de un todo. El avance en la informática ha ayudado e incluso necesitado de esta división para que la mayoría de los SIG se pudieran automatizar.
- **Información.** Esta palabra representa la gran cantidad de datos que normalmente se requieren y manipulan en un SIG. Es decir, todos los objetos del “mundo real” tienen su propio grupo de características o atributos descriptivos en forma alfanumérica no espacial, formando la parte fundamental de la información de cada elemento geográfico que se encuentre en estudio.
- **Geográfica.** Este término es la base de los SIG, ya que tratan primero cada elemento del “mundo real” de una forma geográfica o espacial. Es decir, estos elementos están referenciados o relacionados con una posición específica en el espacio. Sin embargo, estos elementos no sólo pueden ser físicos sino que también pueden ser culturales o económicos. Por ejemplo, los elementos en un mapa son una representación gráfica de los objetos espaciales del “mundo real”, así como los símbolos, colores y estilos de líneas que se utilizan para representar los diferentes elementos espaciales de un mapa en dos dimensiones.

Con todo esto se puede observar que tanto la geografía, como los datos descriptivos son la parte fundamental de nuestro mundo, es decir, cualquier decisión que se tome esta restringida, influenciada o indicada por algún hecho geográfico, dependiente de un concepto descriptivo. Los SIG permiten representar las características de los elementos de estudio en diferentes capas y temas, como pueden ser la hidrología, la topografía, el uso de tierra, el tipo de suelo, la demografía, la división política, etc. (Figura 4.1).

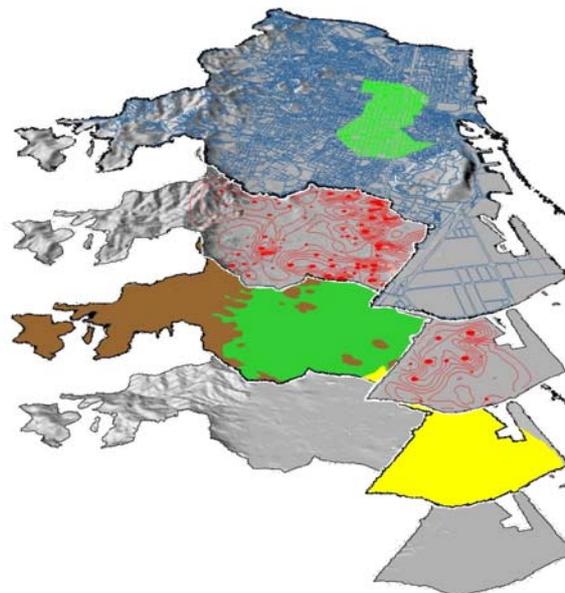


Figura 4.1. Ejemplo de representación de información correspondiente a un área geográfica con diferentes temas y capas (Mena *et al*, 2001). En esta figura se muestran de abajo a arriba los datos correspondientes a la topografía, tipo de suelo, datos de microzonificación e información catastral de la ciudad de Barcelona.

4.3 Componentes de SIG.

Como se ha comentado, un SIG es un sistema que integra un grupo de subsistemas esenciales para su correcto funcionamiento, entre estos se tiene: un equipo informático, el software correspondiente al sistema, información georreferenciada de los elementos de estudio, así como sus atributos descriptivos y un diseño específico de la aplicación. La Figura 4.2 esquematiza los principales componentes de un SIG y la forma de interactuar entre ellos (ESRI, 1995; GIS Development), cuya descripción se muestra a continuación.

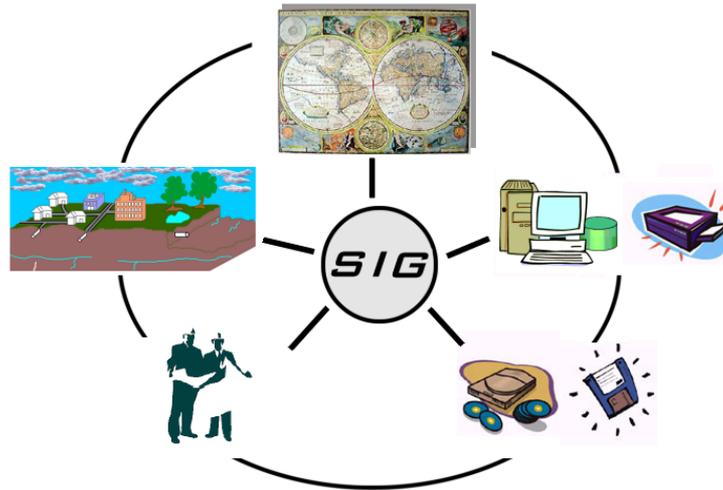
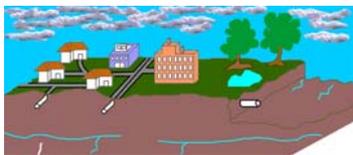


Figura 4.2. Principales componentes de un Sistema de Información Geográfica.



Información Georreferenciada. Con el equipo informático y software seleccionado, se introducen los elementos que forman el “mundo real”, ubicándolos georreferencialmente. Esto se logra gracias a la interrelación de diferentes campos como son: el catastro, la topografía, la cartografía, el levantamiento, la fotogrametría, el procesamiento de imágenes, la percepción remota, la planeación rural y urbana, la ciencia de la tierra y la geografía.



Atributos descriptivos. Estos corresponden a la información que cada elemento tiene, representados por puntos, líneas o polígonos, en su forma más simple. Estos se almacenan en una tabla que se encuentra relacionada con el elemento por medio de un indicador común.



Equipo informático. Esto corresponde a la parte física del sistema y forma la parte medular de un SIG. Puede estar constituido por un ordenador, en donde se realizan todas las operaciones geográficas; digitalizador y escáner, para convertir una imagen en formato digital; equipos GPS, etc.



Software. Esencial para introducirse en el ambiente de trabajo de un SIG. Provee de las funciones y herramientas necesarias para el almacenamiento, análisis y despliegue de la información. La variedad es amplia y entre ellos se encuentran: IDRISI, Mapinfo, ARCVIEW, GRASS, ILWIS, ERDAS, ARCCINFO, entre otros.



Obviamente, un SIG no podría existir sin el trabajo de las personas dedicadas a la planeación de proyectos. Forman parte esencial en la elaboración del diseño que se requiere para el proyecto y pertenecen a un grupo multidisciplinario, integrado por geólogos, ingenieros, administradores, ecónomos, geógrafos, y muchos más.

Como se mencionó antes, el usuario llega a ser parte esencial del SIG cuando los análisis requieren la habilidad en la selección y uso de herramientas auxiliares y conocimiento del tema de los datos que se usarán. En ocasiones la utilización de algunos programas externos, ayudan a mejorar el funcionamiento o lo hacen más eficiente; esto dependerá de las necesidades que se tengan y de la disponibilidad de estos programas.

Finalmente, un SIG no es sólo un equipo informático que se utiliza para elaborar mapas, aunque puede crear mapas a diferentes escalas, en diferentes proyecciones y con diferentes colores. Un SIG es una herramienta analítica con la que se pueden realizar operaciones espaciales o geográficas, basadas en conceptos matemáticos que, en ocasiones, pueden llegar a ser complejas, además de identificar los elementos de los mapas mediante relaciones espaciales.

4.4 Conceptos generales de los Datos Geográficos

Todos los SIG permiten representar el “mundo real” por medio de elementos característicos transformados en formato digital. Estos elementos del “mundo real”, se consideran datos espaciales o geográficos y se obtienen a partir de los mapas de la Tierra en dos y tres dimensiones (Figuras 4.3).

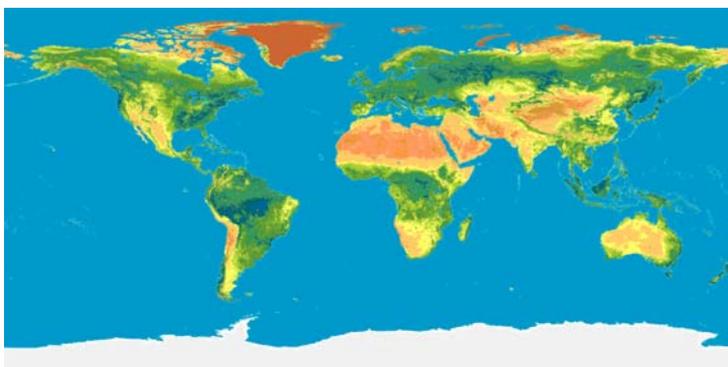


Figura 4.3. Ejemplos de mapas planos y tridimensionales utilizados para obtener los elementos que se utilizan en un proyecto SIG.

Antes de continuar con la descripción de los elementos que representan al mundo real, se comentarán brevemente las características del Globo Terrestre desde un punto de vista geográfico (se utilizará Globo para identificar a la Tierra en tres dimensiones y Mapa para identificarla en dos). Una parte fundamental en la obtención de los mapas de superficie es el proceso de transformación de los elementos del globo con coordenadas de latitud y longitud a una superficie plana con coordenadas x,y .

4.4.1 Globo Terrestre

El Globo Terrestre es una representación del “mundo real” en tres dimensiones, utilizando normalmente un modelo de esfera. Éste Globo representa correctamente todos los aspectos de la Tierra, como su forma general, forma y tamaño de los países, la dirección y distancia de un objeto a otro, además de los paralelos (latitudes) y meridianos (longitudes) de una manera muy exacta (Figura 4.4)

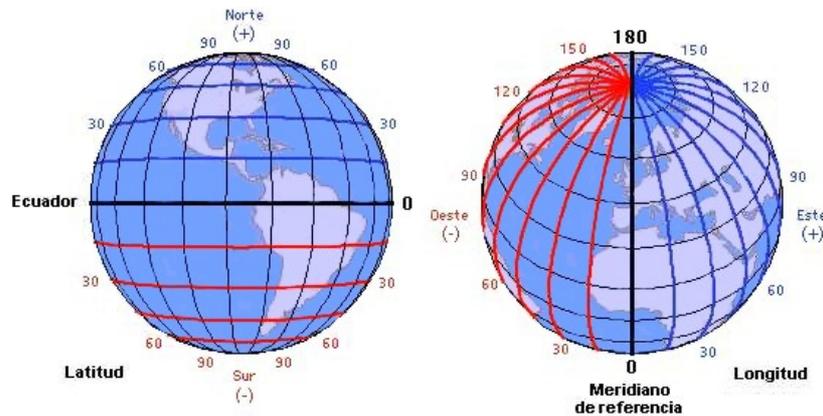


Figura 4.4. Representación del Globo Terrestre por medio de Latitudes y Meridianos.

Sin embargo el uso del Globo Terrestre se encuentra limitado porque una forma esférica sólo permite ver un lado a la vez, además se requiere una esfera muy grande para poder ver con detalle algunos objetos, lo cual hace poco viable su fabricación y finalmente, porque dificulta la medición de las distancias entre dos puntos debido a su forma esférica. Por lo tanto, es indispensable representar la Tierra y sus elementos en una superficie plana, mejor conocida como mapa.

El **mapa** es la representación en superficie del Globo Terrestre o parte de él, con los respectivos signos convencionales, dibujos a escala y proyecciones, para que cada elemento del mapa tenga su correcta correspondencia con el mundo real. Además de la representación de los elementos, existe una red de líneas paralelas y meridianos, conocidas como *coordenadas geográficas* (Fig. 4.4), que sirven para localizar la posición absoluta de los puntos en la superficie. Para representar los elementos del “mundo real” en los mapas de superficie se deben tomar en cuenta las siguientes condiciones: la escala, la proyección, los signos convencionales, la habilidad del dibujante y el método de elaboración del mapa

Las **coordenadas geográficas** son las más comunes y se encuentran referidas al Ecuador y al Meridiano (Fig. 4.4). Estas coordenadas son líneas imaginarias alrededor del Globo Terrestre y están divididas en paralelos o líneas de latitud, que van de Este a Oeste y meridianos o líneas de longitud, que van de Norte a Sur. Ambas líneas se miden en grados, correspondiendo los grados 0° al Ecuador y al Meridiano de Referencia (Estruch, 1996).

Además de la forma global de localización por Latitud y Longitud de los elementos, existen otros sistemas para localizar pequeñas áreas a nivel regional o local, algunas de estas pueden ser mediante los códigos postales o sistemas de referencia catastral. Evidentemente, el sistema de localización que debe usarse en un proyecto de SIG dependerá del propósito y objetivos del mismo. En algunos casos, se utiliza la combinación de dos o más sistemas, requiriendo para ello un cuidado especial para convertir, transformar o proyectar los elementos de uno a otro.

Se debe tener en cuenta que la posición relacionada a la forma de La Tierra no es perfecta, sino que se asemeja más a un elipsoide irregular. Por lo que las posiciones reportadas en unidades esféricas se deben corregir para tomar en cuenta la forma de la Tierra, que se determina mediante métodos geodésicos.

4.4.2 Proyección de mapas

La representación más sencilla de la Tierra es mediante una esfera o en forma más correcta un esferoide (Globo Terrestre), sin embargo, por algunas limitaciones que tienen estos en su uso, se necesita transformar sus elementos a una superficie plana o en otras palabras en un mapa. A este proceso se le llama “proyección de mapas”, el cual consiste en representar los paralelos y meridianos de una superficie esférica en una superficie plana, utilizando formulaciones matemáticas para proyectar la posición global L, M (longitud y latitud) a la posición plana x, y , Figuras 4.5 y 4.6 (ESRI, 1995; Estruch, 1996).

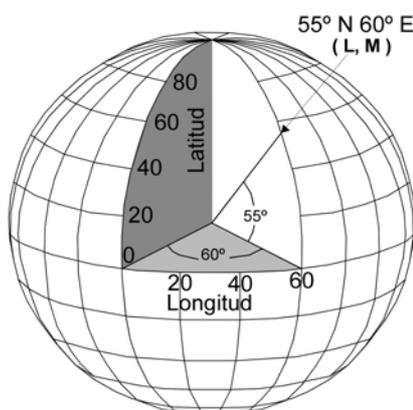


Figura 4.5. Representación del Globo Terrestre mediante coordenadas de longitud y latitud.

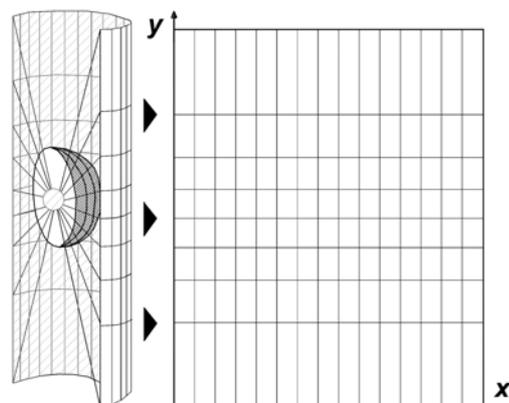


Figura 4.6. Proyección del Globo Terrestre a coordenadas cartesianas x, y .

Inevitablemente, la elaboración de los mapas presenta diversos problemas para considerar las tres dimensiones del Globo Terrestre, estos se presentan en distorsiones

agrupándolos en cuatro grupos principales: de conformalidad, de área, de distancia y de dirección (Natural Resources Canada; The Geographer's Craft; GeoSystems Global Corp).

- **Conformalidad:** En principio ningún mapa conserva las formas de grandes áreas, pero la proyección conforme mantiene la forma de pequeñas áreas localizadas.
- **Igual área:** Estas proyecciones muestran las áreas de todas las regiones en el mapa en la misma proporción de sus áreas verdaderas en el Globo.
- **Equidistante:** Un mapa es equidistante cuando la distancia de cualquier punto del dibujo tienen como origen el centro de la proyección.
- **Acimutal:** Esta proyección muestra correctamente las direcciones (acimut) desde un punto al resto de los puntos del mapa.

4.4.3 Tipos de Proyecciones

La mayoría de las proyecciones se derivan de formulas matemáticas, pero sólo en algunos casos es fácil visualizar los elementos proyectados. En general, las proyecciones se clasifican de acuerdo a su superficie geométrica, entre las que se encuentran las siguientes tres: cónicas, cilíndricas y planas (Acimutal o Cenital). Sin embargo, muchas de las proyecciones no son fáciles de relacionar con estas tres superficies describiéndolas como pseudo, modificadas o individuales (Geosystems Global Corp.; Natural Resources Canada; The Geographer's Craft).

- **Cónica:** En este caso, se puede visualizar la Tierra proyectada en un cono tangente o secante, el cual se corta longitudinalmente y se extiende en la hoja. Los paralelos se representan por arcos circulares concéntricos y los meridianos por líneas radiales rectas, con espaciamiento constante. Este tipo de proyección se utiliza para dibujar regiones de latitud media, obteniendo formas de áreas de suelo y agua menos distorsionadas.

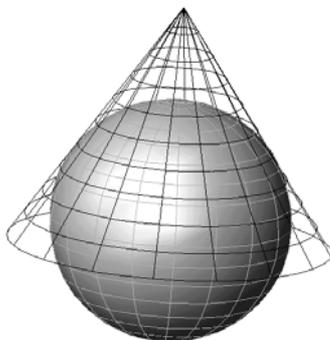


Figura 4.7a. Proyección cónica tangente en la cual el cono intercepta un punto en la superficie de la esfera.

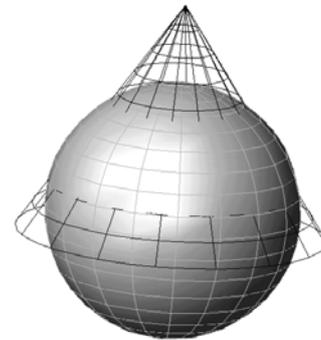


Figura 4.7b. Proyección cónica secante en la cual el cono intercepta dos puntos en la superficie de la esfera.

- **Cilíndrica:** En este caso la Tierra se proyecta en un cilindro tangente o secante en donde también se corta longitudinalmente y se extiende en la hoja. El resultado es eventualmente una red espaciada de paralelos horizontales rectos y meridianos verticales rectos. Una línea entre dos puntos en esta proyección sigue una dirección única de apoyo llamado línea de rumbo. Esta característica hace que la proyección cilíndrica sea útil en la construcción de cartas de navegación. Cuando se utiliza el cilindro para proyectar la Tierra, en un único mapa, se generan distorsiones significativas en las latitudes superiores, en donde los paralelos llegan a ser una parte alejada y los polos no se pueden mostrar. La famosa proyección Universal Transversa Mercator (UTM) es el mejor ejemplo conocido de esta clase y una de las primeras proyecciones propuestas para la elaboración de mapas.

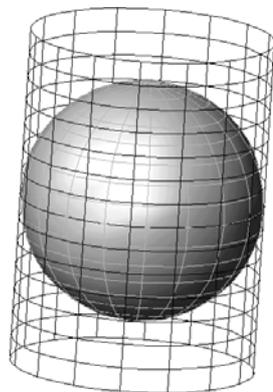


Figura 4.8a. Proyección cilíndrica tangente en la cual el cilindro intercepta un punto en la superficie de la esfera.

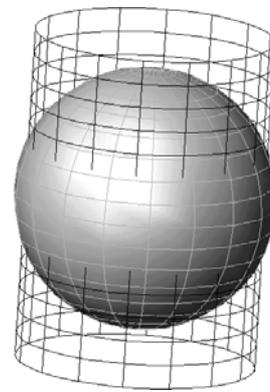


Figura 4.8b. Proyección cilíndrica secante en la cual el cilindro intercepta dos puntos en la superficie de la esfera.

- **Planas (Acimutal o Cenital):** Con la proyección plana, una parte de la superficie de la Tierra se transforma de un punto perspectivo a una superficie plana. En el caso polar, los paralelos se representan por una sistema concéntrico compartiendo un punto común de origen del cual se radian los meridianos, espaciados en ángulos reales. Esta proyección muestra la verdadera dirección entre el punto central y una posición en el mapa.

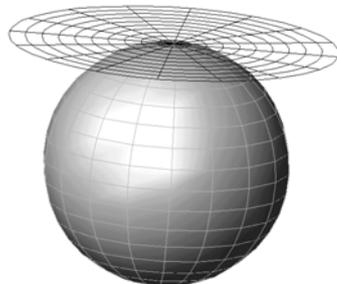


Figura 4.9a. Proyección plana acimutal tangente en la cual la superficie del plano circular intercepta un punto en la superficie de la esfera.

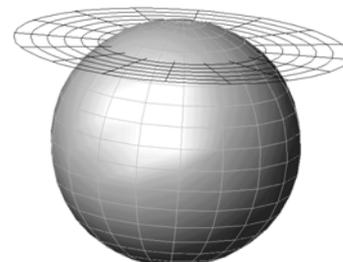


Figura 4.9b. Proyección plana acimutal secante en la cual la superficie del plano circular intercepta dos puntos en la superficie de la esfera.

Como ejemplos de la aplicación de estos tres tipos de proyección (cónica, cilíndrica y plana) en la Figura 4.10 se muestran tres ejemplos de mapas de la Tierra de uso común en la actualidad.

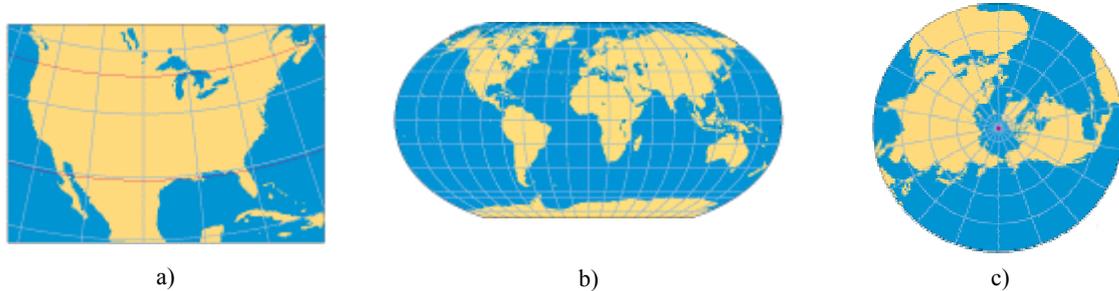


Figura 4.10. a) Proyección cónica de igual área de Albers; b) Proyección cilíndrica de Robinson; c) Proyección plana acimutal del Polo Norte (GeoSystems Global, Corp.).

En la Tabla 4.1 se resumen algunas de las proyecciones más usadas junto con sus propiedades, uso regional y uso general (Natural Resources Canada):

PROYECCIÓN	TIPO	PROPIEDAD	USO REGIONAL	USO GENERAL
Mercator	Cilíndrica	Dirección real conforme	Mundo, ecuatorial, extensión Este – Oeste, escala grande o mediana	Navegación, Series de mapas a escala grandes.
Transversal Mercator	Cilíndrica	Conforme	Continentes - océanos, ecuatorial – latitud media, extensión Norte – Sur, escala grande o media	Serie de mapas topográficos a escalas grandes.
Cónica conforme Lambert	Cónica	Dirección real conforme	Continentes - océanos, ecuatorial - latitud media, extensión Norte – Sur, escala grande o media	Dibujo de países de Canadá y E.U.
Equidistante acimutal	Plana	Dirección real equidistante	Mundo, hemisferios, ecuatorial-latitud media, continentes – océanos, regiones - mares, polar, escalas grandes	Navegación, serie de mapas a escala grande
Igual área acimutal Lambert	Plana	Dirección real equidistante	Hemisferios, continentes/océanos, ecuatorial, latitud media, polar	Navegación, mapas de referencia de EU, Canadá geomáticos, temáticos. Mapas de la USGS
Policónicos	Cónico	Equidistante	Región/mares, extensión Norte - Sur, escalas medias y grandes.	Serie de mapas topográficos, USGS.
Estereográficos	Plana	Dirección real conforme	Hemisferio, polar, continentes - océanos, regiones/mares, ecuatorial - latitud media, escalas medias y grandes	Navegación, mapas de la USGS topográficos
Van der Griten I	Individual o único	compromiso	Mundo, ecuatorial, extensión Este – Oeste	Mapas geomáticos, mapas de la USGS
Robinson	Pseudo-cilíndrico	compromiso	Mundo	Mapas temáticos referenciados, Geografía Nacional
Cilíndrica Miller	Cilíndrica	compromiso	Mundo	Mapas temáticos referenciados, mapas de la USGS
Eckert IV	Pseudo-cilíndrico	Igual área	Mundo	Mapas temático referenciados
Sinosoidal	Pseudo-cilíndrico	Igual área	Mundo, continentes/océanos, ecuatorial, extensión Norte - Sur	Mapas temáticos referenciados, mapas de la USGS

Tabla 4.1. Métodos de Proyección más usados en los Sistemas de Información Geográfica con sus propiedades y usos.

La elección del mejor método de proyección depende del objetivo planteado. Por ejemplo, para la navegación es importante tener direcciones correctas; para mapas de carreteras es importante proyectar distancias exactas y para mapas temáticos la forma y tamaño correcto de las regiones son importantes.

4.5 Datos geográficos

Aunque los términos dato e información normalmente se utilizan en forma arbitraria, cada uno de ellos tienen un significado específico, esto es, los datos describen las diferentes observaciones realizadas de un proyecto que se recogen y almacenan en un sistema, mientras que la información la constituyen los datos almacenados analizados y procesados para responder preguntas y resolver problemas.

Existen dos tipos de datos geográficos básicos: los datos no espaciales (atributos) y los datos espaciales o geométricos (Figura 4.11).

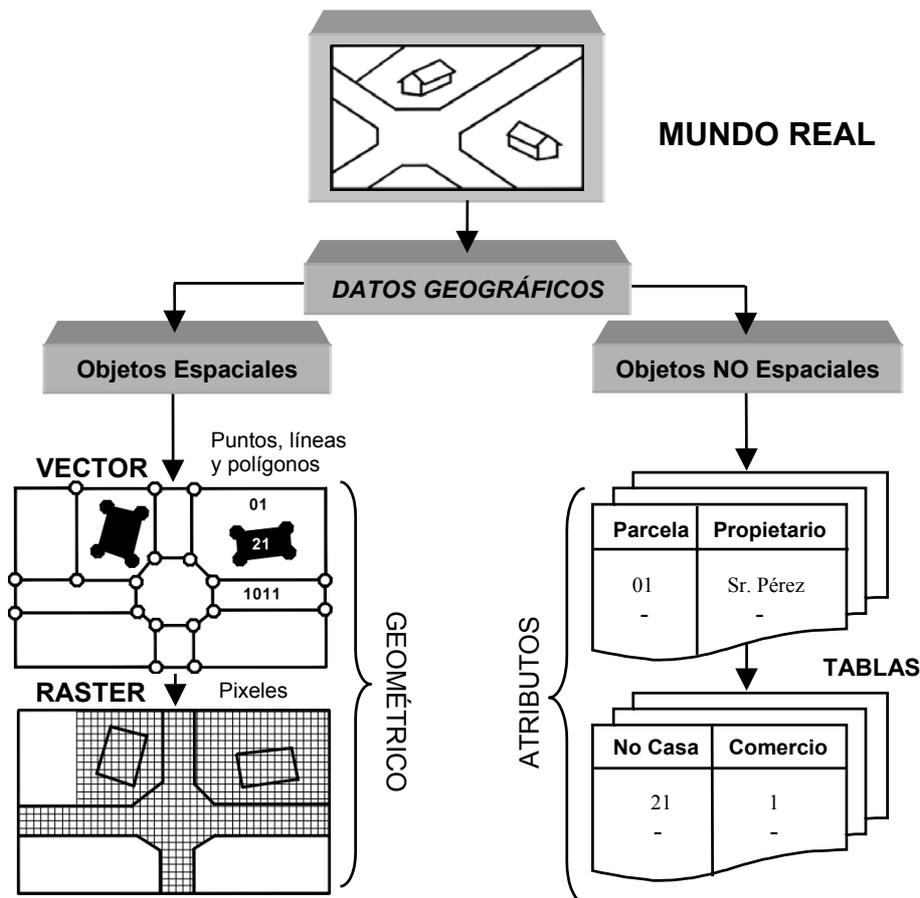


Figura 4.11. Componentes básicos de los datos geográficos (ESRI, 1995).

Los datos geográficos están organizados en bases de datos, normalmente considerados como la unión de datos referenciados espacialmente junto a una descripción específica que actúan como un modelo de la realidad. Estas bases de datos están compuestas por dos

componentes esenciales que son: la posición geométrica y sus atributos o propiedades (Figura 4.11), que permiten responder preguntas básicas del análisis georreferencial (Figura 4.12), como pueden ser: ¿Dónde está? ó ¿Qué es?.

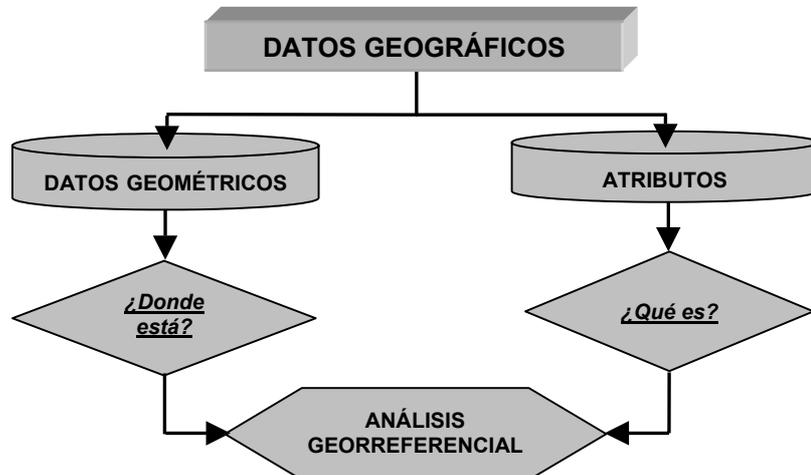


Figura 4.12. Estructural del análisis georreferencial.

4.5.1 Atributos

Los atributos son los datos descriptivos numéricos o alfanuméricos de los elementos geográficos que representan el mundo real. Generalmente, se conocen como datos no espaciales y se encuentran almacenados en tablas de atributos. Estas tablas se dividen en dos:

- Tablas de atributos básicos: normalmente, almacenan la información básica de los elementos o información interna del SIG. En estas tablas, cada elemento va acompañado de un registro en la tabla de atributos básicos. Esta tabla no se puede modificar, ya que es un registro interno del mismo SIG con formato propio y único para cada elemento.
- Tablas de atributos de relación: estas pueden ser tablas del SIG o tablas externas que se relacionan con las tablas de atributos básicos mediante un campo común (Figura 4.13). En esta tabla el formato de los campos es libre, lo que permite al usuario definirlo, de acuerdo a la información que se almacene en él. En general, las tablas se generan en el mismo SIG, sin embargo, se pueden agregar tablas externas procedentes de otras bases de datos, como ORACLE, ACCESS, etc. Una ventaja de unir tablas externas a la base de datos es reducir la redundancia y por lo tanto la cantidad de datos.

Ambas tablas de atributos pueden almacenar varios campos de datos, normalmente referidos a las columnas de las tablas, mientras que las líneas corresponden a los registros de los elementos del mundo real representados. Además, estas tablas se almacenan en un directorio llamado INFO, localizado normalmente en el espacio o área de trabajo del proyecto, cuya estructura se muestra en la Figura 4.14.

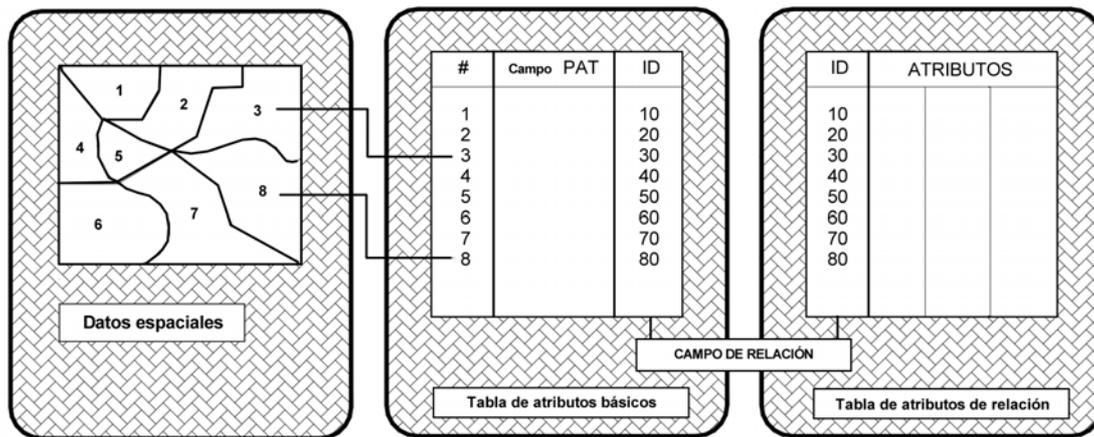


Figura 4.13. Tablas de atributos básicos y de relación.

El subdirectorio INFO contiene una serie de archivos generados por el SIG, donde se almacenan los datos del proyecto. Estos archivos se crean automáticamente con diferentes extensiones, que sólo se actualizan o modifican por los SIG. De la misma manera, se crea un subdirectorio para cada cobertura del proyecto en donde se generan una serie de archivos dependiendo del tipo de información que se está utilizando (puntos, líneas, polígonos, etc.), como se observará más adelante.

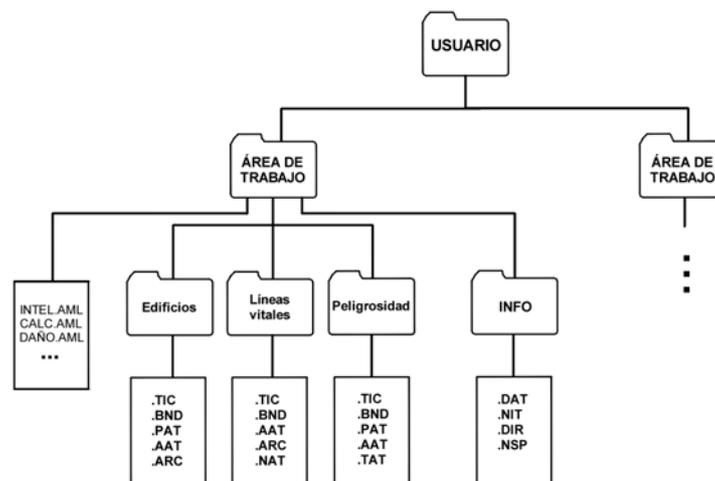


Figura 4.14. Estructura normal de un proyecto de SIG.

TIPO DE ELEMENTO	TIPO DE TABLA DEL ELEMENTO	EXTENSIÓN
Punto	Tabla de atributo de punto	.PAT
Arco	Tabla de atributo de arco	.AAR
Polígono	Tabla de atributo de polígono	.PAT
Nodo	Tabla de atributo de nodo	.NAT
Subclase anotación	Tabla de atributo de anotación	.TATsubclass
Subclase ruta	Tabla de atributo de ruta	.RATsubclass
Subclase sección	Tabla de atributo de sección	.SECsubclass
Subclase región	Tabla de atributo de polígono	.PATsubclass

Tabla 4.2. Tablas de atributos y extensiones comunes utilizadas para los elementos.

Como se mencionó antes, las tablas de atributos constan de varios campos de datos en forma de columnas, en donde se almacena la información de los elementos del mundo real en registros correspondiendo a las líneas de las tablas. A cada columna se le asigna un nombre, un formato (dependiendo del tipo de información numérica o alfanumérica), un tamaño y una extensión. Esta extensión dependerá del tipo de elementos que se están manejando, como ejemplo, en el caso que sean puntos se utiliza la extensión .PAT o cuando son líneas se usa la extensión .AAT. En la Tabla 4.2, se resumen algunos de los elementos más usados en los SIG y la extensión que normalmente se le asigna automáticamente.

4.5.2 Elementos geométricos

Los datos geométricos o datos espaciales permiten modelar los elementos del mundo real cuya posición es única en un sistema de coordenadas específico, por ejemplo, para áreas pequeñas el sistema de coordenadas que se utiliza es el UTM (Universal Transversal Mercator) mientras que para áreas grandes, se puede usar cualquier otro mostrado en la Tabla 4.1. Las formas más usadas para modelar los elementos del mundo real son los puntos, líneas y polígonos en su representación más básica (Figura 4.15), y superficies continuas, parrillas, etc., para modelos más complejos.

Puntos. Los puntos son las formas más simples de representar los datos espaciales. Son objetos adimensionales y se ubican en el espacio únicamente por un par de coordenadas. Representan elementos cuyas dimensiones se pueden despreciar (como postes, pozos, etc.) y sirven como etiquetas para identificar polígonos.

Líneas. Las líneas llamadas también segmentos o arcos, son objetos espaciales unidimensionales compuestos de un grupo de coordenadas ordenadas y conectadas entre sí para formar la líneas. Representan elementos muy angostos como son ríos, carreteras, etc.

Áreas. Las áreas también llamadas polígonos son líneas cerradas, cuyas fronteras encierran un área homogénea, estas pueden representar lagos, estados, países, etc., en dimensiones grandes y edificios, puentes, presas, en dimensiones pequeñas.

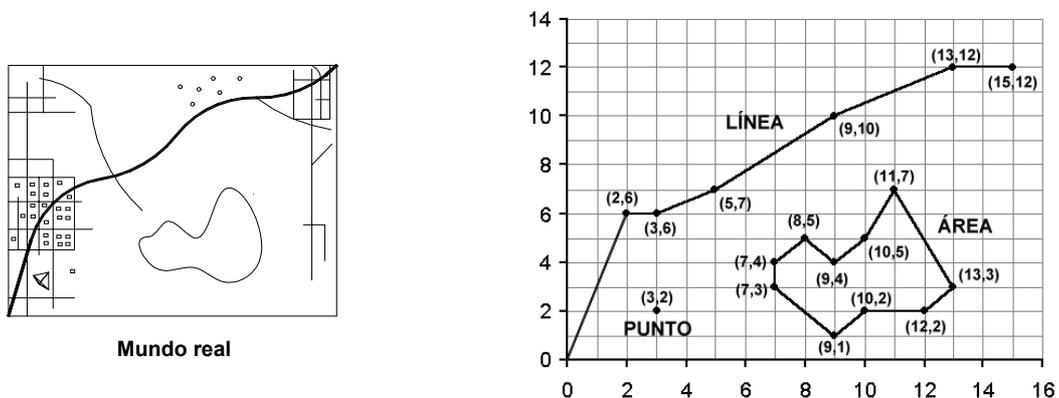


Figura 4.15. Elementos geográficos básicos para la modelación del mundo real.

Cada punto se registra como una posición única x, y , mientras que las líneas o arcos se registran como un serie ordenada de coordenadas x, y . Las áreas son arcos cuyos punto inicial

y final se unen formando una superficie llamada también polígono. Conceptualmente, estas coordenadas se almacenan en un ordenador en forma digital, asignándoseles un número o identificador que servirá para relacionarlo con el elemento que está representando. Sin embargo, para interpretarlos realmente como elementos espaciales relacionados con información adicional o tabular, se necesita construir una tipología del sistema para identificar las líneas de conectividad a lo largo de una ruta, para definir las áreas encerradas entre líneas y para identificar las áreas contiguas.

En los mapas digitales, las relaciones espaciales explícitamente se dibujan utilizando un proceso matemático llamado *topología*, que permite expresar los diferentes tipos de relaciones espaciales como una lista de elementos (por ejemplo, un área está definida por un conjunto de elementos arco). Este proceso crea y almacena la relación espacial de los elementos, con la ventaja de hacer más eficiente el almacenamiento, permitir procesos de una gran cantidad de datos y de una forma más rápida, y sobre todo realizar análisis como la modelación del flujo a través de las líneas de conectividad en una red, la combinación adyacente de polígonos que tienen características similares y la superposición de elementos geográficos. Estos procesos topológicos se dividen en tres grupos principales:

- a) *Conectividad*. Este proceso identifica la conexión de las líneas o arcos, por medio de nodos (Figura 4.16). La serie de puntos (x,y) internos que definen la forma de un arco se llaman vértices, mientras que los puntos extremos se llaman nodos e identifican el nodo de inicio y el nodo final.

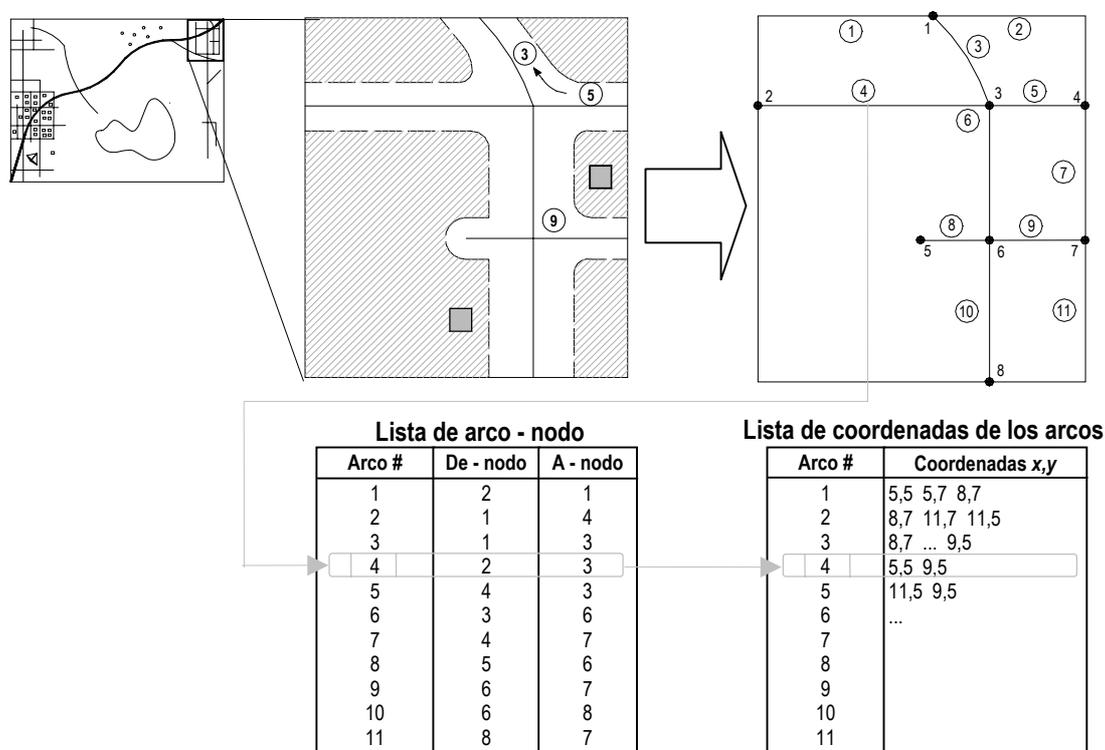


Figura 4.16. Proceso topológico ARCO – NODO o conectividad.

b) *Definición de área.* Este proceso identifica la lista de arcos que forman un polígono (Figura 4.17). La ventaja de la topología de la definición de área es que aunque los arcos aparecen en más de un polígono, éstos solo se almacenan una vez en el sistema. Por ejemplo, el polígono 2, esta definido por los arcos 4, 6, 7, 10 y 8, en donde el 0 indica que existe un polígono interior definido por el arco 8.

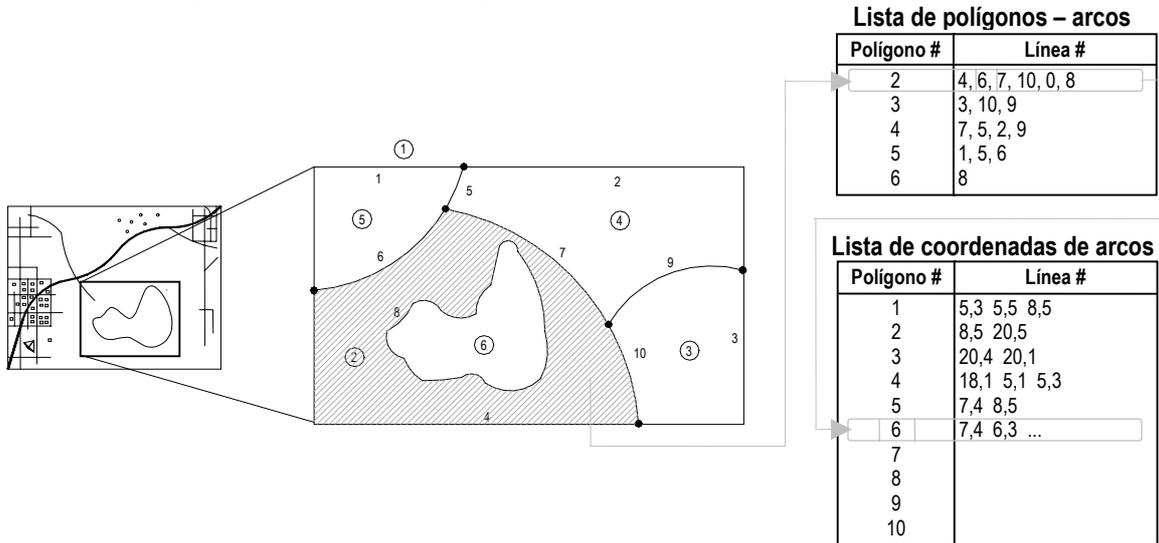


Figura 4.17. Proceso topológico, POLÍGONO – ARCO o definición de áreas.

c) *Contiguidad.* Debido a que cada arco tiene dirección (de nodo, a nodo) y en general forman parte de varios polígonos, la topología de contiguidad permite identificar la dirección de los arcos y los polígonos que los contienen. En el caso de los polígonos exteriores siempre coincidirán con el polígono universal que representa el área total del estudio. Por ejemplo, esta figura se observa que el polígono 2 esta a la izquierda del arco 6, y el polígono 5 esta a la derecha.

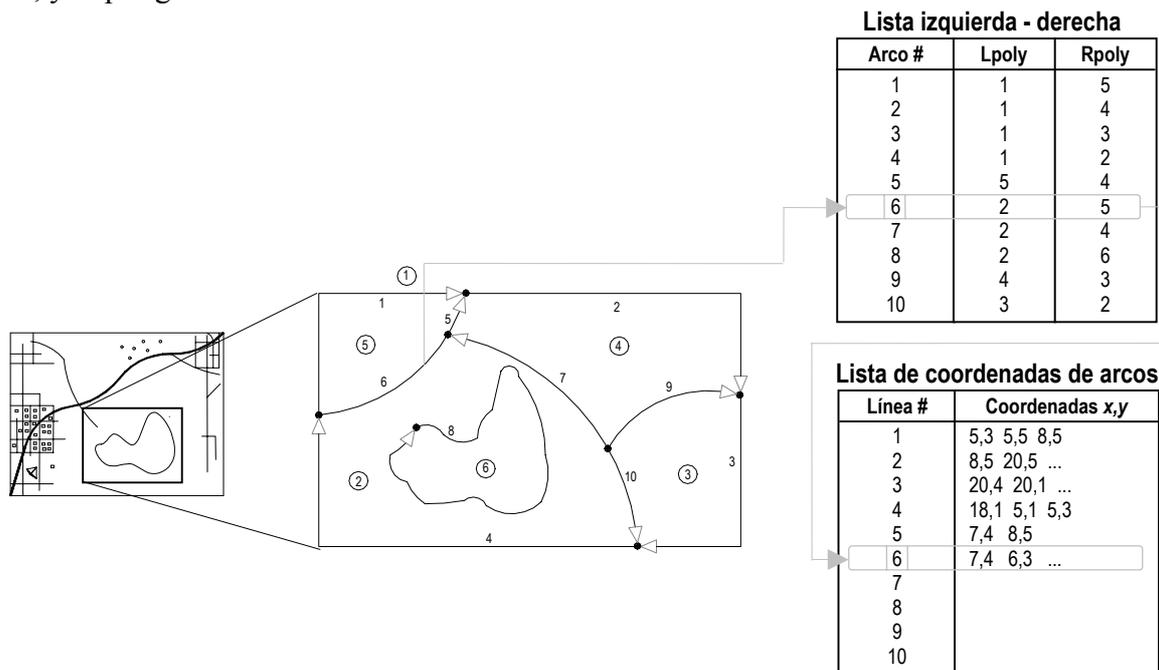


Figura 4.18. Proceso topológico IZQUIERDA – DERECHA o contiguidad.

4.5.2.1 Coberturas

Los elementos de los mapas modelados del mundo real se pueden organizar en diferentes grupos de capas o temas de información, como pueden ser carreteras, suelos, puentes, pozos, peligrosidad sísmica, edificios, fronteras administrativas, etc., y a su vez se pueden dividir en sectores más pequeños para hacer más eficiente y rápido el manejo de la información. A estas capas o temas se les llama *coberturas* y están formadas por elementos geográficos unidos topológicamente y asociados a información descriptiva almacenada en tablas, así como elementos que, aunque no se utilizan para modelar, sí son indispensables para la elaboración y manejo de las coberturas, como pueden ser Anotaciones, Regiones, Tics, Secciones, etc., y que se resumen en la Tabla 4.3.

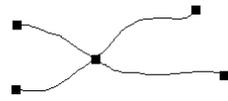
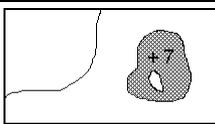
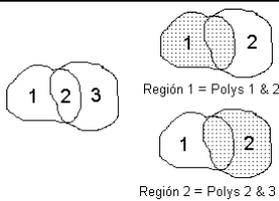
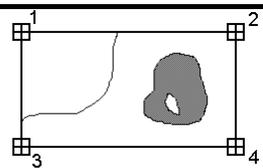
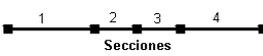
Clase de elemento	Descripción	Tabla de atributos	Ejemplo
Arco	Línea definida por un grupo ordenado de coordenadas x,y. Representa elementos líneas, y las fronteras de los polígonos.	AAT	
Nodo	Puntos extremos de un arco o puntos donde se conectan dos o más arcos.	NAT	
Etiqueta	Punto definido por una coordenada x,y – elemento punto o etiqueta de un polígono.	PAT	17 +
Polígono	Área definida por arcos.	PAT	
Región	Área formada por polígonos.	PAT.subclass	
Tic	Puntos de control geográfico utilizados para registrar y transformar las coordenadas de una cobertura.	TIC	
Anotación	Cadena de texto que sirve para describir un elemento geográfico. Se utilizan puntos para ubicarla y dibujarla.	TAT.subclass	
Ruta	Elemento lineal compuesta de uno o más arcos o partes de arcos.	RAT.subclass	
Sección	Arco o porción de arco que se utiliza para definir una ruta.	SEC.subclass	

Tabla 4.3. Resumen de los elementos utilizados en una cobertura.

4.5.2.2 Elementos avanzados

Además de las formas básicas para modelar los elementos del mundo real, existen otras más sofisticadas, como la modelación de superficies. Las superficies constituyen una cobertura temática muy importante en las bases de datos geográficos. Estas superficies se pueden utilizar para muchas aplicaciones como son: estudios de visibilidad, cálculos volumétricos, contornos, trazo de relieves sombreados, vistas en perspectiva de modelos 3D, etc.

Debido a que las superficies reales varían continuamente, es imposible registrar todas las posiciones que las definen, por lo tanto, los modelos de superficies, toman muestras representativas del número infinito que define las superficies, para que posteriormente utilizando técnicas matemáticas llamadas interpolación, construyan los vacíos entre los puntos. La exactitud de este proceso depende de la cantidad de datos y de su distribución, además de la técnica de interpolación.

Aunque la superficie de la Tierra es la que se modela más a menudo, cualquier dato continuo como por ejemplo el gradiente de presión, la lluvia, la densidad de población, etc., también se puede modelar. En los análisis en 3 dimensiones se utilizan dos tipos de modelos para representar las superficies, estos son:

- GRID. Los GRID representan superficies utilizando una malla de puntos espaciados regularmente. El tamaño de las células se calculará por el promediado de los valores de puntos más cercanos, esto dará un mayor peso e influencia a los más cercanos. La resolución además dependerá de la distancia entre los puntos, es decir, cuanto más pequeña sea la distancia más fina será la malla obtenida, modelando con esto superficies más exactas.

El modelado de las superficies con GRID son generalmente sencillas, además de que los procesos posteriores con estas superficies son más eficientes que con otros modelos. Sin embargo, como contra parte, debido a que la estructura de la malla es rígida, no se adapta completamente a la variabilidad del terreno (pérdida de información entre puntos de la malla), por lo que los datos originales pueden ser capturados y reflejados incorrectamente.

- TIN (Triangulated Irregular Networks). Los TIN representan superficies utilizando caras triangulares no superpuestas continuas. En este caso el tamaño de las células dependerá de la cantidad de datos que se tengan y de su distribución. Por lo que la resolución de la superficie puede variar, es decir, la resolución será más fina en las áreas complejas o donde existan más datos, mientras que en las áreas pobres de información será menor la resolución. Una característica más de los TIN, es que las coordenadas originales de los puntos se mantienen, evitando con ella la pérdida de información. De la misma manera que los GRID, los TIN tienen algunos inconvenientes, entre estos principalmente se encuentra el costo en la construcción de la superficies, así como el resto de los procesos que se realicen con ella.

En este trabajo, se utilizarán los modelos TIN, para construir la cobertura de la topografía, debido a la irregularidad de la información. Posteriormente, esta cobertura TIN se

transformará en coberturas GRID, para hacer más eficiente los análisis y visualizaciones que se requieran.

Un paso esencial antes de la construcción de la coberturas de la topografía como TIN, es construir una cobertura de puntos con los datos de la altimetría, así como coberturas de polígonos que permitan delimitar la información, que para este trabajo será el límite de la ciudad de Barcelona (Figura 4.19).

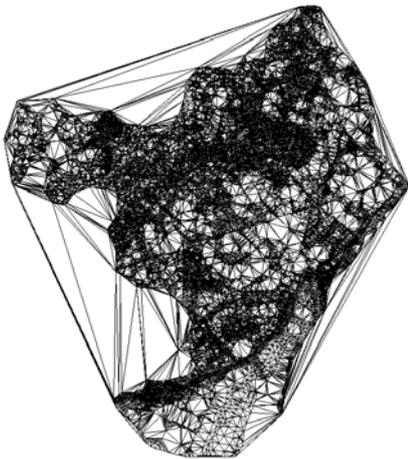


Figura 4.19. Generación de un modelo TIN a partir de una cobertura de puntos.

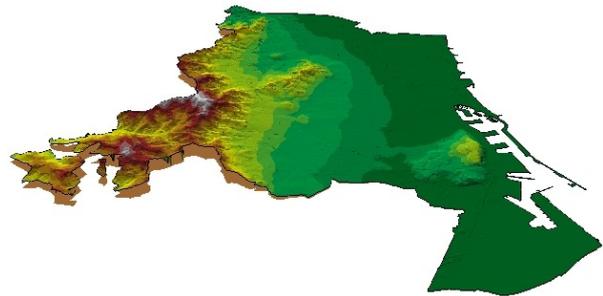


Figura 4.20. Sombreado analítico de una superficie a partir de un modelo TIN.

Este tipo de modelos permiten generar eficientemente superficie para su análisis y visualización, utilizando las capacidades con que cuentan los TIN, algunas de ellas son:

- Interpolación de valores de superficie z .
- Generación de contornos.
- Cálculo de pendientes, aspecto, área de la superficie, longitud de la superficie.
- Generación de polígonos aproximados de Thiessen.
- Análisis volumétrico y de rellenos.
- Extracción de elementos de la superficie.
- Generación de perfiles de una o más superficies.
- Análisis sofisticado de la visibilidad.
- Sombreado analítico.

Sin duda una de las principales características de los TIN son la capacidad para la proyección de los elementos de estudio (Figura 4.20), es decir, puede dibujar los triángulos generados junto con los nudos, orillas, en su forma más básica, así como los contornos de una superficie, curvas de nivel, vistas desde diferentes puntos de observación, los valores de la interpolación de la superficie, vistas de sombreado basado en una posición del sol, dibujos compuestos de superficies ganando elevación e iluminación de sol, etc.

Además de los elementos básicos (puntos, líneas y polígonos) y los TIN, existen otros elementos que se utilizan para la modelación del mundo real como se muestra en forma resumida en la Tabla 4.4, junto con su estructura, el objeto espacial que puede representar, los atributos que tiene y por último el uso que se le puede dar.

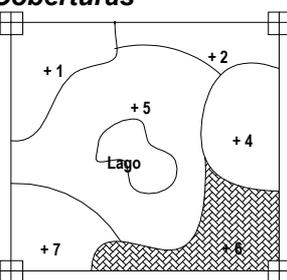
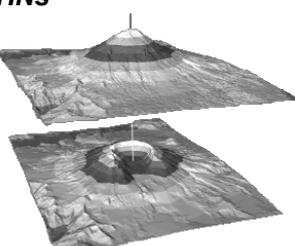
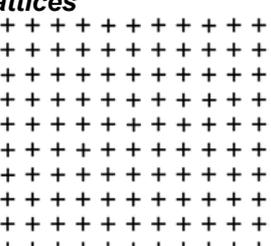
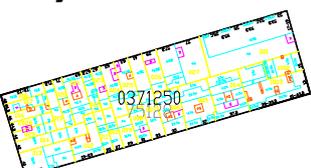
DATOS GEOGRÁFICOS	ESTRUCTURA	OBJETOS ESPACIALES	TABLA DE ATRIBUTOS	USO
Coberturas 	Vector topológico Georeferencial arc-nodo	Etiquetas Arcos Nodos Polígonos Anotaciones Rutas Secciones Tics	PAT AAT NAT PAT TAT RAT SEC TICS	<ul style="list-style-type: none"> - Bases de datos cartográficos - Automatización y actualización de datos espaciales - Modelación de datos espaciales - Mapas bases para la cartografía
TINs 	Superficie, Red irregular triangulada	Triángulos con aristas xyz	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> - Representación de superficies (especialmente terrenos) - Modelación y visualización de superficies (contorno, visibilidad, 3-D, perfiles)
Parrillas o mallas 	Raster georeferencial.	Células	VAT	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis y modelación espacial - Representación de superficies - Exploración para la automatización de datos
Lattices 	Superficie, Modelo digital de elevación, Mallas, Raster	Puntos xyz	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> - Representación de superficies - Modelación y visualización de superficies (cortes rellenos, relieves, 3-D, pendientes)
Imágenes 	Raster	Banda de pixeles	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> - Imágenes como mapas - Imágenes como atributos - Automatización de datos - Visualización - Detección de cambio - Bases de datos multimedia
Dibujos 	CAD	Capas de entidades	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> - Dibujos como mapas - Dibujos como atributos

Tabla 4.4. Formas de SIG que sirven para modelar los elementos del mundo real.

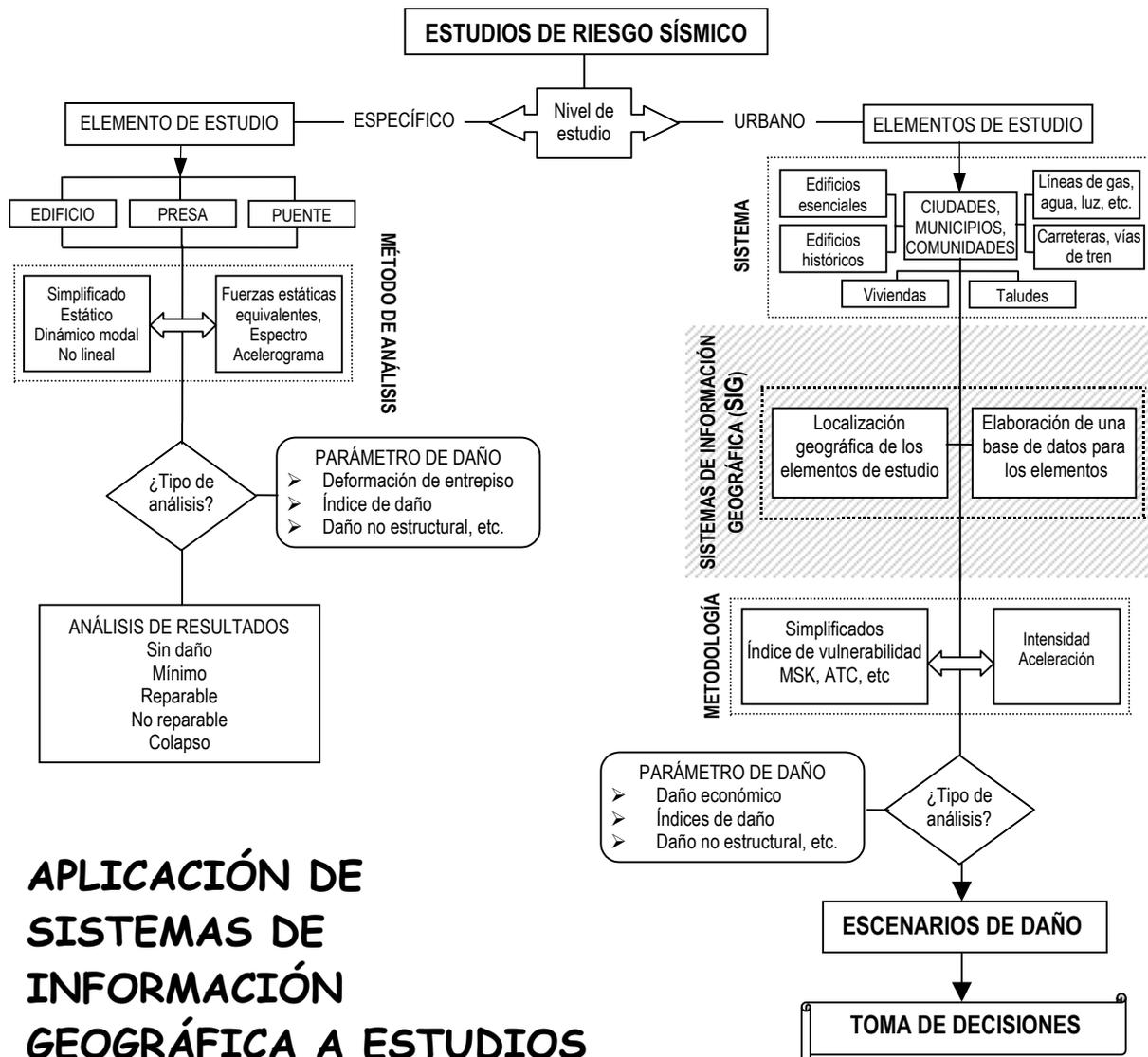
Otra forma de modelar elementos del mundo real con ARCINFO, a partir de imágenes o mapas de bits usando utilidades avanzadas como son los comandos REGISTER y RECTIFY. Estas utilidades permiten transformar las coordenadas de imágenes obtenidas en un proceso de escaneado a unidades reales de mapa (por ejemplo, UTM), con lo cual se incorpora a la base de datos detalles de los elementos modelado. No obstante, estos estudios se realizarán en trabajos futuros, ya que no forman parte de los objetivos de este trabajo.

4.6 Áreas de aplicación de los SIG

Los SIG actualmente tienen un amplio rango de aplicaciones y una buena aceptación por parte de los gobiernos, empresas privadas e institutos de investigación. Entre estas aplicaciones está el análisis de recursos medioambientales, planificación del suelo, análisis posicional, estimación de impuestos, análisis de mercado, demografía, planificación de infraestructura, estudios de hábitat, análisis arqueológicos, entre otras muchas más. En la década pasada, el campo de aplicación de los SIG se extendió al manejo de los riesgos naturales debido a las experiencias sufridas con los terremotos, huracanes, inundaciones y erupciones, entre otras, cuya peligrosidad o severidad radica en el efecto que tiene en grandes áreas, alcanzando sobre todo zonas urbanas, que en algunas ocasiones están densamente pobladas, debido a un crecimiento incontrolable y a un mal manejo urbanístico de la ciudad, como puede comprobarse en los trabajos de la OEA, 1993; ESRI, 1994; SERGISAI, 1998, entre otros. De esta manera, se observa la necesidad de manejar una gran cantidad de información, especialmente de elementos georreferenciados o espaciales que pueden verse afectados por estos fenómenos, como son los edificios, puentes, presas, líneas vitales (líneas de agua, gas, luz, fibra óptica, etc.), así como los mismos fenómenos naturales que pueden actuar.

Dentro de los programas de planificación y mitigación de desastres, los SIG permiten combinar la información de los riesgos naturales, recursos, población e infraestructura para determinar las áreas menos expuestas a los peligros, áreas aptas para las actividades de desarrollo, áreas que requieren una evaluación más detallada, áreas donde se debería priorizar en la aplicación de las estrategias de mitigación. Por ejemplo, los mapas de peligro sísmico permiten determinar las áreas y su extensión donde se deben evitar fuertes inversiones de capital o donde se deben considerar sólo actividades menos susceptibles a terremotos. De la misma manera, estas áreas expuestas junto a datos socio – económicos y de infraestructura, pueden proporcionar el número de personas o la infraestructura, que pueden estar en situación de riesgo.

Por otro lado, una vez ocurrido el desastre los SIG son esenciales para una pronta respuesta de las autoridades civiles de una manera ordenada y prioritaria en aquellos lugares donde se determinó que los daños podrían ser mayores. Los SIG, dentro de los programas de planificación determinaron las zonas con mayor probabilidad de daño, localizando a su vez, los sistemas de emergencia más cercanos y las zonas que pueden utilizarse como áreas de resguardo para la población.



APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA A ESTUDIOS DE RIESGO SÍSMICO

Figura 4.21. Diagrama que muestra la etapa en donde se aplican los Sistemas de Información Geográfica dentro de los estudios de Riesgo Sísmico.

Sin embargo, el proceso se complica cuando la información no está organizada; no existe una metodología adecuada para analizar uno o varios fenómenos al mismo tiempo; en la aplicación de las formas de mitigación propuestas o simplemente cuando no existen las personas adecuadas para el manejo de los sistemas. Las aplicaciones de los SIG en el manejo de los riesgos naturales normalmente están limitadas por la cantidad y calidad disponible de información de los elementos que se quieren estudiar y, en algunos casos, por la falta de metodologías adecuadas para el estudio. Afortunadamente, muchas instituciones, principalmente gubernamentales, han puesto un gran interés en la elaboración de esta información, mejorando y organizando los datos catastrales de las ciudades (como ejemplo, están las ciudades de Barcelona y Niza, cuya información es muy completa).

En la Figura 4.16, se muestra en forma resumida los diferentes pasos que se pueden seguir en el estudio del Riesgo Sísmico. Por una parte el estudio se puede realizar de una manera específica, utilizando modelos y herramientas de análisis complejos, determinando parámetros como pueden ser la deformación de entrepiso para determinar el daño de las estructuras, ó de una manera simplificada utilizando metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras para poder aplicarse a nivel urbano, para lo cual son esenciales los SIG, por la gran cantidad de información que se necesita manejar. Algunos ejemplos de la aplicación de los SIG se pueden ver en los trabajos de ESRI, (1994), Tatsumi *et al*, (1992), OEA, (1993), King *et al*, (1994), Polovinchik *et al*, (1995), Xie *et al*, (1996), Anagnos *et al*, (1996), Mena, (1997), SERGISAI, (1998), Mena *et al*, (2001), en donde algunos trabajos citados tienen aplicación real en los sistemas de Protección Civil.

Uno de los trabajos en donde se hace una recopilación de algunos proyectos en diferentes áreas aplicando SIG es el de ESRI (1994). En este libro se muestra el trabajo de cientos de mapas describiendo situaciones y condiciones alrededor del mundo, como son los patrones de vegetación, redes de energía eléctrica, crimen, sismos, recursos energéticos, plagas en el bosque, geología, límites políticos, recursos de agua, entre otros muchos más. Estos trabajos han ayudado a registrar la realidad, modelar procesos científicos y realizar importantes tomas de decisiones. Con esto se puede ver el continuo crecimiento y ampliación de la tecnología SIG a muchos sectores, permitiendo crear grandes bases de datos en muchos campos de la ciencia, para hacerlos más eficientes.

4.7 Resumen

En este capítulo se hace una descripción de los Sistemas de Información Geográfica y la importancia que tienen en los estudios donde se necesite la modelación de elementos georreferenciados, o en otras palabras, modelos que representen elementos del mundo real. Se describe la definición de SIG, así como los principales componentes que lo constituyen, entre los que se encuentran la información que se pretenden modelar, la descripción de estos elementos, el equipo informático, el software y obviamente el equipo humano. Se revisan los conceptos generales de los datos geográficos y las diferentes formas de proyectarlos.

Se hace una descripción de los elementos que se utilizan para modelar el mundo real, principalmente los puntos, arcos y polígonos, siendo los elementos básicos para la construcción de las coberturas dentro de los SIG. Se hace también una descripción del concepto de topología, indispensable para que estos elementos sean reconocidos por un SIG. No obstante, estos elementos no son los únicos utilizados para representar el mundo real, también se pueden utilizar elementos más avanzados como son los TIN o GRID, con los que se pueden representar superficies reales del mundo.

Finalmente, se hace un resumen de las áreas de aplicación entre las que se encuentran el análisis de recursos medioambientales, planificación del suelo, análisis posicional, estimación de impuestos, estudios de habitat o el manejo de recursos naturales, entre los que se encuentran los estudios de Riesgo Sísmico.