

Nucleamiento Minas – Facultad de Ingeniería - UNSJ

Cátedra Electiva: Cartografía Temática y SIG

Apuntes de Cátedra.

Elaborado: Ing. Marina Elisa Romero



2018

Universidad Nacional de San Juan

SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

Desarrollo Teórico.

Definiciones Generales.

Elaborado por: Ing. Marina Elisa Romero

1. Definiciones Preliminares.

Un SIG o Sistema de Información Geográfica, se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar de forma coordinada y lógica, para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar información geográfica con el fin de satisfacer múltiples propósitos.

Los SIG, son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, su aparición revolucionó las técnicas de manejo de los datos, logrando en la actualidad una aplicabilidad en múltiples ambientes, como catastros, municipalidades, gestión de recursos naturales, planificación de obra pública, prevención de desastres, investigación, etc.

Un SIG es un “Sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelación y salida de datos espaciales georeferenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión”, (*Nacional Center for Geographic Information and Analysis, N.C.G.I.A.*).

Debido a su capacidad de análisis, predicción y modelización de la realidad, como así también del modo en que son capaces de brindar soluciones a los problemas planteados, además de su moderno diseño, permiten realizar un sinnúmero de planteos y modelizaciones del entorno que definimos como realidad. Sin embargo al tratarse de un sistema complejo en el cual participan variables multidisciplinarias es necesario que los usuarios SIG los adapten a sus necesidades particulares.

Hay que tener en cuenta que los SIG manejan datos geográficos constituidos por dos componentes, una gráfica y otra alfanumérica, lo cual implica la generación de una base de datos cartográfica digital. Esta base de datos, es de suma importancia para el manejo óptimo del SIG, por lo cual siempre deberá estar acorde a las exigencias planteadas, para la administración del espacio territorial.

Existen muchas definiciones de SIG, cada una de ellas hace hincapié en sus distintas virtudes, y en el hecho de que es una *herramienta de apoyo en la toma de decisiones*, todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado de trabajo, con una infraestructura tan potente que puede llegar a aplicarse en ámbitos de pequeña o gran escala.

Debe aclararse que el concepto de Sistemas de Información Geográfica es en sí mismo una sola idea. Pero lo desglosaremos primeramente en sus palabras clave, para revisar las definiciones, propuestas y sacar algunas conclusiones.

1.1. Sistema.

Existen infinidad de definiciones de Sistema entre ellas podemos mencionar las siguientes:

- a) Conjunto de componentes que se diseñan para obtener un objetivo común según un plan determinado. (Jonson, Kast y Rosezweig).
- b) Grupo de elementos interdependientes o que interactúan regularmente formando un todo como por ejemplo:
 - Grupo de cuerpos interdependientes bajo la influencia de fuerzas relacionadas: Sist. Gravitatorio.
 - Conjunto de sustancias que tienden al equilibrio: Sist. Termodinámico.
 - Grupo de órganos del cuerpo que juntos llevan a cabo una o más funciones vitales: Sist. Digestivo, etc.
 - Grupo de fuerzas u objetos naturales: Sist. de ríos.

- Grupo de aparatos o una organización que forma una red, especialmente para distribuir algo o para servir a un propósito común, por ejemplo un Sist de calefacción o un Sist de autopistas, etc.
- Juego organizado de doctrinas, ideas o principios, usualmente con la intención de explicar el trabajo de un todo sistemático: Sist. Newtoniano de mecánica.
- Procedimiento organizado o establecido: Sist. de mecanografía al tacto.
- Manera de clasificar, simbolizar o esquematizar: Sist Decimal. Definitions of New Collegiate Dictionary of Webster.

c) También se define como un conjunto de objetos reunidos con relaciones entre dichos objetos y entre sus atributos, conectados o relacionados entre sí y con su ambiente de tal modo que forman una suma total.

Podemos sacar entonces, como primera conclusión que las diversas definiciones de sistema, surgen conceptos principales que son totalmente comunes. Como la interdependencia, interacción y relación entre los componentes del sistema, la diferencia entre objetos del sistema y cada uno de sus componentes y la complejidad que los representa. Como segunda conclusión podemos decir que si bien existen muchos tipos de sistemas, que en general se clasifican de esta manera:

- Sistemas Naturales: como los geológicos o moleculares.
- Sistemas Hechos por el Hombre: como los de transporte o comunicación.

1.2. Información.

La información es el resultado de la lectura, análisis e interpretación de los datos y que surge como consecuencia de la observación y el estudio de los hechos y objetos de la realidad.

Es importante destacar la diferencia que existe entre *datos* e *información*. Usamos el término datos para referirnos a una serie de hechos y cifras que se recolectan. Y la palabra información para referirse al extracto obtenido de esa masa de datos procesados, para satisfacer un requerimiento específico. Como conclusión podemos decir que la finalidad básica y primordial de recopilar y procesar los datos es la de obtener y producir información.

1.3. Geográfico.

Nos limitaremos con el concepto de geográfico a lo *posicional*, es decir a las características de localización espacial que un determinado objeto físico, fenómeno natural o social tiene en un determinado sistema de coordenadas geográficas.

El dato espacial o geográfico, representa a un determinado objeto que tiene dimensiones físicas y ocupa un lugar en el espacio. Por lo tanto está representado en superficie en una posición definida que también es posible de asociar un sistema de localización por coordenadas, sean estas locales o globales. Estos datos son, por ejemplo, los accidentes topográficos naturales o artificiales, los cuales podemos representar luego mediante entidades espaciales.

Como una conclusión general podríamos decir entonces, que todos los datos que se procesan en un SIG deben ser geográficos. Es decir, que deben estar ubicados en el espacio a través de sus coordenadas. De aquí podemos concluir que lo de geográfico no es una condición del sistema sino de los datos utilizados para construirlo y de la información obtenida.

2. Sistemas de Información Geográfica.

Luego de este breve análisis y sobre la base de algunas consideraciones previas podemos decir que un SIG es un ambiente, donde un equipo multidisciplinario que administra un conjunto de herramientas informáticas integradas y que relaciona datos espaciales de un territorio, genera información en base a la recopilación de datos, para el logro de propósitos determinados.

Sin embargo, este no es el único punto de vista desde el cual puede definírseles, la Federación de Geómetras define a los SIG haciendo énfasis en su aplicación como: “Una herramienta para la planeación, el desarrollo y la toma de decisiones en el ámbito legal, administrativo y económico, formando una base de datos con información relativa a la tierra y un conjunto de técnicas y procedimientos para la recolección sistemática, actualización, procesamiento y distribución de datos (1982)”.

Podríamos escribir muchas definiciones y cada una de ellas acentuaría en cada componente del SIG; aplicaciones, procedimientos, componentes, pero todas comparten la misma idea. Sin embargo estructurar y direccionar los datos que deberán ser administrados con un SIG, no es tarea sencilla. Si un SIG debe soportar procesos de planificación, también debe ser capaz de proveer información acerca de oportunidades existentes, problemas a ser resueltos, políticas a seguir, etc. Debe servir además, como archivos de datos organizados, según los elementos de los procesos de planificación, con información dinámica y continuamente actualizada.

Con un buen diseño de Base de Datos, un SIG puede ejecutar todas estas tareas y muchas más. Por su capacidad para gerenciar información hábilmente y por su eficiente administración de los recursos disponibles, lo convierte en el perfecto aliado de cualquier tipo de proyecto.

2.1. Desarrollo de los SIG.

Desde sus comienzos, cuando se los consideró un simple recurso para la generación de mapas a través de sistemas de gráficos, con algunos registros de atributos asociados, los SIG han evolucionado hasta convertirse en una pieza fundamental para la toma de decisiones, tanto en el ámbito administrativo, político o empresarial. Los Sistemas de Información Geográfica tuvieron su origen en el año 1962, en Canadá cuando se diseñó el primer sistema destinado al mantenimiento de un inventario de recursos naturales a escala nacional.

La posibilidad de integrar la información espacial con una base de datos, ha incorporado un nuevo concepto en la administración del espacio territorial, favoreciendo el acceso y exploración a todo tipo de realidades territoriales y cada vez a más usuarios. Hasta hace algunos años los SIG eran manuales, en el caso de los catastros y jugaban un papel preponderante aun luchando con limitaciones de tiempo, costo y capacidad de manipulación de la información; actualmente los SIG son completamente diseñados y manipulados por modernos equipos de computación.

Luego de estos primeros avances, el desarrollo de los SIG ha sido considerable, fomentado en primer lugar por organizaciones administrativas, pero también gracias a la investigación universitaria y a las empresas de desarrollo de software. El principal factor de modificación lo constituye la continua innovación en el campo de la informática, tanto en el desarrollo de software específico, como del hardware que potencia el desarrollo de la investigación en estos campos. Además esto ha permitido nuevas posibilidades de manipulación de la información desarrollada por los SIG.

3. Aplicaciones SIG

La tecnología SIG provee un conjunto flexible de herramientas, para que las organizaciones gubernamentales correspondientes puedan realizar las más diversas aplicaciones y simulaciones de posibles escenarios futuros mediante su uso. Las herramientas de administración de los SIG permiten manejar todo tipo de información de componentes espaciales, o aquella que pueda ser georeferenciada. Tanto la tecnología SIG, como SIT pueden ser aplicadas en numerosas áreas dentro del estado, a continuación enumeraremos algunas de ellas.

Administración de la información Catastral:

El tipo de base de datos administrada por los SIG, es ideal para la manipulación de información parcelaria, ya que puede incluir varios aspectos de una misma parcela en particular como por ejemplo: aspectos jurídicos, físicos, uso o destinos, distintos propietarios, servicios inherentes a ella, información fiscal, etc. Los SIG de base parcelaria se denominan comúnmente SIT por su orientación territorial que está específicamente diseñado para servir a organizaciones tanto privadas como públicas. Sus características distintivas son:

- Emplean la parcela como principal unidad para su organización.
- Relaciona una serie de registros (valor, uso, etc) con esta unidad.
- Es completo en términos de cubrimiento espacial.
- Provee un rápido y eficiente medio para acceder a los datos.

A esta información se le puede sumar los datos de las redes de infraestructura y servicios como lo son redes de agua, gas, eléctricas y servicios públicos. En este caso a estos SIT se los denomina como catastros multipropósitos o multifinalitarios.

Cartografía:

La confección de la cartografía, a diferentes escalas es tarea primordial para el planeamiento de las actividades del estado, por ello su confección es una tarea muy importante para el desempeño de una buena gestión administrativa. Pensemos sino en la confección de infraestructura vial, de comunicaciones, de electricidad, en la correcta posición planimétrica de límites interprovinciales e internacionales, etc. La relación de los habitantes con el territorio que ocupan, caracteriza a cualquier comunidad por ello el estudio del territorio en todos sus aspectos y las relaciones que existen entre este con las diversas actividades de la población, son parte esencial del estado. En este contexto los SIG y SIT permiten potenciar la capacidad de análisis de información, la confección de cartografía específica y temática.

- a- **Administración del uso de la Tierra. Análisis de Impacto Ambiental:** Un SIG puede utilizarse para encontrar cualquier tipo de cambios en el uso de la tierra, y/o para mostrarnos su uso actual. Ej. Unas parcelas afectadas por un hipermercado, también inmediatamente podemos proveernos de nombres y domicilios de los afectados.
- b- **Recaudación Fiscal:** Puede determinarse a través de un SIG la morosidad de las diversas regiones que componen el territorio. También, se pueden realizar análisis de los causales de deficiencia en el pago, como pueden ser deficiencia de servicios o poca presencia de bocas de recaudación. Luego con los resultados se podrán determinar políticas correctivas de la situación.
- c- **Seguimiento de variables Económicas y Sociales:** Los SIG permiten mostrar las diferentes variables económicas y sociales en su distribución espacial, posibilitando así determinar regiones con idénticas incidencias de determinadas variables; como ingresos, índices económicos, empleo, desempleo,

mortalidad infantil, esperanza de vida, etc. Esta posibilidad y el estudio de las similitudes y de las diferencias entre diversas áreas permite determinar el porqué de los valores de las distintas variables analizadas, sus causas y las políticas que se deberán implementar para su corrección, potenciación o seguimiento.

- d- **Crecimiento racional de la Comunidad:** Utilizando un SIG, podemos representar todo tipo de datos censales que nos pueden permitir analizar tendencias de crecimiento o representar patrones existentes dentro de una población en el mismo territorio. Por ejemplo podríamos obtener donde se ubican los distintos estratos sociales dentro de una ciudad, que necesitan crédito para la construcción de sus hogares.
- e- **Proveer Servicios Administrativos:** Los departamentos administrativos, utilizan datos de otros departamentos técnicos para desarrollar una visión económica y administrativa de las funciones gubernamentales. Un SIG puede usarse cómodamente para cartografiar proyectos y realizar el seguimiento de los mismos. La posibilidad de ver en un mapa temático estos proyectos acompañados de información complementaria permite administrar mejor los recursos y esfuerzos, organizando así mejor las prioridades de cada área.
- f- **Resolución de Problemas Administrativos:** La tecnología SIG, se utiliza frecuentemente para realizar análisis espacial, lo que permite claramente localizar problemas. La cartografía a su vez es una herramienta que permite representar información compleja, a todo tipo de público de una manera sencilla para su entendimiento.
- g- **Recursos y Equipamiento:** Equipos y servicios pueden ser fácilmente administrados por un SIG y a su vez pueden ser cartografiados para un mejor manejo. De esta manera los administradores pueden seguir en un mapa donde están ubicadas y como afectan sus disposiciones, usos, etc. También pueden utilizarse, para la planificación de lugares de recreo y centros comunitarios. Contribuyen con datos importantes como redes de transporte, ubicación de espacios verdes, servicios, etc. que pueden ser integrados para buscar una solución en el diseño, construcción e innovación de lugares de esparcimiento, juego y diversos servicios comunitarios.
- h- **Educación:** El balance de la demanda de la educación y la oferta educativa, son aspectos que se ven facilitados por la aplicación SIG. Aplicando estas tecnologías, en estos campos podemos obtener fácilmente ítems como; análisis y planificación de la localización de futuras escuelas, donde establecer los límites de los distritos escolares, estudios económicos para el desarrollo de la educación, cálculo de caminos óptimos para el transporte escolar, etc.
- i- **Servicios de Emergencia y Seguridad:** La geografía tiene un rol muy importante en la seguridad pública, el cual puede ser potenciado con el uso de un SIG. La capacidad de respuesta, de acceder y procesar información rápidamente y desarrollar los recursos necesarios de donde se necesita resolver este tipo de problemas es tarea crítica. Es necesaria la información exacta sobre la ubicación del incidente, desastre, atentado, etc, para determinar de qué manera responder al suceso minimizando las consecuencias humanas y la pérdida de materiales. Los SIG le permitirán al personal de seguridad planificar respuestas ante cualquier tipo de emergencias, procesar la información rápidamente, determinar prioridades, analizar rápidamente los eventos y predecir escenarios futuros. En el caso de escenarios críticos permitirá también el cálculo de caminos óptimos para llegar al lugar del siniestro.
- j- **Prevención de Delitos:** Como un SIG permite mostrar patrones y tendencias de datos, puede usarse por las autoridades encargadas de la prevención para mostrar la ubicación y frecuencia de los delitos cometidos. A su vez la capacidad de análisis del SIG permitirá correlacionar estos hechos con otras variables como; pobreza, educación, etc. También pueden optimizar otras variables como la resolución de caminos óptimos en caso de emergencia, la planificación de las patrullas, la ubicación de recursos policiales, el seguimiento satelital de los vehículos, entre otras.
- k- **Resolución de Problemas Electorales:** Los SIG pueden utilizarse para mejorar acciones que promuevan mejores comicios, optimizando por ejemplo los límites de los distintos distritos

electorales, obteniendo informes gráficos sobre los resultados de las elecciones y realizando análisis en el instante del acto electoral. Pueden utilizarse también la optimización de los caminos que permiten llegar a los lugares de comicios, para validación de domicilios y preparación de listas de votantes, etc.

- l- **Provisión de Servicios de Salud:** Un SIG puede utilizarse dentro de esta área, para planificar las inspecciones o visualizar los resultados de estas por medio de mapas temáticos, que podrán describir fácilmente la ubicación y distribución de las variables comprometidas. Además puede ayudar en la determinación de las probables causas de manifestación de una determinada enfermedad dentro de una determinada región. Con la implementación de un SIG se puede planificar y distribuir de una mejor manera la distribución de atención médica, ya sea primaria o de alta complejidad en función del número de pobladores. Por último es fundamental para el ruteo de emergencias médicas.
- m- **Aplicaciones Forestales:** Una de las primeras aplicaciones en las que se destacaron los SIG hace ya 25 años, fue justamente dentro de esta área en Canadá; ya que su implementación permitió la evaluación de los recursos forestales y su clasificación. La superposición de capas de diferentes conjuntos de datos como los son vías de transporte, comunicación, tipos de suelo, clima, índices de peligrosidad ante el fuego, etc.; permitió una mejor planificación y cuidado de los recursos forestales y grandes avances al predecir diversos modelos de lucha contra fuego.
- n- **Planificación de los Servicios Públicos:** Una de las principales funciones del Estado Publico es la regulación de la infraestructura de los servicios que debe proveer, los organismos que se ocupan de este tema realizan trabajos que incluyen la planificación y zonificación de estos distintos servicios, optimizando así los recursos disponibles y fomentando al desarrollo económico y una mejor administración de estos servicios.

n.1. Transporte:

Cada vez son más frecuentes los inventarios sobre carreteras, ferrocarriles y otras vías de transporte realizados en base a los SIG, ya que es posible registrar datos inherentes a las condiciones de señalización, tipos de rutas y caminos, estado de conservación, cruces con rutas o ferrocarriles, servicios al transportista y muchísimos más. Lo cual permite la planificación de nuevas obras, la conservación de las ya existentes, el diseño de mapas temáticos que brinden correcta información al transportista y al turista o usuario en general, el control de los servicios de transporte interurbano, etc.



Figura N°1: Capas de información que componen un SIG.

4. Componentes de un SIG.

Para garantizar el éxito en la implementación de un Sistema de Información Geográfica, se debe considerar que en su diseño intervienen distintos componentes y que cada uno de ellos tiene su peso fundamental en el diseño definitivo del SIG, al punto de que la falta de alguno de ellos haría fracasar cualquier intento de implementación del SIG. Estos cinco componentes infaltables en cualquier diseño de SIG son:

- Hardware
- Software
- Datos
- Recursos Humanos
- Procedimientos de Administración
- Tiempo
- Decisión Política

Para expresar esta idea podemos hacer uso una expresión matemática, afirmando que el resultado de un SIG es igual al producto de cada uno de sus componentes:

$$\text{SIG} = \text{Hard} * \text{Soft} * \text{Datos} * \text{Recursos Humanos} * \text{Procedimientos} * \text{Tiempo} * \text{Decisión Política}$$

Lo expresamos como multiplicación, debido a que asimilamos los valores de cada uno de sus componentes como ceros y unos, lo cual significaría que si alguno de estos componentes se aproximara a cero, bajaría el rendimiento del sistema. Y si alguno de ellos tomara el valor cero implicaría que el resultado final de la fórmula sería cero y por lo tanto el sistema sería un completo fracaso.



Figura N°2: Componentes de un SIG.

A continuación analizaremos cada uno de los componentes de un Sistema de Información Geográfica, desde esta perspectiva realizando una descripción acerca de que consiste cada uno de ellos.

4.1. Datos.

Los datos que administra un SIG son muy específicos, se denominan datos Geográficos y a su vez tienen dos componentes que los hacen especiales. Estas componentes son los datos Gráficos y los datos Alfanuméricos, a su vez estos están biunívocamente relacionados conformando una Base de Datos Geográfica. Es sobre esta base donde el usuario opera, a través de las herramientas del SIG para obtener y lograr producir “información”.

Los datos que serán administrados por el sistema, constituyen información geoespacial, por lo general son provenientes de mapas y planos ya existentes o de relevamientos topográficos, fotogramétricos, con sensores remotos (satelital, lidar), etc, del espacio territorial. Estos datos contienen información de las características del terreno o sea describen una determinada realidad territorial, estando además posicionados inequívocamente en el terreno a través de un sistema de coordenadas.

Al relevar la información, debemos tener claramente definidas las entidades geográficas que serán elementos de consulta; por ejemplo si es la parcela la unidad básica del sistema deberá preverse que su representación gráfica poligonal permita claramente la identificación de cada una de ellas y que a través de su nomenclatura puedan asociárseles múltiples atributos. En cambio si el objeto de consulta es una red de servicios, el objeto de la consulta serán las líneas y nodos, asociados a sus atributos tales como materiales profundidad, mantenimiento, etc., los que deberán verse claramente representados a través de datos como, usuarios, consumo, domicilio, etc.

Cuando los datos gráficos ya existen, las técnicas de adquisición de la información como digitalización a través de tableros, desde la pantalla del monitor, scanner o software de vectorización, son las más apropiadas. En el caso de que haya que generarlas, por levantamientos, serán la fotogrametría o la teledetección, con sus diversos procedimientos de captura y procesamiento, las tecnologías más adecuadas para lograr el objetivo propuesto.

Los datos alfanuméricos que administra un SIG, están siempre asociados a una posición geográfica y a un elemento o entidad gráfica, los cuales son líneas, puntos o polígonos; los cuales son utilizados para representar estos datos. De este modo, al seleccionar la información que alimenta a las tablas que en conjunto formarán las bases de datos de atributos alfanuméricos asociados, deberá prestarse especial cuidado a esta condición.

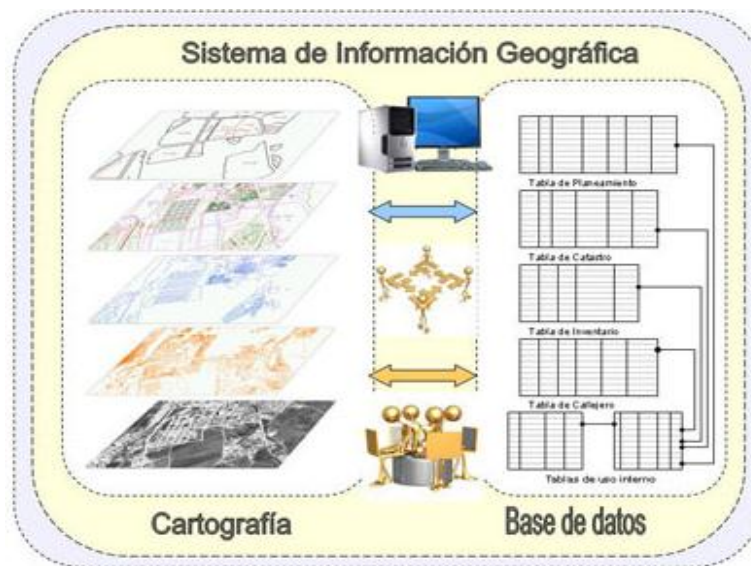


Figura N°3: Información que forma la base de datos de un SIG.

Características del Rasgo Gráfico.

- **Geometría:** es la forma que representara al dato en superficie. Esto se logra mediante una entidad gráfica que pueden ser los puntos, líneas o polígonos.
- **Localización:** los objetos tienen dimensiones físicas, es decir que ocupan un lugar en el espacio. Por lo tanto, pueden ser representado en superficie terrestre en una posición determinada por sus coordenadas.
- **Topología:** la topología, es la que hace posible establecer las relaciones entre los objetos geométricos contenidos en el SIG, las relaciones entre los objetos conforman la base de los Análisis Espaciales, los cuales conforman el corazón del funcionamiento del SIG. Ya que los objetos geográficos no son solamente figuras geométricas aisladas sino que además interactúan con los objetos vecinos.
- **Geocódigo:** es un código que se le asigna a cada una de las entidades espaciales; puntos, líneas y polígonos, que los identifica. Por lo general se les asigna las coordenadas geográficas o coordenadas planas oficiales. Esto permite posteriormente su vinculación con los datos alfanuméricos, que son las cualidades o atributos, que se desean asociar a las entidades espaciales. Los SIG realizan estas asignaciones por medio de tablas topológicas, con las cuales organizan el almacenamiento de las entidades graficas. Estas tablas, también poseen la ventaja de reorganizarse instantáneamente cuando surjan cambios
- **Atributo:** Es la componente asociada a la base de datos, que describirá las cualidades de las entidades espaciales.

4.2. Software.

Desde sus comienzos cuando solo se lo consideró como un simple recurso para la generación de mapas, a través de sistemas gráficos con la posibilidad de asociarle atributos, los programas de aplicaciones SIG, han evolucionado notablemente hasta convertirse en fundamentales a la hora de la toma de decisiones en cualquier tipo de ámbito donde estos sistemas pueden llegar a implementarse. La posibilidad de integrar la información espacial con diversas bases de datos, incorporó un nuevo concepto en la administración del espacio territorial y revolucionó tanto el acceso como la exploración de estas nuevas formas de información que pueden llegar a ser entendibles por un gran número de usuarios.

Este tipo de software, corre en diversos tipos de plataformas, desde las más económicas hasta las más sofisticadas estructuras de hardware, lo que ha favorecido su rápida difusión y su amplio acceso a grupos de investigadores de las más diversas disciplinas y a numerosos usuarios de diversas comunidades. Una vez definido el espacio de aplicación y la información que ha de manejar el SIG el siguiente paso es definir qué tipo de software lo administrará, en este sentido se disponen en el mercado una gran variedad de programas propietarios y de codificación libre, entre los cuales podemos nombrar ARC/INFO, MAPINFO, ARCVIEW, ARCGIS, KOSMO, QGIS, GVGIS, GRASS, entre los más difundidos.

Cualquiera de estos soft, ofrece amplias alternativas para la captura, proceso, análisis espacial y despliegue de la información geográfica y corren en diversos sistemas operativos, pasando desde los más antiguos hasta los más modernos. En general todos almacenan la información gráfica de los objetos por medio de sus coordenadas, pero además son capaces de generar las relaciones topológicas que determinan los vínculos entre los componentes del SIG. Es esta, la condición fundamental del software de administración de información geográfica, ya que de esto depende la calidad y eficiencia de la generación de información del sistema.

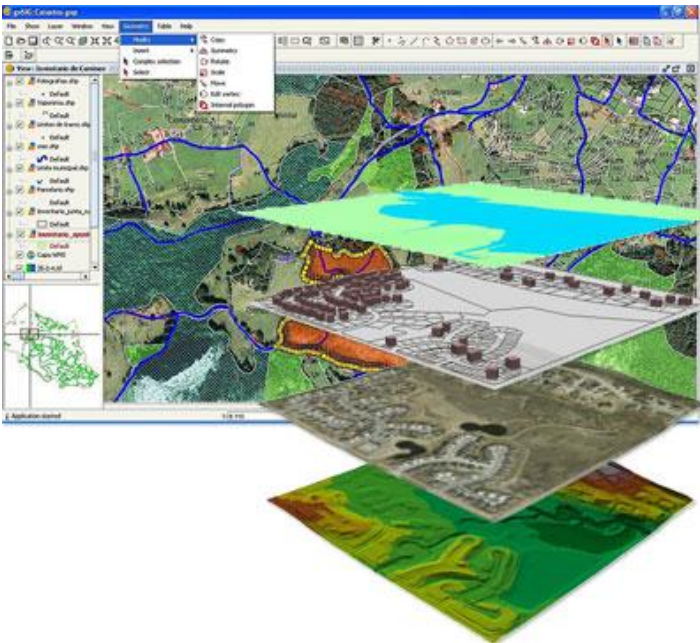


Figura N°4: Layers o capas de un SIG.

Por lo tanto, el software de administración geográfica es importante ya que es la herramienta para poder generar la información, o la caja de herramientas que hace posible la obtención de nuevos datos en base a los que previamente hemos cargado al sistema. O sea que el soft de aplicación y administración SIG está formado por paquetes de comandos, facilidades, algoritmos y procedimientos informáticos que determinan las estrategias de operación del SIG.

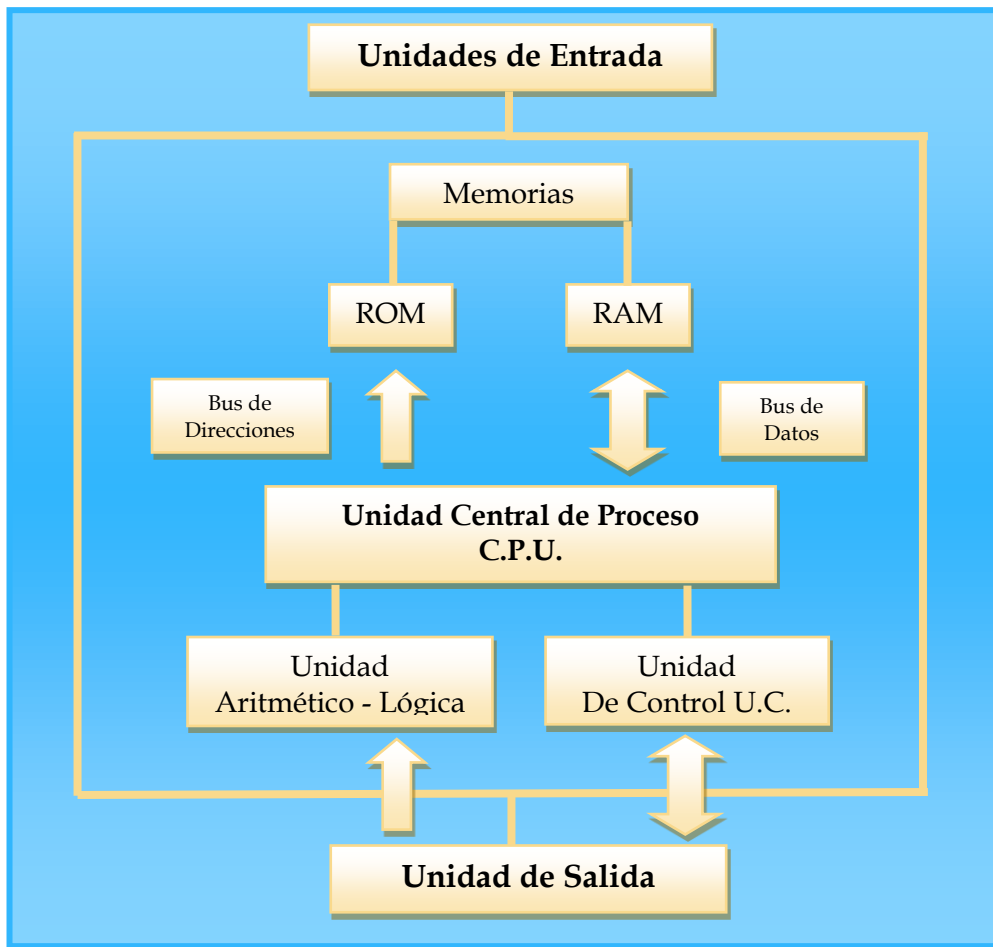
Si bien los diversos proveedores de software, insistirán acerca de las ventajas que posee cada uno, será finalmente el usuario quien elegirá el más adecuado en base a sus necesidades y posibilidades económicas. Aun así, no hay que dejar de tener en cuenta que la asistencia técnica, el número de usuarios, la posibilidad de capacitación y de actualización entre otros, son los factores fundamentales a tener en cuenta a la hora de elegir.

4.3. Hardware.

Para que un SIG corra con normalidad sobre la plataforma instalada en un equipo de computadora, esta debe cumplir algunos requisitos básicos de equipamiento o hardware. Una computadora desde el punto de vista más simple está compuesta por las siguientes partes:

- CPU o Unidad Central de Proceso
- Memorias
- Unidades de Entrada
- Unidades de Salida

Representación esquemática:



Esquema N°1: Componentes de la CPU.

Las líneas conectan las diferentes unidades y representan las posibles trayectorias de "Flujos de Información". La Unidad Central de proceso es el cerebro de la máquina y como tal es el encargado de realizar las operaciones lógicas y aritméticas, así como también el control y administración de todas las operaciones del sistema, lo que le permite realizar comunicaciones externas e internas.

La unidad de memoria es el lugar físico donde la CPU guarda la información, es decir sería la que reemplaza la función del lápiz y el papel. En los primeros tiempos se utilizaron tarjetas perforadas para almacenar datos y programas pero en la actualidad se utilizan memorias magnéticas; estas almacenan la

información en impulsos eléctricos que en forma de alteraciones magnéticas se convierten en nuevos impulsos cuando la información es requerida.

Estas memorias se presentan en distintos dispositivos como lo son los discos flexibles (ya en desuso), discos rígidos, chips, memorias flash, nube, otros equipos en red o remotos, etc.

La memoria que está ligada a la CPU se la denomina memoria RAM (Rapid Access Memory) o de acceso aleatorio, en ella se puede alternativamente escribir o leer. Existe además, otro tipo de memoria denominada ROM (Read Only Memory) o memoria de solo lectura. Estas memorias están integradas a la CPU, se encuentran en los chips y se utilizan para el trabajo provisional y directo. Es importante diferenciarlas de aquellas de uso masivo, que normalmente vienen en disco o cinta.

Las unidades “de entrada y salida” son el elemento de comunicación entre el conjunto de CPU-Memoria con el exterior, esta comunicación puede producirse en los dos sentidos posibles, definiendo el tipo de Unidad de la que se trate. Por ejemplo una unidad de entrada es el teclado que permite el ingreso de datos al ordenador y una unidad de salida sería el monitor que permite visualizar la información. Esta descripción básica nos permite agrupar elementos de entrada y salida dando lugar a diversos tipos de configuraciones. El tamaño de la memoria, la capacidad de proceso y la velocidad de la CPU son el parámetro principal que caracteriza a las computadoras.

Si bien hemos hablado de los componentes de entrada y salida como elementos de comunicación entre el hombre y la computadora, también es muy usada la denominación de “componentes periféricos”, existen diversos tipos de estos componentes que pueden cumplir las más diversas funciones. Estos pueden ser:

- Impresoras
- Monitores
- Unidades de Almacenamiento
- Plotters
- Digitalizadores
- Scanners
- Lápiz óptico
- Modem
- Libretas electrónicas
- Iphone
- Smartphones
- Gps
- Pocket Pc
- Tablets



Figura N°5: Componentes periféricos.

4.4. Procedimientos.

Anteriormente definimos al software como una caja de comandos y recursos informáticos que deberán ser utilizados adecuadamente según el objetivo perseguido. Por tanto para optimizar procesos de captura, administración, despliegue de información geográfica, etc; deberán elaborarse procedimientos que combinen las facilidades de programación con los recursos de hardware para garantizar la automatización y eficiencia del sistema. Los procedimientos destinados a la captura, estarán orientados a auxiliar a los operadores de tableros o en operaciones de captura desde la pantalla, en la fase de digitalización facilitando el proceso, utilizando el cursor para el ingreso de ciertos códigos o bien el tablero mismo para operar especialmente. También es muy utilizada la bajada de datos crudos desde las antenas GPS o planillas de coordenadas.

En la fase de procesamiento, existen algunos comandos que constituyen en sí mismos verdaderos procedimientos, como por ejemplo aquellos destinados a construir y reconocer las entidades líneas y polígono, o los encargados de organizar tablas topológicas, o aquellos destinados a encontrar errores. Pero aún en estos casos, el resultado de su aplicación dependerá del manejo correcto de los parámetros requeridos para dichos comandos. Para el caso particular, de administrar información territorial vinculada con parcelas, deberán desarrollarse procedimientos que permitan asignar a cada polígono como entidad gráfica un identificador del usuario (Nomenclatura Catastral) a través del cual puedan establecerse las relaciones con la base de datos. Estos procedimientos son realizados en lenguaje de programación del sistema y requieren un dominio pleno de los recursos informáticos y de todos los parámetros que permitan su adecuada utilización.

Si se trata de información que será consultada dentro de una red, de servicios, será necesario seguir rigurosamente los procedimientos que permitan asignar a cada tramo de la red los parámetros que definen la resistividad o impedancia, asignar a cada nodo las posibilidades del flujo según los diferentes sentidos de continuidad. De igual modo, será necesario ajustar los procedimientos que permitan la localización de los usuarios de la red por medio de algún tipo de información, como por domicilios o códigos de cuentas, etc.

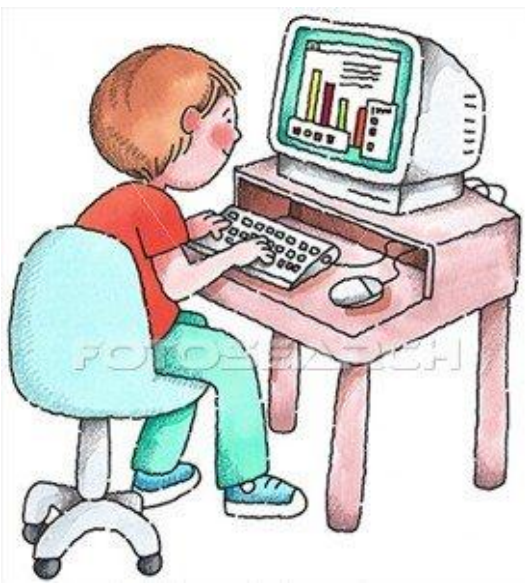


Figura N°6: Procedimientos SIG.

Para facilitar las consultas de la información ya procesada por el sistema, ha aparecido en los últimos años un producto informático conocido como SEG (Sistema de Exploración Geográfica), que permite el acceso a este tipo de información sin posibilidad de modificarla. Estos sistemas han simplificado los procedimientos de consulta, pero requieren de operadores entrenados para su operación.

Estos Sistemas de exploración están orientados a usuarios no expertos y constituyen una ventaja para realizar las más complejas consultas en los diversos niveles de un SIT, pudiendo seleccionar información con filtros lógicos construidos por algoritmos booleanos y produciendo salidas de alta calidad cartográfica, que pueden ser almacenadas como imágenes o reproducidas por medio de impresoras o plotters.

4.5. Recursos Humanos.

Si bien ha quedado para el final, el análisis de este componente como factor interviniente en el SIG, en realidad es un elemento fundamental para garantizar su éxito. Pensemos que podríamos contar con el software más completo, los equipos más eficientes y actualizados pero si no contamos con recursos humanos capaces de poner en marcha y administrar el SIG, todos estos esfuerzos e inversiones habrán sido en vano.

En la fase de diseño del sistema, resultará imprescindible contar con especialistas en tecnología SIG y en la actividad en que desea implementarse el Sistema. En las etapas de procesamiento y análisis de información, deben participar y colaborar técnicos y profesionales de formación multidisciplinaria, abarcando la mayoría de áreas posibles, para asegurar la calidad y óptima interpretación de los datos procesados.

En todo proyecto de implementación de SIG o SIT, será necesario pensar en una fase de capacitación de quienes tendrán a su cargo el manejo posterior del sistema y que generalmente no poseen todos los conocimientos necesarios para ejecutarlo. Debe tenerse también en cuenta, que el óptimo manejo del cualquier SIG requerirá un equipo multidisciplinario para su manejo y elaboración, como así también para armar la base de datos y luego para generar la información que se requiera o para la simulación de escenarios y su interpretación.

En tal sentido, existen empresas tanto nacionales o extranjeras que ofrecen diversos cursos y en particular algunas universidades nacionales, que están en condiciones de atender esta demanda respondiendo con la misma calidad.

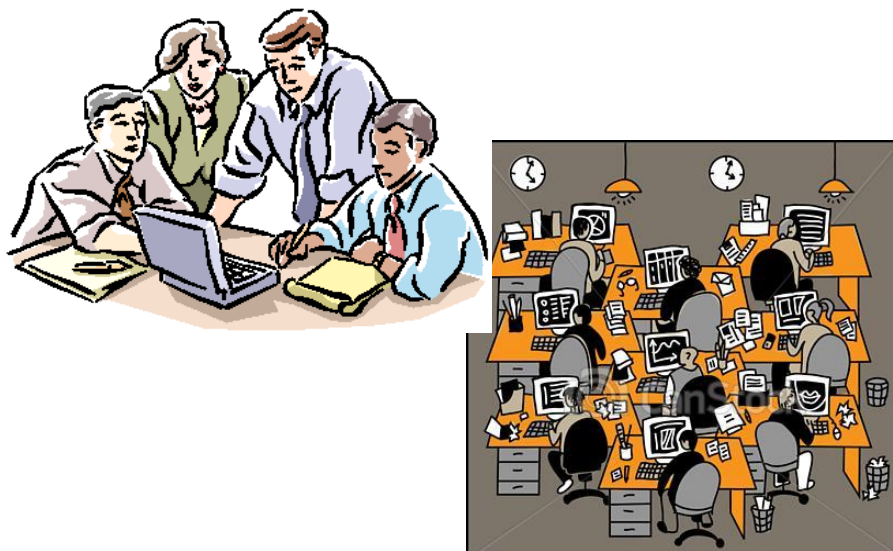


Figura N°7: Los recursos humanos formando un equipo multidisciplinario para el trabajo del SIG son fundamentales.

4.6. Tiempo.

La variabilidad y transcurso del tiempo pueden afectar significativamente la calidad de los datos que son parte de un SIG. Si el trascurso de tiempo, es muy prolongado entre la toma de los datos y el armado del SIG o SIT, estos perderán calidad y validez debido a la gran variación con la que actualmente se presentan los cambios en el territorio.

El tiempo también influye en el tipo de hardware y software con lo que se va a armar el SIG, ya que estos desarrollos se producen a pasos agigantados en cortos transcurros de tiempo de calendario.

En el caso particular de estudios cronológicos, si será necesario obtener datos históricos que presenten la variabilidad cronológica de determinados fenómenos o hechos territoriales en un determinado transcurso de tiempo. Esto también, puede ser necesario en el caso de estudios para la prevención de desastres naturales, debido a que muchos de estos tienen una frecuencia cíclica de suceso.



Figura N°8: El transcurso de tiempo prolongado se refleja también en la toma de malas decisiones.

4.7. Decisión Política.

Los cambios territoriales, tanto en ambientes rurales como urbanos, suceden en muy cortos períodos de tiempo debido a los cambios constantes en los usos del suelo y a la rápida expansión del hombre en busca de satisfacer sus necesidades. En este sentido la planificación territorial, por parte del Estado, debería anticiparse a los efectos negativos que estos cambios puedan llegar a generar. Por esta razón tener una base de datos actualizada, sobre los datos territoriales presentes en la realidad es fundamental. Estos datos, no solo deben ser actuales en un tiempo cronológico, sino que además deben ser datos tomados sean de calidad. Esto permite, en las reparticiones del Estado, cualquiera sea su ámbito de competencia, tomar decisiones acertadas y oportunas en los tiempos concretos, a partir de la información que le proporcionan los SIG o SIT.

Otro punto importante, en cuanto a la planificación del territorio, sería que los SIG o SIT que manipula el Estado deberían estar en correlación, para que además todas las reparticiones que intervienen en la planificación, sobre todo del territorio y obra pública, cuenten con la misma calidad de información. A su vez esta información debe ser accesible, para todos los niveles del estado y para el público en general, tal cual se propone el *Decreto Nacional N°1172/2013*, el cual plantea el acceso libre a la información estatal.



Figura N°9: La toma de decisiones políticas acertadas y a tiempo influye en la calidad de vida de toda la población.

4.8. Consideraciones acerca del Software.

La decisión de cuál será el software más apropiado para administrar el SIG, será tomada en virtud de que los objetivos que se deseen, también dependerá de si se desean desarrollar programas de aplicación o simplemente se decide utilizar programas realizados por otros. Esta actitud define a un programador o a un usuario y paralelamente al software de esta manera podemos soft en:

- Sistemas Operativos
- Lenguajes de Programación
- Programas de Aplicación

Sistemas Operativos: Es un soft básico que está presente al iniciar la máquina y es el que permite el manejo del hardware de toda la computadora, como así también de las relaciones entre el los programas de aplicación y los distintos componente hardware. Existen diversos sistemas operativos, más o menos complejos según el hardware que sean capaces de administrar. Entre los más populares y más utilizados podemos nombrar a DOS, WINDOWS, UNIX, LINUX, UBUNTU, GNU/Linux GNU/Hurd GNU/Darwin, etc.

Lenguajes de Programación: Algunas veces el diseño óptimo de un SIG, necesita de la ayuda de nuevas aplicaciones de soft, esto implica el desarrollo de programación específica para que el SIG cumpla óptimamente con todos sus objetivos. En la primera etapa de programación tendremos que seleccionar un lenguaje y aprender a programar, al proceso de elaborar la lista de instrucciones que llevara a cabo el programa se la denomina “*programación*”. Escribir un programa es similar a escribir las reglas de un juego, las cuales deberán ser escritas en un lenguaje que puedan comprender tanto el ordenador como el programador. Este lenguaje específico se denomina “*lenguaje de programación*” y es la interfase de comunicación entre el programador y la máquina, este tipo de lenguajes tienen reglas muy precisas, podríamos decir que se tratan de instrucciones específicas, las cuales luego permitirán que el programa cumpla con los objetivos buscados.

Programas de Aplicación: Una de las claves del éxito de la computación es que los fabricantes de software lograron desarrollar programas de gran utilidad dirigidos a satisfacer las necesidades de muchos usuarios en las más diversas áreas. Estos programas abarcan grandes actividades de aplicación en general. Estos programas pueden ser agrupados de la siguiente manera:

- a) **Procesadores de Texto:** Estos permiten teclear, modificar, grabar e imprimir en algún medio de salida (impresoras). Con este tipo de procesadores se facilitó la revisión por escrito y aceleró y optimizó la escritura de todo tipo de trabajos.
- b) **Planillas de Cálculo:** Estas permitieron resolver cualquier tipo de cálculo de una manera sencilla, desde los más simples a los más complejos; con la ventaja que gracias a su programación pueden resolver diversos tipos de problemas matemáticos de las más diversas áreas. Su principio de funcionamiento consiste en una planilla formada por celdas que tienen una posición única de filas y columnas. Cada una de estas celdas, se utiliza para introducir datos y obtener resultados. La ventaja que ofrecen, es que si se cambia algún dato automáticamente cambian todos los resultados dependientes de este.
- c) **Programas de manejo de Bases de Datos:** Una Base de Datos es un conjunto de información almacenada en memoria auxiliar, que permite acceso directo a un conjunto de programas que manipulan esos datos, que es un conjunto exhaustivo no redundante de datos estructurados, organizados independientemente de su utilización y su implementación accesibles en tiempo real y compatibles con usuarios concurrentes con necesidad de información diferente y no predicable en tiempo. Actualmente, presenta muchas ventajas manejar este tipo de programas debido a la independencia de datos y su tratamiento. Además el cambio en los datos no implica un cambio en programas y en la

base manteniéndose la coherencia de resultados. Gracias a su seguro ambiente de trabajo y fácil acceso se han convertido en poderosas herramientas de gestión y almacenamiento.

d) Programas de Aplicaciones Graficas: Estos permiten, elaborar diversos gráficos en el monitor, corregirlos y luego pueden ser impresos mediante impresoras comunes o plotters. Estos programas, facilitaron increíblemente el dibujo pudiendo además representar datos gráficamente, como máxima expresión están los programas de diseño asistido llamados CAD. Estos son especialmente útiles para trabajos de ingeniería, agrimensura, arquitectura, etc. Estos programas poseen un grupo de entidades que se utilizan para construir los dibujos y además permiten otras opciones como escribir textos, rotar, escalar, etc. Este tipo de programas ha revolucionados los ambientes cartográficos y de dibujo ya que permiten construir modelos digitales en 3D y dibujar curvas de nivel.

4.9. Consideraciones acerca del Hardware.

Actualmente la informática presenta un período de cambios muy dinámicos y consecuentemente un incremento en las formas o maneras en que los fabricantes presentan o distribuyen los diversos tipos de hard entre los usuarios. Al día de hoy, hay cuatro formas principales de presentación de hard, están las Main-Frame, las Minicomputadoras, las computadoras personales (PC) y las redes de computadoras locales o LAN (Local Area Network), cada una con sus ventajas y desventajas.

El tratamiento de la información geográfica requiere que la unidad central de proceso (CPU) tenga una alta respuesta en tiempo y confiabilidad, es necesario disponer también de importantes espacios de memoria RAM y discos rígidos de suficiente capacidad de almacenamiento por lo grandes volúmenes de datos que implican el uso de este tipo de datos y la información que se genera de ellos. Como forma de asegurar el respaldo de la información es aconsejable preservar los datos en DVD, Cd, Discos Duros portátiles y pendrives. Es importante tomar las consideraciones necesarias cuando el sistema trabaja en red, la elección del servidor adecuado y del sistema operativo multiusuario y multitarea.

Por último, teniendo en cuenta que la expresión final del SIG son generalmente los mapas temáticos y otro tipo de salidas, las cuales son necesarias de ser observadas en pantalla, antes de generar una salida en papel, su aspecto en la pantalla es de especial interés. Los monitores son el recurso para la presentación de la información digital, con lo cual se requerirá que posean gráficos de alta resolución y plaquetas especiales para la observación y análisis de la información digital.

En cuanto a la producción final de la cartografía generada por el SIG, actualmente sigue siendo óptima la opción de los plotters de inyección a tinta, aunque actualmente también está muy de moda el uso de impresoras laser, en sus versiones negra o color.

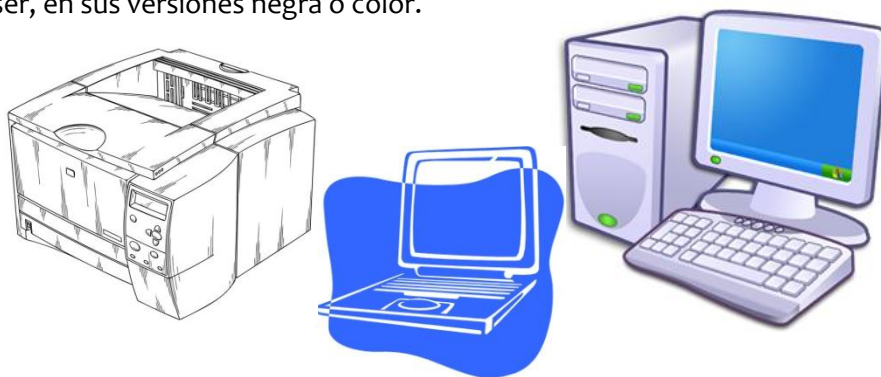


Figura N°10: Hardware.

5. Software SIG.

Este tipo de programas, han revolucionado los ambientes en los cuales se realizan tareas multidisciplinarias, ya que son capaces de envolver no solo el campo de la geografía y cartografía si no también la ingeniería, arquitectura y las ramas sociales. Estos Software, tienen dos aspectos importantes, uno el manejo grafico de la información que permite ubicar geoespacialmente los datos y el otro la base de datos asociada para el manejo alfanumérico o literal de los datos almacenados. Básicamente un soft SIG, funciona como una base de datos que contiene la información geográfica (datos alfanuméricos), pero a su vez es capaz de asociar estos datos mediante un identificador común a los objetos gráficos que es capaz de representar de manera digital. De esta forma los objetos, representados digitalmente en el soft, pueden relacionarse con determinados atributos que los describen dentro de su realidad territorial. Siendo a la vez posible la relación inversa, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía en un determinado sistema de coordenadas.

Las principales relaciones, que puede resolver un software SIG, están ordenadas de menor a mayor complejidad, y estas son:

- Localización: características de un lugar en concreto.
- Condición: cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- Tendencia: comparación entre situaciones temporales o espaciales
- Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Pautas: detección de pautas espaciales.
- Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o situaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, su campo de aplicación es muy amplio, pudiendo utilizarse en un sinnúmero de actividades desde científicas hasta de prevención. La profunda revolución tecnológica de estos últimos tiempos, los ha visto muy beneficiados y potenciados, sufriendo los soft GIS una gran evolución, marcada por una tendencia cada vez más fuerte del uso de soft libre. Estos nuevos soft de desarrollo libre, son de gran aceptación por los usuarios de estas tecnologías, debido no solo al alto costo monetario de otro tipo de programas sino también a grandes beneficios en el tema de la gestión de la información que estos nuevos programas como QGIS, Kosmo y otros han introducido.

Un software SIG, normalmente está formado por subsistemas, los cuales podríamos decir que son:

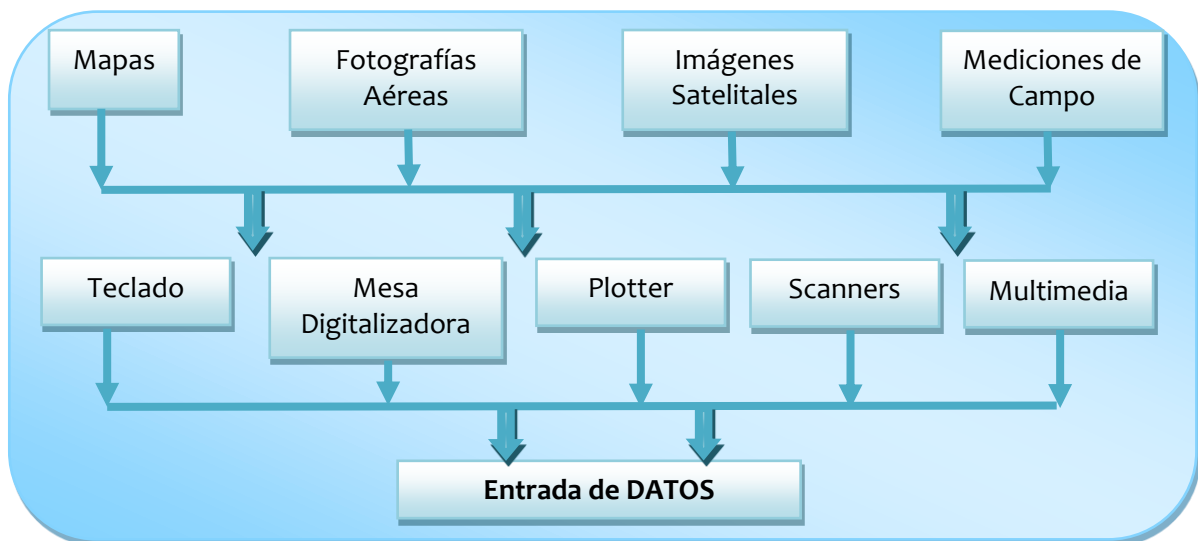
- a) **Subsistema de Captura de Datos:** Es un grupo de programas, que permiten alimentar las memorias de los datos geográficos y sus atributos. Permiten también, la digitalización de esos datos presentes en diversas formas, como planos, fotografías, imágenes satelitales. Y también, posibilitan la entrada de datos alfanuméricos, ya sea en forma individual o en forma de listados, tablas, y/o otros sistemas informáticos. Gracias a este sistema el trabajo, interactivo entre el hombre y la maquina, funciona eficientemente en cuanto a la validación, control y corrección de los datos. Debe posibilitar también, la manera más eficiente de actualización de los mismos y es el encargado de organizar todos los datos geográficos y sus registros asociados.
- b) **Subsistema Principal:** Este conjunto de programas, permite manejar y realizar un conjunto de informes sobre los datos geográficos ya existentes y sus atributos correlacionados. Es el que posibilita realizar análisis espaciales de los datos almacenados, como análisis de superposición, de corredores, geoprosesos, geoestadísticas, georreferenciación vectorial y raster, transformaciones de sistemas de coordenadas, conversiones entre sistemas de proyección cartográfica polígonos de Voronoi o Thiessen, Triángulos de Delaunay, análisis de redes de servicios, de tiempo/distancia, etc.

c) **Subsistema de Información:** Es el que permite obtener la información almacenada y elaborada de distintas maneras, en forma individual (por entidad) o en forma conjunta (grupo de entidades), en tiempo real y fuera de líneas, ya sea en forma grafica o alfanumérica. Debe ser un sistema dinámico, que permita el registro y la detección de los cambios a medida que ocurren. Requiere del registro y la presentación en forma adecuada del terreno y la información adecuada y de la continua actualización de la información.

d) **Subsistema de Recuperación de la Información.**

e) **Subsistemas Auxiliares:** Podemos decir también, que un software GIS tiene dos aspectos primordiales, uno el manejo gráfico de los datos y el otro la base de datos para el manejo alfanumérico o literal de los atributos. Podemos desmembrarlo en cinco acciones principales:

e.1) **Entrada de Datos y verificación:** cubre todos los aspectos de captura de los datos espaciales, en sus modalidades directas e indirectas, como lo son la captura de mapas ya existentes, observaciones de campo y sensores remotos, etc. Y su conversión a formatos digitales estándar.



Esquema N°2: Formas de Entrada de datos al SIG.

e.2.) **Almacenamiento y Administración de la Base de Datos:** esto hace referencia, a la forma en que la ubicación, tipología, y atributos e los datos, serán estructurados, organizados y manipulados por el usuario. Los programas usados para organizar bases de datos son conocidos como Sistema Administrador de Bases de Datos. Algunos software actuales presentan la posibilidad de plantear un nuevo modelo de administración de datos, como ArcGis que posee la posibilidad de generación de una Geodatabase personal, File Geodatabase o corporativas.

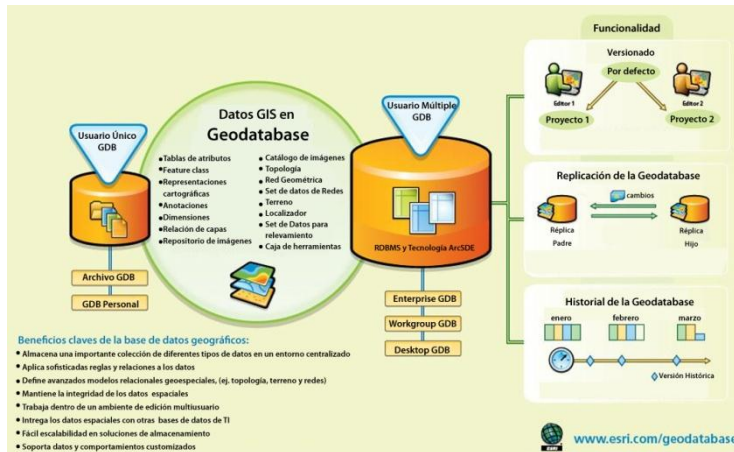
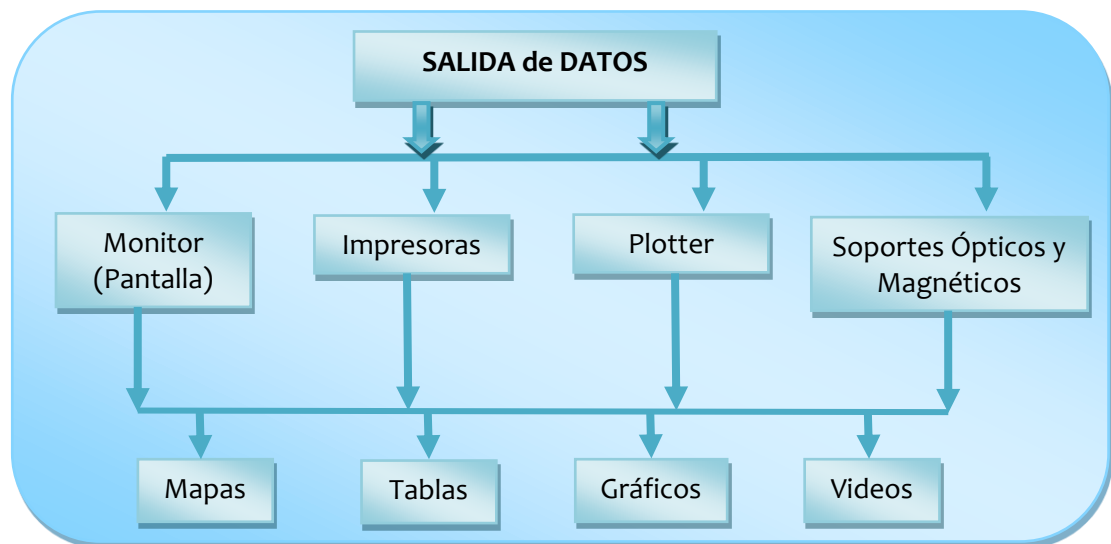


Figura N°11: La geodatabase es una colección de datasets de diversos tipos que se utiliza en ArcGIS y se administra en una carpeta de archivos o una base de datos relacional. Es la fuente de datos nativa para ArcGIS y se utiliza para la edición y automatización de datos en ArcGIS.

e.3) Salida de Datos y su Representación: se refiere a los caminos que son utilizados para mostrar los datos y como los resultados de los distintos análisis son expresados. Los datos pueden ser representados como mapas, tablas, gráficas, modelos numéricos etc, a través de una variedad de periféricos que pueden ser el monitor, copias en papel mediante impresoras o plotter, en soportes ópticos o magnéticos, o almacenarlos en la nube o en un servidor local o remoto.



Esquema N°3: Formas de salida de los datos en el SIG.

e.4) Transformación de los Datos: Abarca dos clases de operaciones, primero el Mantenimiento y Actualización, que incluye las transformaciones necesarias aplicadas a las diversas tareas realizadas, incluyendo también la eliminación de errores (edición) de tipo topológico asociadas a los datos, también el ensamble de los datos geográficos con nuevos datos. La segunda, es la Utilización y Análisis, hay muchas posibilidades en métodos de análisis que pueden ser aplicadas a los datos con el fin de responder a las diversas consultas que puede hacerse a un SIG. Las transformaciones pueden operar en los diversos aspectos, espacial, topológico y no espacial, con los datos en forma conjunta o separada. Muchas de estas transformaciones, como cambio de escala, ajuste de datos, proyección de los datos, recuperación de datos, calculo de áreas y distancias, etc, son de aplicabilidad y uso común. Otro tipo de manejos, pueden ser de aplicación específica y sus incorporaciones cumplir objetivos específicos.

e.5.) Interacción con el usuario: Los requerimientos de los diversos usuarios para recuperar y transformar los datos son ilimitados, por ello la mayoría de los sistemas dan una variedad

de interfaces con las que el usuario puede interactuar con el sistema según los objetivos que busca cumplir y en función del uso que persigue en ese determinado ámbito el SIG. Desde los comandos más simples del menú que pueden proveer una funcionalidad compleja a las operaciones más complejas que pueden requerir otro tipo de extensiones y programas, todos ellos son necesarios para cumplir las necesidades del usuario del SIG.

Los últimos desarrollos, para el modelado de simulación de los SIG son capaces de brindar al usuario un lenguaje de alto nivel, el cual es capaz de describir el modelo de manera muy eficiente. Esta interacción Usuario-SIG para el ingreso, consulta de datos y descripción de modelos para el análisis de datos es un aspecto en el cual han evolucionado eficientemente en los últimos tiempos.

El avance tecnológico, a través de notebooks, mouse, tabletas digitales, etc. y otros dispositivos ha hecho aún más fácil esta tarea, siendo hasta el día el tipeo esencial para realizar la mayoría de las operaciones. Actualmente están en pleno desarrollo los comandos por voz y multimedia.



Figura N°12: Software de aplicación SIG.

6. Adquisición de los Datos.

Los datos que serán ingresados a un SIG provienen básicamente de dos tipos de fuentes, una *gráfica* que permite la locación espacial de las entidades que se administrarán en el Sistema y otra *alfanumérica* que asigna atributos o cualidades a dichas entidades.

La captura de datos gráficos, proviene de procedimientos que los podemos dividir en *Directos* e *Indirectos*. Esta clasificación, se ajusta a la forma de capturar los datos gráficos, si las coordenadas se miden in-situ el método será directo, o si las coordenadas se toman por otra clase de metodología será un método indirecto.



Esquema N°4: Métodos de entrada de datos.

Actualmente, contamos con tableros digitales en varios formatos y resoluciones y precisiones que asistidos por programas adecuados permiten ingresar a la memoria del computador coordenadas u otros datos geográficos contenidos en los mapas. De este modo, podremos observar en el monitor la reconstrucción digital de un determinado mapa o carta, actualmente los distintos programas e instrumentos permiten la captura de datos de manera libre, o modelo spaguetti, de modo que no es necesario que el usuario los deba identificar con códigos o etiquetas, dejando esa tarea (topología) al software.

Otro recurso, para ingresar información cartográfica en un SIG, lo constituyen los scanners, que combinados con el soft de vectorización logran buenas precisiones y tiene como ventaja un menor tiempo utilizado en la captura de los datos, pero presentan la desventaja en el momento de la edición de los datos debido a la gran cantidad de información que se adquiere. Cuando los datos gráficos, deben ser obtenidos a través de procesos fotogramétricos, pueden integrarse al SIG mediante modernos soft que realizan los modelos restituidos íntegramente de manera digital. Estos trabajan con pares fotogramétricos obtenidos por modernas cámaras digitales fotogramétricas o mediante pares escaneados o desde imágenes satelitales en estéreo.

6.1. El Dato Geográfico o Espacial.

El dato geográfico o espacial, es un dato que representa a un objeto que tiene dimensiones físicas, es decir que ocupa un determinado lugar en el espacio. Por lo tanto puede ser representado en la superficie terrestre en una posición biunívocamente determinada por sus coordenadas, ya sea referenciado en un sistema local o uno geocéntrico.

Los datos espaciales, por lo tanto son todos los accidentes topográficos naturales o artificiales, u otros hechos que se encuentran en la realidad territorial como por ejemplo zonificaciones, parcelario catastral, etc. Se denominan como entidades espaciales, de las cuales no solo nos interesan su ubicación, sino también una descripción o cualidad que los represente. Básicamente los datos geográficos están constituidos por dos componentes:

- **Espacial o Geométrica:** es la que representara al dato en superficie. Mediante una entidad gráfica que pueden ser puntos, líneas o polígonos.
- **Temática o Atributo:** Es la componente asociada a la base de datos, que describirá las cualidades de las entidades espaciales.

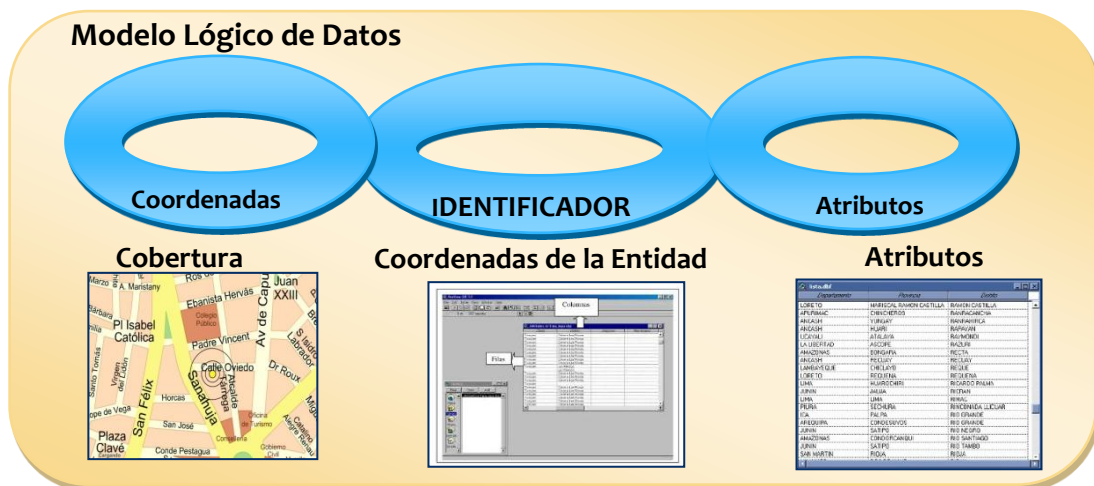
6.2. Componente Espacial o Geométrica.

La representación de la componente espacial, podrá ser lograda a través de los modelos de almacenamiento de datos en un SIG. Hablamos de modelo Vectorial y Raster respectivamente. Es la componente encargada de la representación y ubicación inequívoca del dato en una determinada realidad territorial. Según, el modelo de almacenamiento de datos estaremos hablando de Entidades Geométricas; puntos, líneas o polígonos; o de niveles de información contenidos en el pixel.

6.3. Componente Temática.

Una vez, que es seleccionada la información grafica que será utilizada en la base de datos del sistema SIG. y sobre las posibilidades de manejo de la base de datos propiamente dicha, será posible asociar cualidades o atributos a las entidades geográficas. Esta relación, se asocia a través de tablas, las cuales contienen a través de campos, información descriptiva de estas entidades. Esta relación es la clave de la filosofía del SIG.

La información temática que maneja el SIG, generalmente se introduce a través de un administrador de base de datos, que reconoce la estructura de los archivos utilizados por el SIG. Es muy popular el uso de archivos dbf, los cuales son administrados por Excel, Acces, Foxpro, DBase, etc.



Esquema N°5: Modelo Lógico de datos.

6.4. La captura de los datos.

La captura de datos y la introducción de información en el sistema, insumen la mayor parte del tiempo de los profesionales de los SIG. Hay una amplia variedad de métodos utilizados para introducir datos en un SIG almacenados en un formato digital. Los datos impresos, en papel o mapas pueden ser digitalizados o escaneados para producir datos digitales. Con la digitalización de cartografía en soporte analógico, se producen datos vectoriales. Este trabajo, puede ser desarrollado por una persona de forma manual o a través de programas que automatizan la labor sobre un mapa escaneado. No obstante, en este último caso siempre será necesario su revisión y edición manual, dependiendo del nivel de calidad que se desea obtener.

Los datos obtenidos de mediciones topográficas, pueden ser introducidos directamente en un SIG a través de instrumentos de captura de datos digitales. Además, las coordenadas de posición tomadas a través de GPS, también pueden ser introducidas directamente en un SIG. Los sensores remotos, también juegan un papel importante en la recolección de datos. Sensores, como cámaras, escáneres LIDAR, radar, VAN, etc, acoplados a plataformas móviles como aviones o satélites. También, muchos datos digitales provienen de la interpretación de fotografías aéreas. Para ello, se utilizan estaciones de trabajo que digitalizan directamente elementos geográficos a través de pares estereoscópicos. Estos sistemas permiten capturar datos en dos y tres dimensiones, con elevaciones medidas directamente de un par estereoscópico de acuerdo a los principios de la fotogrametría.

La teledetección, proporciona otra fuente importante de datos espaciales, en este caso los satélites utilizan diferentes sensores para medir la reflectancia de las partes del espectro electromagnético de una fuente de emisora como el sol, o las ondas de radio que se envían a partir de un sensor activo como el radar. Recopilando datos raster que pueden ser procesados usando diferentes bandas para determinar las clases y objetos de interés, tales como las diferentes cubiertas de la tierra. Cuando se capturan los datos, el usuario debe considerar el instrumental con el que estos deben ser tomados. Esta decisión es importante ya que no solo influye en la interpretación de la información, sino también en el costo de su captura.

Además, de la captura y entrada de datos espaciales, los datos de atributos también son introducidos en un SIG. Tras introducir los datos en un SIG, estos normalmente requerirán de una edición o procesamiento posterior para eliminar errores. Se deberá de hacer una "*corrección o validación topológica*" antes de que puedan ser utilizados en algunos análisis avanzados, por ejemplo en una red de carreteras las líneas deberán estar conectadas con nodos en las intersecciones, si los arcos son coplanares. En el caso de mapas escaneados, quizás sea necesario eliminar la trama resultante generada por el proceso de digitalización del mapa original. Así, por ejemplo, una mancha de suciedad podría unir dos líneas que no deberían estar conectadas.

Los SIG, pueden llevar a cabo una reestructuración de los datos para transformarlos en diferentes formatos. Por ejemplo, es posible convertir una imagen de satélite a un mapa de elementos vectoriales mediante la generación de líneas, en torno a celdas con una misma clasificación determinando la relación espacial de estas, tales como proximidad o inclusión. La vectorización no asistida de imágenes raster mediante algoritmos avanzados es una técnica que se viene desarrollando desde finales de los años 60, para ello se recurre a la mejora del contraste, imágenes en falso color, el uso de filtros, etc.

Al proceso inverso de conversión de datos, vectorial a una estructura de datos basada en una matriz raster se le denomina rasterización. Dado que los datos digitales se recogen y se almacenan en ambas formas, vectorial y raster, un SIG debe ser capaz de convertir los datos geográficos de una estructura de almacenamiento a otra.

7. Modelo Vectorial de Representación de Datos.

El modelo de datos vectorial, representa la realidad territorial de la superficie terrestre como una serie de unidades de polígonos líneas y puntos, definidos geográficamente en el espacio y representados por sus coordenadas. La componente espacial de un dato geográfico en un modelo vectorial estará constituida por:

- **La Forma:** Representación gráfica del objeto.
- **La Posición:** Localización en un sistema e coordenadas.
- **Las Relaciones Topológicas:** Asignación de un código, que permite la identificación del objeto para la asociación de cualidades y atributos.
- **El Geocódigo:** tiene por función relacionar la tabla topológica asociada con atributos en tablas externas.

7.1. Formas de la Entidad.

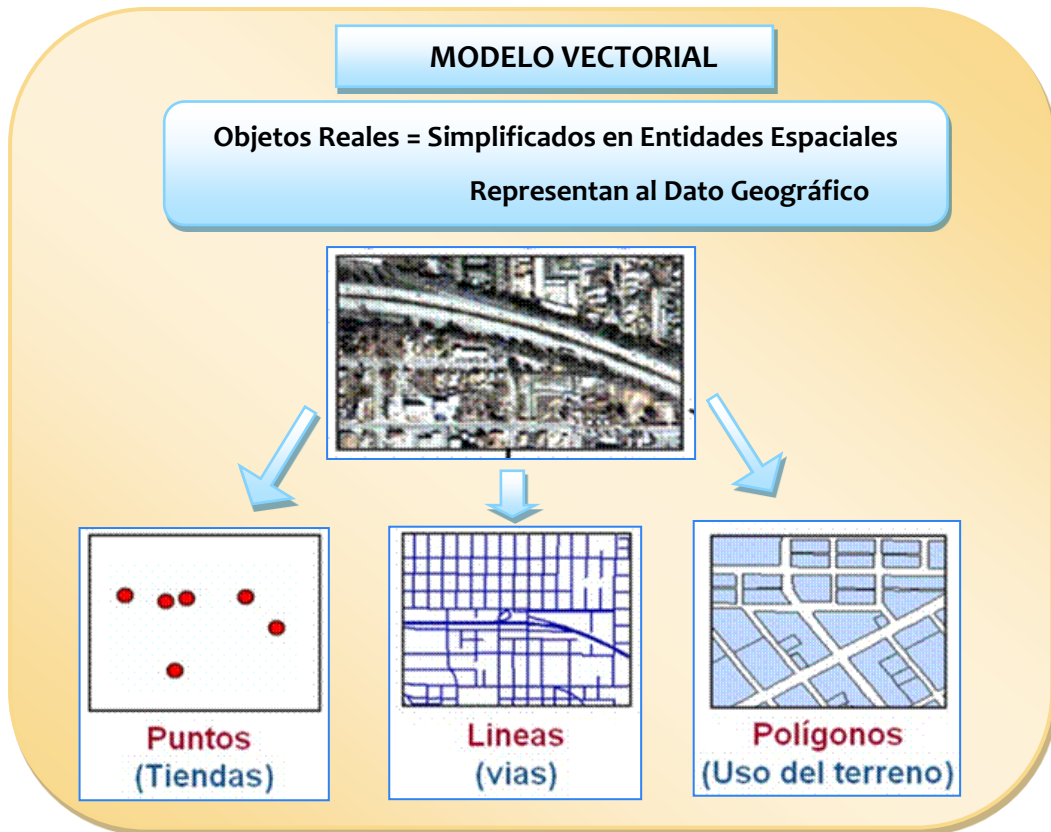
Los SIG, son capaces de modelar la realidad territorial montando un escenario virtual del área de estudio. La forma de simular esa realidad es utilizando tres entidades graficas, Estas son el *punto*, la *líneas* y los *polígonos*.

Estas entidades, son representaciones estáticas de los fenómenos de la superficie terrestre en función de sus coordenadas XY. Una entidad de punto, implica que las extensiones geográficas del objeto están limitadas a una ubicación que puede ser especificado por un grupo de Coordenadas XY en el nivel de resolución de la abstracción. Una ciudad, puede representarse mediante una entidad de puntos a un nivel de resolución muy pequeño pero podrá representarse como entidad de polígono a un nivel de región mayor, dependiendo de la escala de trabajo. El aumento del nivel de resolución, revela la estructura interna en el fenómeno, por ejemplo; en el caso de una ciudad, suburbios, calles, casas, postes de luz, etc.

Una entidad línea implica que las extensiones geográficas del objeto se pueden representar mediante grupos de pares de coordenadas XY, los cuales definen una trayectoria conectada a través del espacio, pero que no posee un ancho verdadero a menos que se especifique en términos de atributos. Un camino se representa con una línea, pero a nivel de calle se vuelve un área de pavimento por lo cual su representación lineal no es real. Otro ejemplo sería, un cable de teléfono que también puede representarse mediante la entidad de línea en un SIG.

La definición más simple de un polígono, implica que es una representación homogénea de un espacio de dos dimensiones en la superficie terrestre. Esto también depende del nivel de resolución. El polígono se puede representar en términos de coordenadas XY de los vértices que componen la forma del polígono cerrado con la condición que la coordenada del primer punto coincida con la del último. Los polígonos pueden contener huecos, estos poseen vecinos directos y diferente polígonos con las mismas características pueden ocurrir en distintas posiciones.

Si el límite puede ser claramente identificado, podrá ser especificado en términos de una lista de coordenadas XY. El tamaño del grupo de coordenadas depende del nivel de resolución espacial que se utilice.



Esquema N°6: Componentes del Modelo Vectorial.

7.2. Posición o Localización.

La posición que ocupa una entidad en el espacio, está definida por las coordenadas de los vértices de la figura que lo representa, en un sistema de coordenada definido. Este sistema de coordenadas, puede ser el mismo desde donde se digitaliza la información gráfica o bien un sistema de coordenadas reales del terreno. En todos los casos, será absolutamente necesario que todas las entidades estén referidas al mismo sistema.

Cuando las entidades graficas, deben ser tratadas en coordenadas geocéntricas es posible capturarlas primero en un sistema local, como el del tablero y levantar simultáneamente al menos 2 puntos, para así poder plantear un sistema de ecuaciones que permita resolver la rototraslación de los sistemas y la obtención así de las coordenadas en el nuevo sistema; sin embargo en la práctica se utiliza tomar al menos 4 puntos en el sistema de partida para poder plantear un sistema superabundante. Luego se produce la transformación de coordenadas de un sistema a otro y su ajuste, tarea relativamente sencilla que generalmente está incluida en los soft de procesamiento SIG.

Esta tarea se denomina *Georeferenciación* y permite realizar mediciones reales tanto de distancias como áreas en los mapas digitales resultantes, independientemente de la escala a la que se lo esté observando.

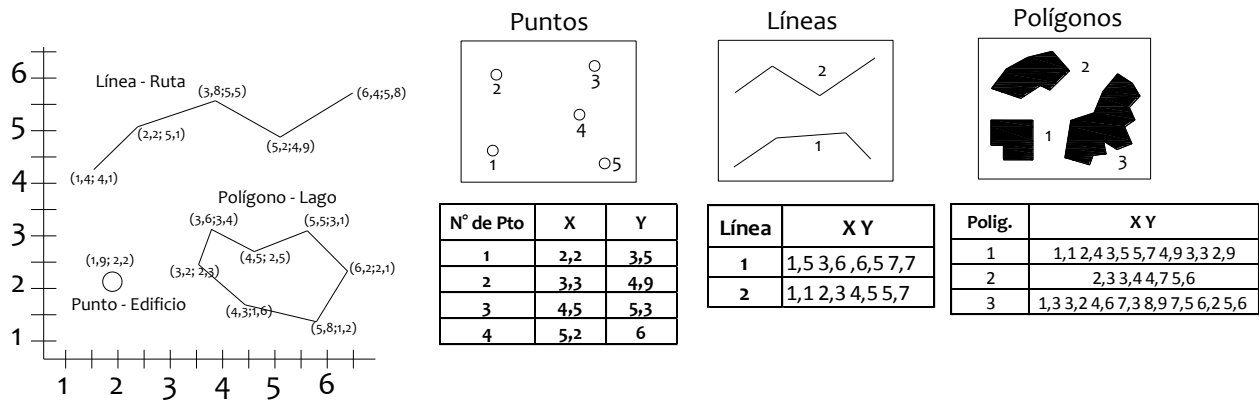


Figura N°13: Representación de puntos, líneas y polígonos.

7.3. Relaciones Topológicas.

Topología, es la rama de las matemáticas dedicada al estudio de aquellas propiedades de los cuerpos geométricos que permanecen inalteradas por transformaciones continuas. Es una disciplina que estudia las propiedades de los espacios topológicos y las funciones continuas. Se interesa por conceptos como *proximidad*, *número de agujeros*, tipo de *consistencia* (o *textura*) que presenta un objeto, comparar objetos y clasificarlos, entre otros múltiples atributos, donde se destacan conectividad, compacidad, metricidad, etc. Particularmente se presenta a la Topología como la "*Geometría de la página de goma (chicle)*". Esto hace referencia a que, en la Geometría euclídea dos objetos serán equivalentes si podemos transformar uno en otro mediante isometrías (rotaciones, traslaciones, reflexiones, etc). Es decir mediante transformaciones que conservan las medidas de ángulos, longitudes, áreas, volúmenes y otras.

Para la topología, dos objetos son equivalentes en un sentido mucho más amplio. Han de tener el mismo número de trozos, huecos, intersecciones, etc. En topología, está permitido doblar, estirar, encoger, retorcer, etc, los objetos, siempre que se haga sin romper ni separar lo que estaba unido, ni pegar lo que estaba separado. Por ejemplo, un triángulo es topológicamente lo mismo que una circunferencia, ya que podemos transformar uno en otra de forma continua, sin romper ni pegar. Pero una circunferencia no es lo mismo que un segmento, ya que habría que partirla (o pegarla) por algún punto. Ésta es la razón por la que se la llama "*Geometría de la página de goma*", porque es como si estuviéramos estudiando Geometría sobre un papel de goma que pudiera contraerse, estirarse, etc.

La primera definición de topología y su concepto general, fueron dados por Leibniz (1646-1716). En topología también se estudian aquellos espacios en los que se tiene una noción de vecindad para cada uno de sus puntos, estos son los llamados espacios topológicos y las funciones entre ellos respetan las funciones de cercanía, también llamadas funciones continuas. Es también denominada como "*geometría de la posición*". El concepto de espacio topológico, fue definido posteriormente por el matemático Riemman (1822-1866) quien definió los conceptos de punto interior, punto frontera, punto acumulación, etc. En 1906 Fréchet (1878-1973) define los espacios métricos y luego en 1913 Weyl sugiere el uso de vecindades para definir espacios topológicos. Finalmente en 1914 Hausdorff (1868-1942) definió las propiedades adecuadas que deben satisfacer las vecindades. La topología es una de las partes más extensas de las matemáticas, y se ha ido subdividiendo en varias ramas, estas ramas son las siguientes:

- Topología de Conjuntos
- Topología Algebraica y Diferencial
- Topología Categórica
- Topología Geométrica y Combinatoria
- Teoría de nudos

El concepto de topología data del siglo XVII, cuando se iniciaron los primeros “*Analisis Situs*”, o estudios del espacio, con los que se buscaba efectuar análisis de los objetos espaciales representados por las figuras geométricas de un mapa y sus influencias en el entorno en que se encuentran. Al efectuar estos estudios, se tenían en cuenta principalmente las propiedades geométricas de los objetos sin coordenadas pues lo importante era el objeto y sus vecinos, de esta manera si se cambian o rotan las coordenadas, la ubicación relativa se mantiene por esto se dice que es “*libre de coordenadas*”. La geometría, se ocupa de propiedades como la posición o distancia absoluta y de las rectas paralelas mientras que la topología solo se ocupa de propiedades como la posición relativa y la forma general.

En tiempos modernos, la topología deja de ser una herramienta para análisis geométrico ya que los objetos geográficos no son solamente una figura geométrica, sino que su forma y todo lo que contienen tanto en el perímetro como en su interior, interactúan con los objetos vecinos. Lo anterior conforma la base de los Análisis Espaciales, los cuales conforman el corazón del funcionamiento del SIG.

El paso de manejar figuras geométricas a manejar objetos geográficos, en los que se deben hacer uniones, intersecciones y sustracciones de objetos con sus atributos, se resolvieron dándole primordial importancia a la vertiente algebraica de la topología, que trata de la manipulación algebraica de los símbolos que representan una configuración geométrica y sus relaciones. De esta manera se pueden llevar a cabo análisis espaciales de diversa índole, esta es la que se utiliza primordialmente en los SIG.

El propósito principal, del uso de la topología de los SIG, es ampliar la capacidad de análisis espacial de datos estructurados topológicamente, que son una representación de un objeto de la naturaleza que no se puede ver simplemente como una figura geométrica, sino como un conjunto de información gráfica y alfanumérica. La topología posibilita la reducción de almacenar datos redundantes principalmente cuando se trabaja con polígonos que comparten arcos, los cuales se almacenan una sola vez.

Es el modelo topológico, el que posibilita que los objetos representados en el sistema conserven no solo su posición absoluta, determinada por las coordenadas, sino también su ubicación relativa dentro de un contexto geográfico en relación con sus vecinos. Con lo cual se mantienen las relaciones espaciales entre los objetos este es un aspecto de vital importancia en muchas actividades que usan el recurso tierra.

Por ejemplo, cuando se están manipulando las vías de comunicación de una ciudad, no solo importa su posición absoluta, lo más relevante es la conexión existente entre los tramos que forman la red vial de la ciudad, o sea la conectividad entre arcos en el sistema. Por ello de la misma manera cuando se analiza proyectos planificados entorno al parcelario catastral se necesita tener en cuenta la influencia que esto tendrá en los predios vecinos o en toda su vecindad, porque se están manejando objetos geográficos. Los SIG en su gran mayoría almacenan en la base de datos tres tipos de relaciones topológicas, una vez que los datos son estructurados:

- Adyacencia o Contigüidad
- Conectividad
- Pertenencia o Definición de área

7.3.1. Adyacencia o Contigüidad.

Dos entidades geográficas, que comparten un lado en común son llamadas adyacentes. La contigüidad es el concepto topológico que le permite al modelo de datos vectoriales determinar la adyacencia. Debido a que todo arco tiene una dirección (Nodo desde- Nodo hasta) el almacenamiento topológico de los datos gráficos mantiene una lista de polígonos a la izquierda y a la derecha de cada arco. Así los polígonos que comparten un arco en común son adyacentes. En la siguiente figura el polígono 2 está a la izquierda del arco 6 y el polígono 5 está a la derecha. De este modo sabremos a través del sistema, que el polígono 2 y 5 son adyacentes. Esto garantiza que los objetos mantengan la posición a un lado u otro de un objeto lineal, como los predios que se encuentran a lado y lado de un río, o una vía, o parcelas colindantes.

Topología de Izquierda -Derecha

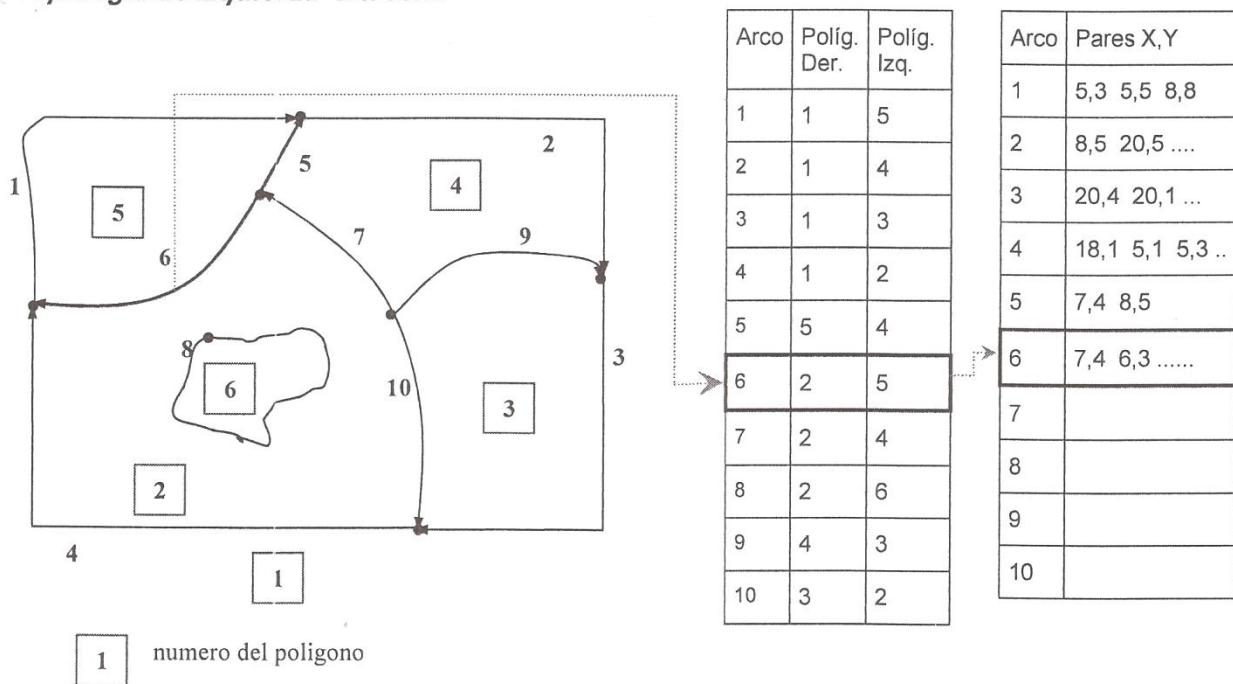


Figura N°14: Ejemplo de topología planteada de izquierda a derecha y forma de almacenamiento en tabla.

7.3.2. Conectividad.

Por definición los puntos XY, denominados vértices, a lo largo de los arcos definen la forma de los objetos geográficos. Estos puntos terminales se denominan Nodos. Cada arco tiene dos nodos, uno inicio y otro fin, lo cual denominamos Nodo desde y Nodo Hasta. Estos se pueden conectar entre sí solamente a través de los mismos.

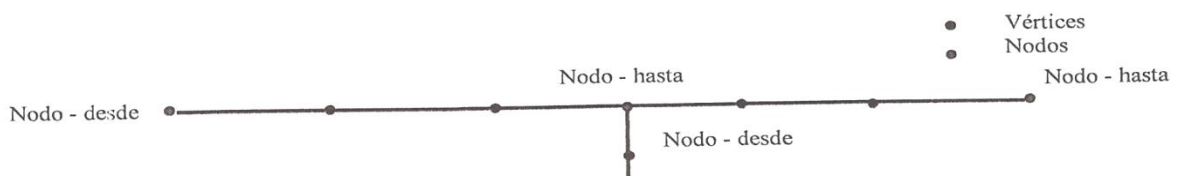


Figura N°15: Ilustración de la conectividad entre nodos.

Este tipo de topología, representa la relación existente entre objetos espaciales descritos por puntos y arcos en la base de datos; para esto se utiliza la teoría de Grafos, que permite la conexión explícita entre nodo y arcos para formar una red. Esto es lo que hace posible por ejemplo que se puedan analizar los flujos sobre una red de servicios, como una red de cloacas, agua potable, canales, oleoductos, vías férreas, etc.

Para recorrer los arcos que concurren a un nodo la estructura topológica permite conocer cuales arcos conectan a que nodo. En el siguiente diagrama los arcos 3, 4, 5 y 6 concurren al nodo 3. Luego el sistema define que es posible para el arco 5, girar en hacia el arco 6, porque ellos tienen el nodo común 3. Pero no es posible girar desde el arco 5 al arco 9 ya que ellos no confluyen en un nodo común.

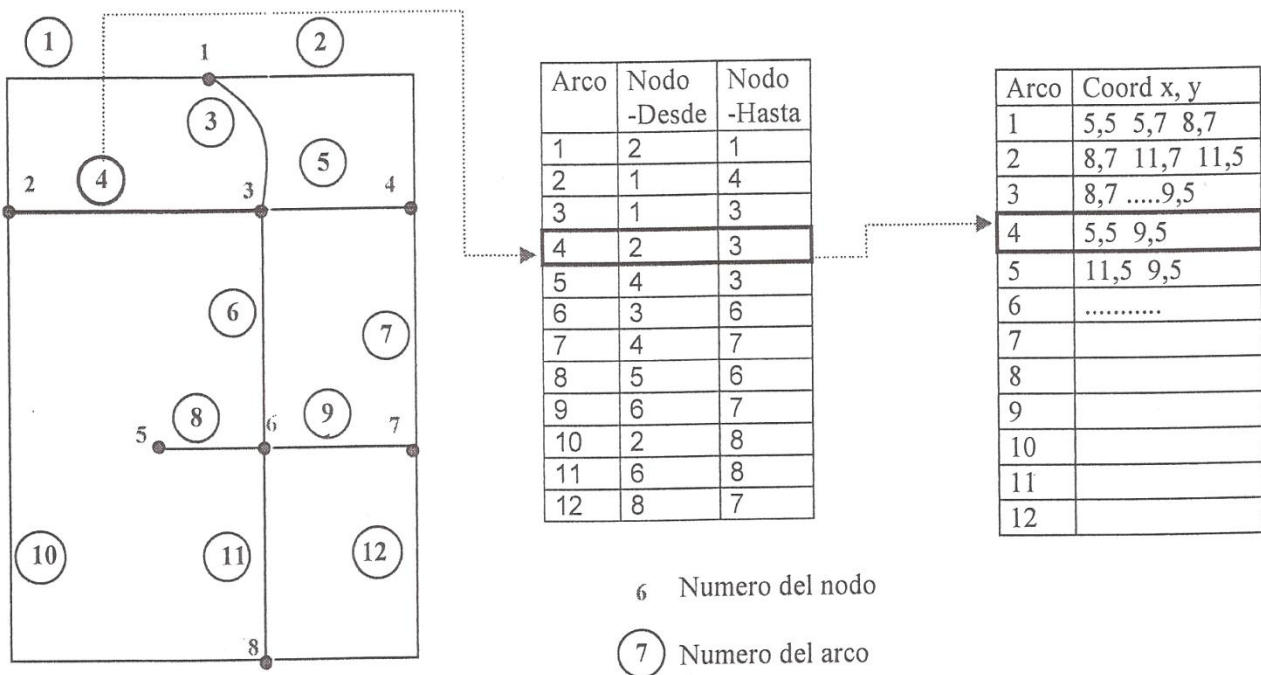


Figura N°16: Ejemplo de topología arco-nodo y forma de almacenamiento en tablas.

7.3.3. Pertenencia o Definición de Área.

Determina la capacidad espacial de los objetos geográficos, de pertenecer o ser compartidos por dos o más objetos de un nivel superior. Los polígonos están representados como una serie de coordenadas XY, que se conectan para encerrar un área. Algunos sistemas, almacenan los polígonos con una estructura topológica distinta, definiendo los arcos que conforman la envolvente de la figura poligonal.

En la figura los arcos 4, 6, 7, 10 y 8 definen el polígono 2. Aunque un arco puede aparecer en la tabla de listados de arcos para más de un polígono (por ejemplo en la figura el arco 6 aparece en la lista perteneciente a los polígonos 2 y 5) cada arco es almacenado una vez. Así se reducen la cantidad de datos y también que los límites de polígonos adyacentes no se superpongan.

Topología Polígono-Arc

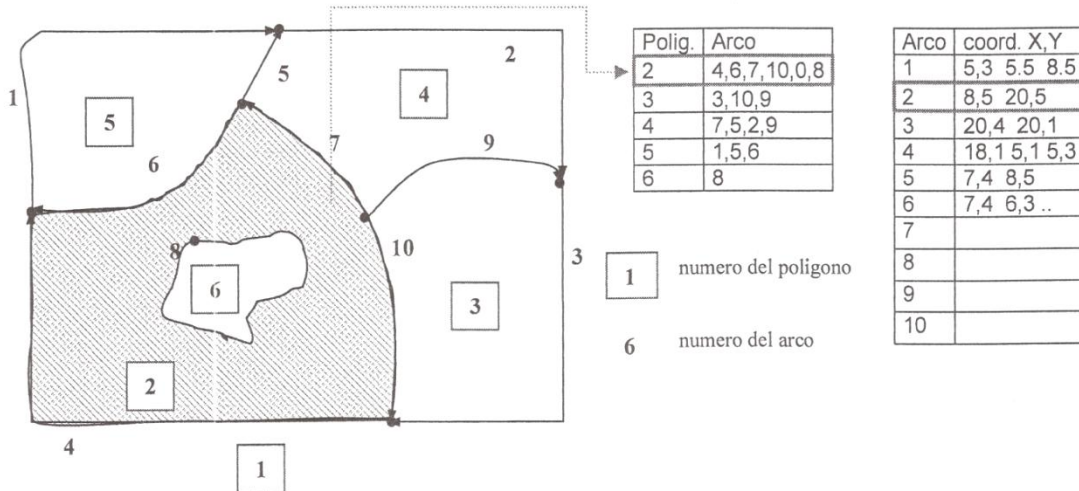


Figura N°17: Ejemplo de topología polígono-arco y forma de almacenamiento en tablas.

Apreciaciones: Estas tres relaciones topológicas descritas, permiten efectuar consultas y análisis sin tener en cuenta las coordenadas ni las distancias, porque dichas relaciones se refieren solo a la posición relativa de los objetos y su relación con el espacio en que se encuentran. Una de las características más importantes de los soft que administran la información grafica en un SIG vectorial, es el modelo de datos que utiliza para su almacenamiento y despliegue y las relaciones que establece entre entidades. Las formas de realizar esta tarea, varían entre una simple lista ordenada de coordenadas hasta una completa descripción de las entidades graficas a través de tablas topológicas que definen las relaciones de vecindad entre polígonos y contigüidad entre líneas y arcos.

7.4. Geocodificación.

Se define como geocodificación, a la tarea de asignar a cada una de las entidades espaciales; puntos, líneas y polígonos, un código que los identifica. Esto es lo que permite posteriormente su vinculación con los datos alfanuméricos, que son las cualidades o atributos, que se desean asociar a las entidades espaciales. Algunas veces suele asignárseles las coordenadas geográficas o coordenadas planas oficiales.



Figura N°18: Geocodificaciones en Google Maps y en un servidor remoto.

Por lo general, los software SIG realizan estas asignaciones por medio de tablas topológicas, con las cuales organizan el almacenamiento de las entidades graficas. Estas tablas, también poseen la ventaja de reorganizarse instantáneamente cuando surjan cambios en el sistema o nuevas cualidades sean asignadas a las entidades. La realización de esta tarea es de vital importancia, debe realizarse además poniendo especial cuidado y atención en la asignación de los códigos y atributos, ya que muchas veces es una tarea larga y que requiere de meticulosidad. Sin embargo, es la clave para mantener biunívocamente asociadas la información gráfica y la alfanumérica contenidas en el SIG.

Uno de los usos más comunes es la geocodificación secundaria de direcciones postales. Para ello se requiere una cartografía base, sobre la que referencian los códigos geográficos. Esta capa base, puede ser por ejemplo, una trama de ejes de calles con nombres de calles y altura postal de los domicilios.

Las direcciones concretas que se desean geocodificar en el mapa, suelen proceder de tablas, se posicionan mediante interpolación o estimación. El SIG, a continuación localiza en la capa de ejes de calles, el punto en el lugar más aproximado a la realidad según el grado de similitud de la dirección postal ingresada con el atributo de los arcos y nodos presentes al preparar la capa de lineales de redes servicios, según los algoritmos de geocodificación que utiliza.

La geocodificación puede realizarse también, con datos reales más precisos (por ejemplo, cartografía catastral). En este caso el resultado de la codificación geográfica se ajustará en mayor medida a la realizada, prevaleciendo sobre el método de interpolación. En el caso de la geocodificación inversa el proceso sería al revés, se asignaría una dirección de calle estimada con su número de portal a unas coordenadas (x,y) determinadas. Por ejemplo, un usuario podría hacer clic sobre una capa que representa los ejes de vía de una ciudad y obtendría la información sobre la dirección postal con el número de policía de un edificio. Este número de portal es calculado de forma estimada por el SIG mediante interpolación, a partir de unos números ya presupuestos. Si el usuario hace clic en el punto medio de un segmento que comienza en el portal 1 y termina con el 100, el valor devuelto para el lugar seleccionado será próximo al 50. Hay que tener en cuenta que la geocodificación inversa no devuelve las direcciones reales, sino sólo estimaciones de lo que debería existir basándose en datos ya conocidos.

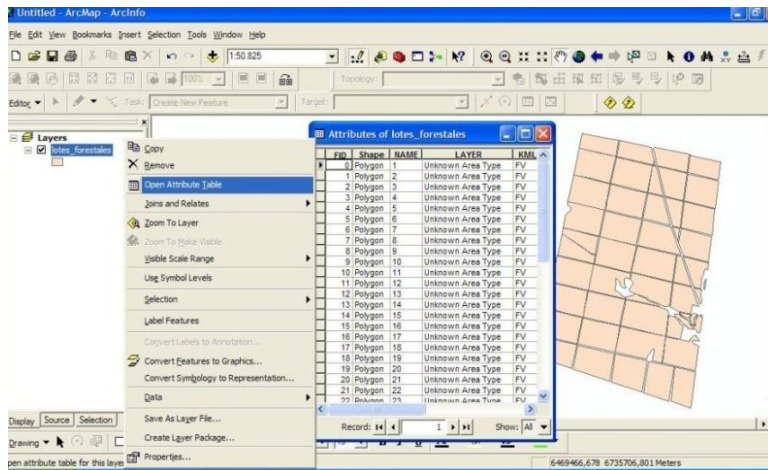


Figura N°19: Geocodificación en ArcView.

7.5. Estructura de los Datos en el Modelo Vectorial.

Una de las características más representativas de los software que administran la información grafica en un SIG vectorial, es la estructura de datos que utiliza para su almacenamiento y posterior despliegue. Entre estas formas podemos nombrar:

- Lista de Coordenadas
- Diccionario de Vértices
- Organización DIME
- Estructura Arco-Nodo

7.5.1. Lista de coordenadas.

Se almacenan las coordenadas XY, del origen y del extremo de cada segmento. Para toda entidad grafica se asigna un código de identificación o rotulo, el número de vértices y a continuación las coordenadas de cada uno de ellos. En el caso de tratarse de un polígono cerrado, se repetirán las coordenadas del primer vértice. Esta estructura de datos es muy simple pero no representa la topología

de los datos espaciales, se duplican gran cantidad de vértices y resulta muy difícil de administrar en la fase de adquisición de los datos. Sin embargo suele utilizarse en algunas aplicaciones de cartografía digital.

Lista de coordenadas

código de polígono	A	5
Número de Vértices	X	Y
coordenadas del 1° vértice	1	3
	6	6
	6	10
	4	10
	1	7
coord. del último vértice	1	3
código de polígono	B	6
Número de Vértices	X	Y
coordenadas del 1° vértice	6	6
	6	10
	10	10
	10	1
	7	1
	7	6
coord. del último vértice	6	6
código de polígono	C	5
Número de Vértices	X	Y
coordenadas del 1° vértice	1	3
	6	6
	7	6
	7	1
	1	1
coord. del último vértice	1	3
código de polígono	D	5
Número de Vértices	X	Y
coordenadas del 1° vértice	7	7
	8	9
	9	8
	7	7
coord. del último vértice	7	7
código de línea	E	1
Número de Vértices	X	Y
coordenadas del 1° vértice	5	3
	8	2
coord. del último vértice	9	3
código de línea	F	3
Número de Vértices	X	Y
coordenadas del 1° vértice	5	3
	8	2
coord. del último vértice	9	3

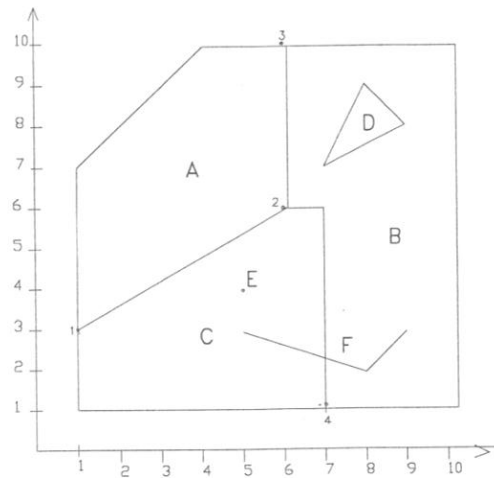


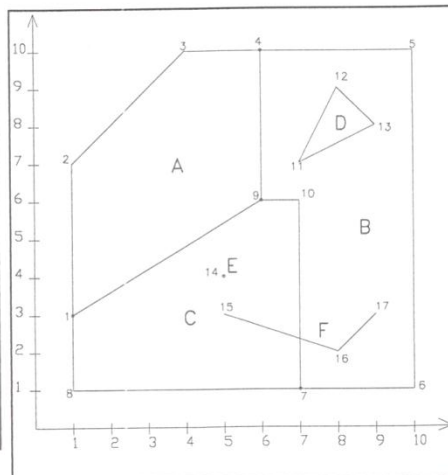
Figura N°20: Manera de organización de la tabla para la estructura de Lista de Coordenadas.

7.5.2. Diccionario de Vértices.

En este caso, se levantan solo una vez las coordenadas de cada vértice que existe en el mapa asignándole una etiqueta o rotulo, a cada uno para su identificación. De esta manera, al almacenar una línea o polígono se registrará solo una etiqueta para cada vértice. Evitando así, la duplicidad de coordenadas por lados adyacentes. Si bien resulta una estructura un tanto superadora de la anterior descrita, ya que al menos evita el problema de registrar las coordenadas de un mismo vértice como diferentes, tampoco se reconoce la topología de modo diferente.

Diccionario de vértices

Polígono	Vértices que lo forman
A:	1, 2, 3, 4, 9, 1
B:	9, 4, 5, 6, 7, 10, 9
C:	1, 9, 10, 7, 8, 1
D:	11, 12, 13, 11
E:	14
F:	15, 16, 17



Archivo de coordenadas

Vértice	X	Y
1	1	3
2	1	7
3	4	10
4	6	10
5	10	10
6	10	1
7	7	1
8	1	1
9	6	6
10	7	6
11	7	7
12	8	9
13	9	8
14	5	4
15	5	3
16	8	2
17	9	3

Figura N°21: Manera de organización de la tabla para la estructura de Diccionario de Vértices.

7.5.3. Ficheros DIME.

Esta, es una de las primeras estructuras de representación vectorial en la cual se reconoce la topología de manera completa. Fue elaborada en EEUU, siendo su principal característica la de almacenar los datos en tres archivos diferentes. El primero de ellos contiene las coordenadas de los vértices y su código, el segundo describe los segmentos indicando el vértice de origen y el del final, o en caso de polígonos cual está a la izquierda o a la derecha según su sentido de orientación, conteniendo también el código que corresponde a cada segmento y por último el tercer archivo que contiene la descripción de las entidades, los segmentos de su frontera y un rotulo que los identifica. Con este modelo de almacenamiento resulta muy sencillo averiguar que líneas están conectadas entre sí, que polígonos son contiguos, etc. Evitando la duplicidad de vértices y segmentos.

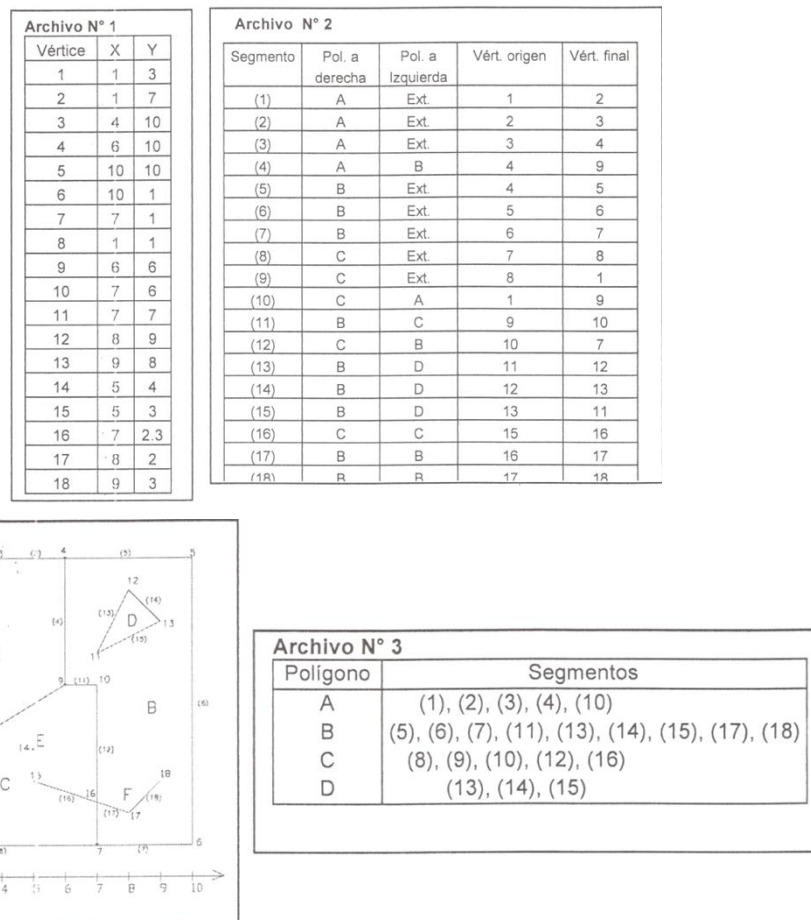


Figura N°22: Manera de organización de la tabla para la estructura de Ficheros DIME.

7.5.4. Organización Arco-Nodo.

Esta estructura, es similar a la estructura DIME, pero en ella el elemento base del almacenamiento no es el segmento, sino una cadena o arco de segmentos que mantienen la misma topología. Es decir, conservan el mismo sentido y separan los mismos polígonos. Este nuevo concepto de arco implica la definición de un nodo de partida, vértices intermedios y un nodo de llegada. El nodo es un elemento clave del almacenamiento y estará presente al principio y al final de cada arco y cuando se junten dos o más arcos, en el mismo plano.

En la organización Arco-Nodo, se generan cuatro archivos, los cuales describen:

- 1) **Tabla de coordenadas:** contiene el código de arco y las coordenadas de los nodos origen, vértices intermedios y nodo final.
- 2) **Tabla de Topología de Arcos:** contiene código del arco, nodo origen, nodo final, polígono a la derecha y polígono a la izquierda.
- 3) **Tabla de Topología de Polígonos:** contiene código del polígono y códigos de los arcos que conforman la frontera del polígono. Cuando un polígono se encuentra contenido dentro de otro se indica tal situación, colocando un signo menos delante del código al representar el polígono
- 4) **Tabla de Topología de nodos:** contiene códigos del nodo y arcos a los que pertenece.

Este conjunto de cuatro tablas contienen toda la información organizada de tal manera que operadas desde un administrador de base de datos relacional, permiten la reconstrucción inmediata de las entidades gráficas que satisfacen determinadas condiciones de contigüidad o vecindad, dando respuestas muy rápidas a cuestiones vinculadas al análisis espacial.

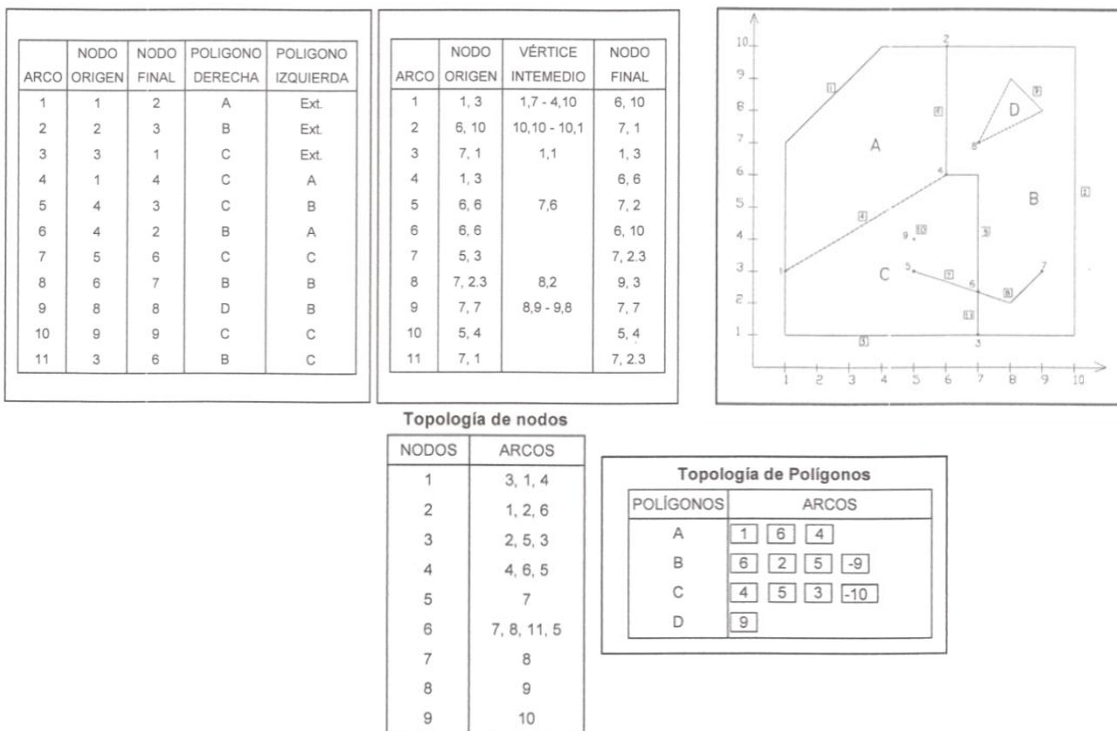


Figura N°23: Manera de organización de la tabla para la estructura de Organización Arco Nodo.

8. Bases de Datos.

Conceptualmente, podemos decir que una base de datos es una colección de uno o más archivos de datos, que se encuentran almacenados en forma estructurada y que contienen información no redundante. De modo que, las relaciones que existen entre los diversos ítems o conjuntos de datos puedan ser utilizados por el sistema de gestión (SGBD) para manipular o recuperar los mismos. Las Bases de Datos cumplen además, con las siguientes condiciones:

- Los datos están almacenados en diversos soportes de información, de tal forma que son independientes de los programas que los manejan.
- Su utilización no está restringida a una sola aplicación, siendo posible su acceso por varias aplicaciones, incluso simultáneamente.
- Para gestionar la información en la Base de datos, es decir la inclusión de nuevos datos o borrar algunos o modificarlos, se emplean procedimientos especiales. Estos programas permiten la obtención de datos para su utilización.

La conclusión de estos razonamientos, es que si desde un primer momento se diseña una base de datos capaz de almacenar todos los datos relacionados, el sistema será útil no solo para las aplicaciones existentes o proyectadas, sino también para las que en un futuro se puedan presentar. Un sistema de gestión de Base de Datos (SGDB), consiste en una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a dichos datos. El principal de una SGDB lo constituye la recuperación y el almacenamiento de la información de la base de datos. Los propósitos de los sistemas de bases de datos son evitar los siguientes inconvenientes:

- Redundancia e inconsistencia de datos.
- Dificultad en el acceso de datos en contraste con una obtención de datos de forma práctica y eficiente.
- Aislamiento de datos, varios archivos y/o formatos.
- Problemas de atomicidad en operaciones se realizan todas o ninguna.
- Anomalías de acceso concurrente, varios usuarios trabajan simultáneamente.

La colección de información almacenada en la base de datos en un momento particular se llama “ejemplar” de la base de datos. El diseño de la base de datos se llama “esquema” de la base de datos. En función de la conceptualización de una base de datos, podemos decir que está conformada por elementos, entre los cuales se destaca la Tabla, en ella es donde se almacenan los datos.

El diagrama muestra una tabla con un encabezado 'COLUMNAS' que apunta a los títulos de las columnas y un cuerpo de datos con un encabezado 'FILAS' que apunta a las filas de datos. La tabla contiene la siguiente información:

Shape	Avg North	Avg East	Min Top	Max Top
Point	-3438.0000	-4531.0000	851.70	858.71
Point	-3509.0000	-4528.0000	856.90	861.51
Point	-3364.0000	-4494.0000	839.90	842.91
Point	-3493.0000	-4492.0000	843.40	844.41
Point	-3296.0000	-4492.0000	844.60	845.61
Point	-3229.0000	-4492.0000	842.30	843.31
Point	-3229.0000	-4491.0000	865.10	866.11

Figura N°24: Estructura de datos en una Tabla.

Podemos definir la *Tabla* como un arreglo bidimensional compuesto por filas, columnas y celdas. Las filas son las unidades de análisis de longitud variable, también llamadas registros o tuplas. Y las Columnas son los atributos descriptivos que se cargan para cada unidad, también son las menores unidades de información de un registro, se las denomina campos o ítems; tiene valores únicos y de distinto tipo por ejemplo numéricos, caracteres, fechas, lógicos, etc. A fines de ingresar los datos que serán administrados, lo primero que debe conocerse con claridad es la cantidad y lo que se denomina dominio de las variables, esto es el conjunto de valores que puede asumir la variable.

El siguiente aspecto que debe definirse en una tabla, es su estructura, esto es básicamente la cantidad de variables o campos que contendrá, la longitud de cada uno, el nombre y el tipo de variable, es decir si es numérica o alfabética, booleana, lógica o fecha, etc. Estas definiciones controlarán en la fase de almacenamiento de los datos la consistencia y evitarán el ingreso de errores groseros. En caso, de tratarse de bases relacionales, los datos se organizan por medio de tablas que además de los datos mencionados contienen información sobre los campos que actuarán como conectores entre tablas, estos campos clave o campos llave tiene la característica básica es que sean del mismo “tipo” en las dos o más tablas a relacionar.

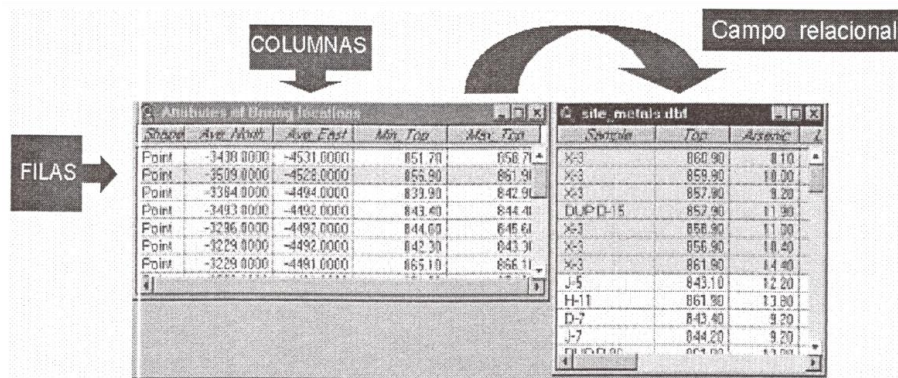


Figura N°26: Partes de una Tabla.

El funcionamiento de las relaciones entre las tablas, se basa en hacer coincidir datos de *columnas clave*, las cuales tienen el mismo nombre en ambas tablas. La relación se establece haciendo coincidir el *campo clave* de una tabla, que proporciona un identificador único para cada fila, con una entrada del *campo clave* de la otra tabla. Existen tres tipos de relaciones entre tablas, el tipo de relación creado depende de cómo se definen estas columnas relacionadas.

- **Relaciones Uno a Varios:** Es el tipo más habitual de relación, en este tipo de relación una fila de la tabla A puede corresponderse con muchas filas de la tabla B, pero una fila de la tabla B sólo puede corresponderse con otra de la tabla A.
- **Relaciones Varios a Varios:** En este tipo de relación, una fila de la tabla A puede tener muchas filas coincidentes en la tabla B y viceversa. Se crea definiendo una tercera tabla, denominada tabla de unión, cuya clave principal está constituida por las claves externas de las tablas A y B.
- **Relaciones Uno a Uno:** En una relación uno a uno, una fila de la tabla A no puede tener más de una fila coincidente en la tabla B y viceversa. Este tipo de relación no es habitual, ya que la mayor parte de la información relacionada de esta manera estaría toda en una tabla. Puede utilizarse para, dividir una tabla con muchas columnas, aislar parte de una tabla por razones de seguridad, almacenar datos que son efímeros y que pueden eliminarse fácilmente mediante la simple eliminación de la tabla, almacenar información que se aplica solamente a un subconjunto de la tabla principal, etc.

10.1. Modelos de Datos.

Se definen como un conjunto de herramientas conceptuales para describir los datos, la relación entre ellos, su semántica y las restricciones de consistencia. Los modelos se clasifican en tres grupos:

- **Modelos lógicos basados en objetos:** Pertenecen a este grupo el modelo entidad relación y el modelo orientado a objetos.
- **Modelos lógicos basados en registros:** la base de datos se estructura en registros de formato fijo de diferentes tipos. En cada registro se define un número fijo de atributos o campos y cada uno tiene también una longitud fija. Pertenecen a este tipo los modelos de red y el jerárquico, en la actualidad el más usado es el modelo relacional.
- **Modelos físicos.**

10.1.1. Modelo Entidad Relación.

Una entidad, es un objeto del mundo real que es distinguible del resto de otros objetos. Una entidad se representa mediante un conjunto de atributos, es decir tiene un conjunto de propiedades y los valores para algún conjunto de atributos pueden identificar una entidad en forma unívoca. A su vez, un conjunto de entidades del mismo tipo comparten propiedades o atributos. Y los atributos describen propiedades que posee cada miembro de un conjunto de entidades, pero cada entidad tiene un valor para cada uno de sus atributos. Definimos como “dominio” como el conjunto de valores permitidos para cada atributo.

Otra propiedad de este modelo, es que los atributos de nivel más bajo heredan los atributos de las entidades de nivel más alto. Un conjunto de entidades de nivel más bajo, o subclase, también hereda la participación en los conjuntos de relaciones en que su entidad participa.

10.1.2. Modelo Relacional.

El modelo relacional, usa una colección de tablas para representar tanto los datos como las relaciones entre estos, cada tabla tiene una o más columnas y cada una de estas columnas tiene nombre único. Cada fila tiene una relación entre un conjunto de valores, para cada atributo hay un conjunto de valores permitidos, denominado dominio para ese atributo. Matemáticamente, se define las relaciones como subconjuntos del producto cartesiano de la lista de dominios, como las tablas son esencialmente relaciones se utilizan los términos matemáticos relación y tupla en lugar de tabla y fila.

Un lenguaje de consulta es un lenguaje en el que el usuario solicita información a la base de datos. Este modelo utiliza el álgebra relacional, la cual consta de un conjunto de operaciones que toman como entrada una o dos relaciones y producen como resultado una nueva relación. Las operaciones fundamentales del álgebra relacional son selección, proyección, unión, diferencia de conjuntos, reunión, división y asignación. Estas operaciones se definen en términos de operaciones fundamentales.

10.1.3. SQL

El lenguaje de consulta estructurado o SQL, por sus siglas en inglés *Structured Query Language*, es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales, que permite especificar diversos tipos de operaciones en ellas. Una de sus características es el manejo del álgebra y el cálculo relacional que permiten efectuar consultas con el fin de recuperar de forma sencilla información de interés de bases de datos, así como hacer cambios en ella.

Este lenguaje permite:

- Modificar la estructura, eliminar tablas.
- Definir vistas.
- Definir reglas de integridad que deben satisfacer los datos almacenados.
- Definir autorización, órdenes para especificar derechos de acceso para las relaciones y vistas.
- Consultar, insertar, borrar y modificar filas de las tablas, incluye órdenes para especificar comienzo y final de transacciones.

Los Tipos de Datos básicos de SQL son:

- **Date:** una fecha de calendario que contiene el año. (cuatro cifras, el mes y el día).
- **Time:** La hora del día en horas minutos segundos.
- **Timestamp:** la combinación de Date y Time.

La estructura básica de una expresión SQL consiste en tres cláusulas:

- **Clausula Select:** corresponde a la operación proyección del álgebra relacional. Se usa para listar los atributos deseados del resultado de una consulta.
- **Clausula From:** corresponde a la operación producto cartesiano del algebra relacional. Lista las tablas que deben ser analizadas en la evaluación de la expresión.
- **Clausula Where:** corresponde al predicado selección del algebra relacional. Es un predicado que engloba a los atributos de las relaciones (tablas) que aparecen en la clausula from.

10.2. Modificación de la Base de Datos.

- **Borrado:** solo se pueden borrar filas completas de una sola tabla. Generalmente se hace con la instrucción delete.
- **Inserción:** para insertar datos en una relación, o bien se especifica la fila que se desea insertar o se formula una consulta cuyo resultado sea el conjunto de filas que se desean insertar.
- **Actualización:** la instrucción update permite modificar uno o varios valores de una fila correspondiente a una tabla. La instrucción, permite seleccionar las filas que se desean modificar mediante la clausula where.
- **Actualización de vistas:** SQL permite que el nombre de una vista aparezca en cualquier lugar en donde pueda aparecer el nombre de una tabla, por ejemplo en las instrucciones update, insert y delete. Sin embargo, muchos manejadores de base de datos imponen una restricción a la modificación de vistas; la modificación de una vista es válida solo si la vista se define en términos de una tabla creada en la base de datos sin usar agregaciones.
- **Transacciones:** consiste en una secuencia de instrucciones de consulta y actualizaciones. La norma SQL especifica que una transacción comienza implícitamente cuando se ejecuta una instrucción. Luego otra instrucción finaliza la transacción.

10.3. Características de las Bases de Datos Geográficas.

Como sabemos un objeto geográfico corresponde a una entidad del mundo real, a su vez está compuesta por dos componentes dentro de un sistema SIG, la componente espacial (geometría y topología) y la descripción o cualidades o atributos alfanuméricos. El atributo espacial no corresponde en sí a ningún tipo de datos estándar tal como string o entero. La representación de la geometría y topología requiere el uso de modelos de datos espaciales, usualmente los datos utilizados son del tipo punto, línea y polígono.

Un SIG, almacena datos espaciales y alfanuméricos, este almacenamiento puede ser controlado directamente por la aplicación o por un sistema controlado directamente por la aplicación o por un sistema de base de datos. En el primer caso, coexisten dos sistemas; DBMS manejador de la base de datos relacional y un modulo específico para la administración de datos espaciales, en tanto que en el segundo caso se adicionan nuevos tipos y operaciones a un sistema relacional, además del lenguaje de consulta SQL para manipular datos espaciales.

10.4. Metodología NCGIA. (National Center of Geographic Information and Analysis)

Es un conjunto de guías, que buscan asistir a los gobiernos en el desarrollo de un SIG. Este conjunto de guías, describen procedimientos y métodos para planear el SIG, evaluar fuentes de datos potenciales, probar hardware y software disponibles, planear su adquisición, construir la base de datos, desarrollar aplicaciones, planear el mantenimiento del sistema SIG y de la base datos. Las acciones de administración de un SIG son su aspecto más crítico en el proceso de desarrollo, *“el desarrollo de un SIG es un proceso de innovación tecnológica y requiere apropiada atención”*.

El proceso de desarrollo de un SIG, se presenta como una secuencia de etapas conducidas en un orden específico. El enfoque metodológico lo constituyen los datos del SIG, los cuales deberán ser colectados, almacenados, mantenidos, y archivados realizando un conjunto de actividades para asegurar la disponibilidad y utilidad a los usuarios. Esta metodología, recomienda el uso de bases de datos corporativas para integrar datos del SIG a todas las unidades que participan en el SIG. Establecer la base de datos corporativa requiere principalmente de políticas, administración y coordinación.

La metodología en su parte de análisis utiliza el enfoque estructurado y propone el uso de un modelo relacional extendido para diseño de bases de datos geográficas. La metodología debe centrarse en la construcción de la base de datos y su enfoque central lo constituyen los datos que serán utilizados para el SIG. Es importante, la buena administración de los proyectos SIG ya que ellos representan una innovación tecnológica en cuanto al manejo de la información, además sirven de guía para sectores administrativos del estado que pueden conducir a un éxito asegurado en gestión de diversos recursos.

11. Modelo de Datos RASTER

Esta estructura, supone la división del espacio de una superficie en elementos que se consideran uniformes o indivisibles, generalmente de forma regular y de igual tamaño. Los elementos son conocidos como TESSELAS, en las cuales se almacena la información de la entidad a que pertenecen. Sin embargo, el nombre más común para estos elementos en el modelo Raster es el PIXEL. El tamaño de los pixeles, define la resolución geométrica de la información Raster, a este tamaño se le denomina CELDA.

Los sistemas Raster, basan su funcionalidad en una concepción implícita de las relaciones de vecindad entre objetos geográficos. Su forma de proceder es dividir la zona de afección de la base de datos en una retícula o malla regular de pequeñas celdas, estas son los pixeles. Luego, atribuye un valor numérico a cada celda o pixel, como representación de su valor temático. Dado que la malla es regular, o sea el tamaño de los pixeles es constante y que es conocida la posición en coordenadas del centro de una de las celdas, se pueden georreferenciar todos los píxeles.

Lógicamente, para tener una descripción precisa de los objetos geográficos contenidos en la base de datos, el tamaño del pixel debe ser reducido en función de la escala, lo que dotara a la malla de una resolución alta. Sin embargo, a mayor número de filas y columnas en la malla, mayor será la resolución y mayor esfuerzo se requerirá en el proceso de captura de la información y mayor será el costo computacional a la hora de procesar información y mayor demanda de memoria.

El modelo de datos Raster, es útil cuando tenemos que describir objetos geográficos cuyos límites son difusos, como por ejemplo puede ser la dispersión de una nube de contaminantes, niveles de contaminación de acuíferos, etc. Podríamos decir, que un SIG raster en un conjunto de mapas individuales, referidos todos a una misma área en estudio. Todos estos mapas estarán representados digitalmente por una grilla de pixeles, que asumen un valor numérico en función a las diversas variables cartográficas presentes en el mapa o por el valor de los ND (*niveles digitales*) según el nivel de reflectancia del objeto observado. En este tipo de sistemas, a diferencia del vectorial los límites al ser difusos, surgen implícitamente según el ordenamiento espacial de los valores de la grilla.

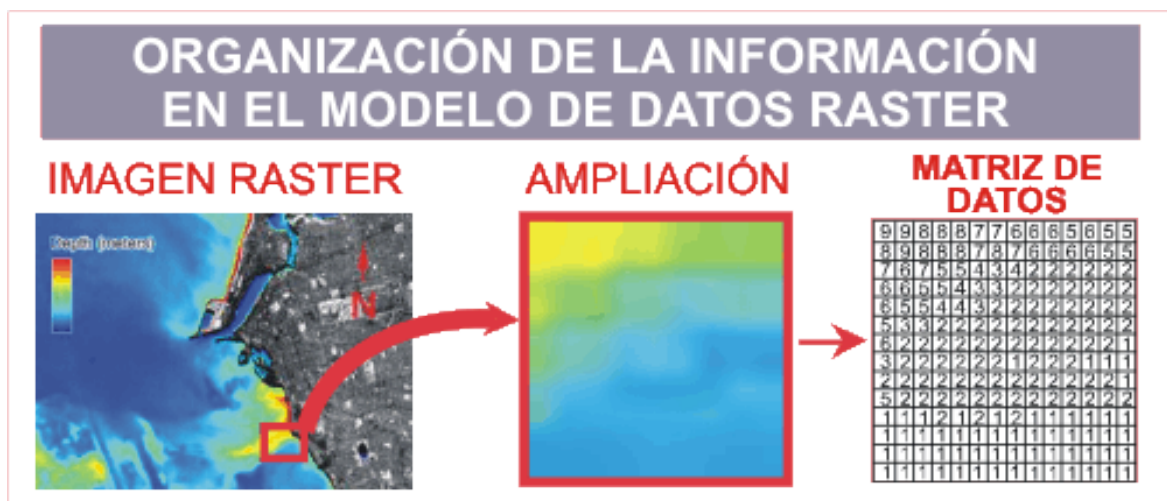


Figura N°24: Organización de la información Raster.

11.1. Propiedades espaciales de los Pixeles.

La palabra pixel, deriva del Inglés, es la abreviatura de “*pictute element*”, vendría a significar elemento de imagen. Pero el concepto, es que el pixel es la mínima porción de imagen que es posible visualizar. Es el elemento principal utilizado por el modelo raster para codificar los datos de interés y es también el elemento encargado de organizar estructuralmente la información de cada nivel temático.

Las propiedades de los pixel, se refieren a la existencia de topología propia y que cada celda tiene un atributo asociado al tema que representa. Las propiedades métricas para pixeles cuadrados, permiten calcular distancias para los ejes ortogonales. El cálculo de la distancia euclidiana produce dos resultados, por ejemplo si tenemos el triángulo rectángulo (a,b,c) de lados (3,4,5) resulta:

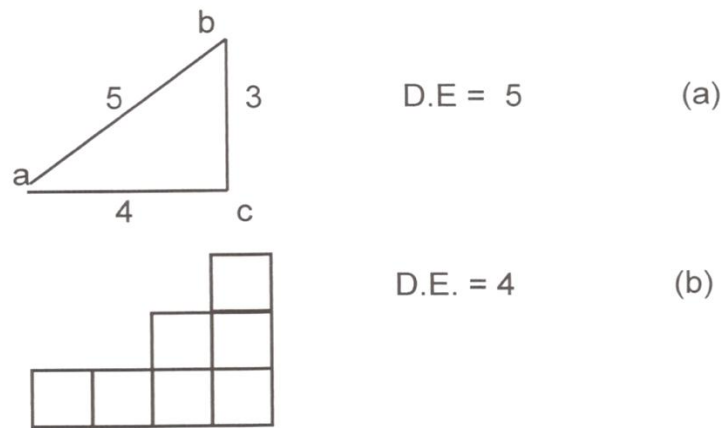


Figura N°25: Efectos raster en distancias.

La distancia euclidiana para la figura es igual a cinco unidades. En cambio, en el sistema raster se tendrá el valor de cuatro. Esto redundará en una cierta inexactitud en longitudes y por consiguiente en la estimación del área. El área real del triángulo es de 6 unidades, mientras que en el sistema de celdas es de 7 unidades, ahora el error es de una unidad en exceso. Para otras figuras, más complejas sucede lo mismo, la solución para minimizar este problema consiste en disminuir el tamaño de la celda a un tamaño cuyo resultado en operaciones de longitud y área sean similares a los resultados por métodos vectoriales.

Los tamaños de celda están definidos de dos maneras:

- a. Tomando la mitad del detalle más fino
- b. Utilizando unos valores empíricos de acuerdo a la escala

Escala	Celda
1 : 1000	50 x 50 cm
1 : 5000	2 x 2 m
1 : 10000	4 x 4 m
1 : 25000	10 x 10 m
1 : 100000	35 x 35 m

Tabla N°1: Valores de celdas en función de escala Cartográfica.

La tabla muestra los tamaños de celda de acuerdo a la escala del mapa. Con estos valores reportados en la tabla, un mapa temático a escala 1: 100000 de dimensiones 60 x 40cm, necesita aproximadamente

68.5 MG (megabytes). Para manejar y almacenar, estas enormes cantidades de información es necesario utilizar métodos ágiles de compactación. Su principal ventaja, es su resolución espacial variable y la posibilidad de generalizar informaciones muy detallada. Para ello existen varios procesos de almacenamiento entre ellos:

- **Run length encoding:** cada línea es codificada bajo la forma de una lista de dobles, valor, número de celdas contiguas con este valor, etc.
- **Quadtree:** arboles cuaternarios, división de la imagen en cuadrantes y subcuadrantes uniformes. Se repite el proceso hasta que todos los píxeles del cuadrante tengan el mismo valor, este método no es adaptado a la codificación de datos heterogéneos, tales los provenientes de imágenes satelitales.

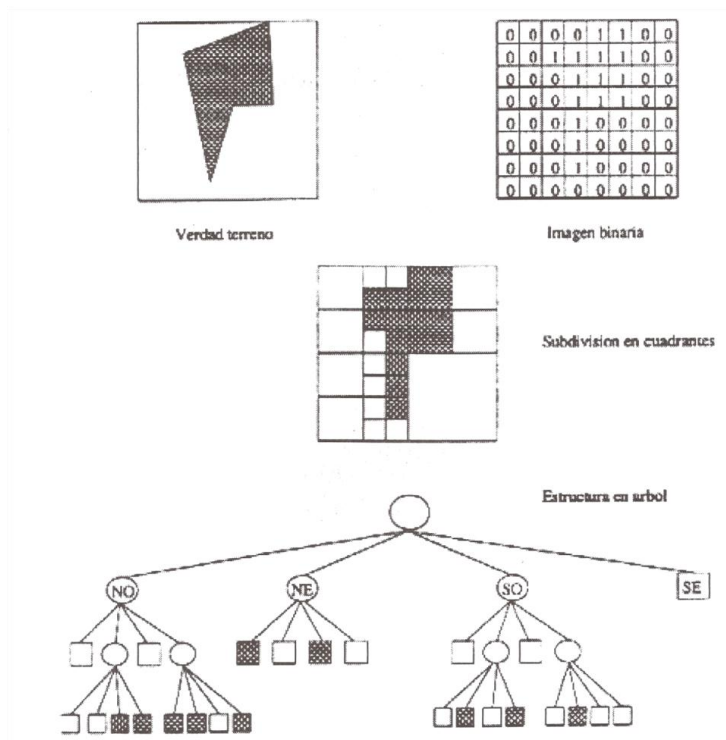


Figura N°26: Ejemplo de quadtree, árboles cuaternarios, Didon 1991.

11.2. Representación de la Información Raster.

La codificación de los datos, se logra al superponer la grilla regular al mapa analógico base o fuente. El modelo raster no codifica fronteras de los objetos geográficos, registra el interior y los límites quedan implícitamente representados. La grilla o matriz la conforman los píxeles, unidades de igual forma o tamaño que registran el valor temático. También, existen modos automáticos de generar datos en estructura raster, como las imágenes satelitales o imágenes obtenidas en scanners.

Si bien, los píxeles pueden tener formas geométricas variadas, las más utilizadas son las cuadradas y rectangulares, la conveniencia del tamaño adecuado de estos es la clave de resolución que tendrá la imagen. En el modelo raster la topología del mapa está implícita en la regularidad de la grilla.

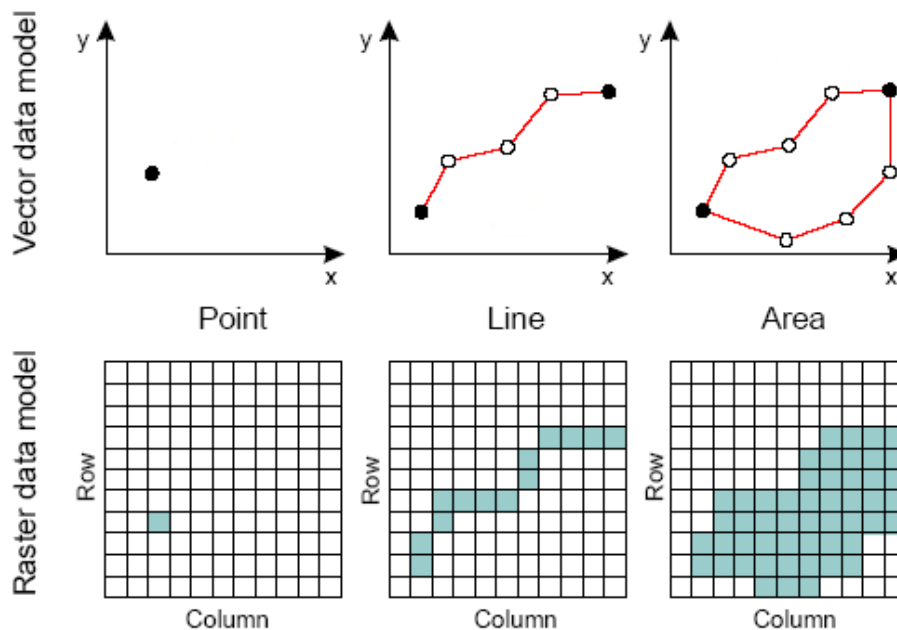


Figura N°27: Formas de representación Raster y su comparación Vectorial.

11.3. Teledetección

Este vocablo, deriva de una expresión inglesa “Remote Sensing”. Definiremos la Teledetección espacial, como la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre sin estar en contacto directo con ella. Esto se hace posible gracias a sensores instalados en plataformas (espaciales, aéreas o terrestres). La información que pueden recoger estos sensores es posible de ser capturada porque entre la superficie terrestre y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar, de un haz energético artificial o por emisión propia del sensor. Estas técnicas están en constante desarrollo y actualización por sus múltiples aplicaciones.

Las imágenes obtenidas, mediante teledetección juegan un papel muy importante en la elaboración de cartografía y en la adquisición y visualización de datos de cualquier disciplina, ingeniería, geología, minería, recursos naturales, etc. Sirven para la ubicación única en el espacio de puntos característicos de la superficie terrestre, ubicación de caminos, vegetación, cuerpos de agua, características demográficas, topográficas, geológicas, prevención de desastres, etc.

Como vemos, toda esta información es de carácter fundamental para la elaboración de un SIG y aunque ambas tecnologías se desarrollaron por separado, hoy en día pueden utilizarse conjuntamente de manera interactiva y complementaria. Las relaciones entre ambos, son más que evidentes, la teledetección es una fuente importantísima de datos geográficos y una herramienta para la entrada de datos del SIG, desde la realización de inventarios hasta la actualización de forma muy expeditiva de datos incorporados al SIG.

Si bien, todos los datos provenientes de los sistemas de teledetección tienen características métricas igual deben pasar por un proceso de minimización de errores y eliminación de distorsiones propias de las imágenes en formato digital. Sin estos procesos de corrección, las mediciones o cálculos que puedan realizarse sobre los datos no serán del todo precisas.

11.3.1. Componentes de un Sistema de Teledetección.

- **Foco Energético:** o fuente, como lo es el Sol, es el encargado de producir las radiaciones electromagnéticas.
- **Superficie Terrestre:** es donde se produce la interacción entre la energía electromagnética la cual es recibida y posteriormente reflejada.
- **Sensor:** el cual va montado sobre una plataforma satelital, aérea o terrestre, es un aparato diseñado por el humano que es capaz de captar y cuantificar la energía proveniente de la superficie terrestre.

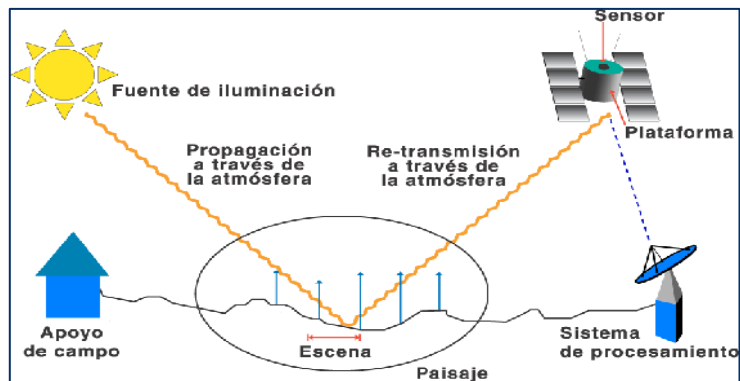


Figura N°28: Elementos de un sistema de Teledetección.

Los tipos de plataformas más comunes son:

- **Terrestres:** por lo general, son torres de gran altura ubicadas en superficie estratégicamente.
- **Áreas:** pueden ser globos aéreos o aviones fotogramétricos especiales, también pueden ser helicópteros diseñados espacialmente.
- **Espaciales:** satélites en órbita diseñados para realizar esta tarea.



Figura N°29: Plataformas aéreas y espaciales.

11.3.2. Espectro Electromagnético.

Podemos describir cualquier tipo de energía radiante en función de la longitud de onda o frecuencia. La sucesión de valores de longitud es continua, así se han establecido una serie de bandas en las cuales la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. La organización de estas bandas se denomina espectro Electromagnético y desde el punto de vista de la teledetección tiene una serie de bandas, dentro de las cuales los distintos objetos de la superficie terrestre manifiestan características muy importantes.

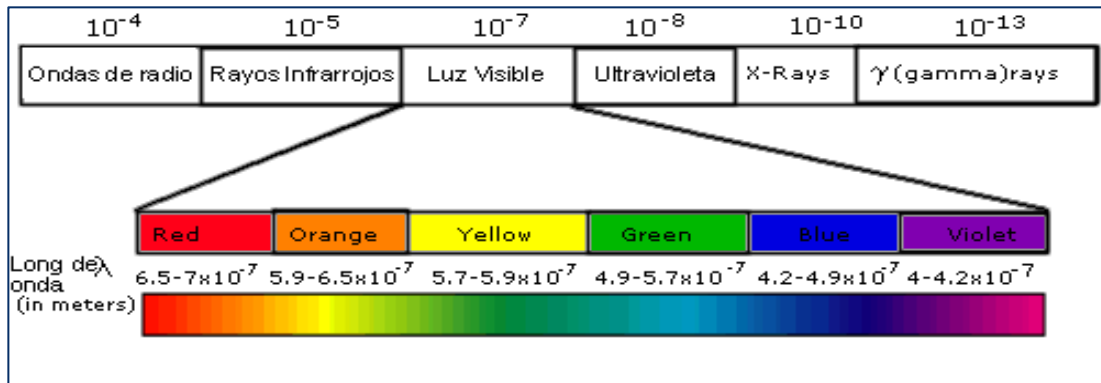


Figura N°30: Longitudes de onda del Espectro Electromagnético.

Reflectancia espectral: es la medida de la energía radiante o flujo radiante, que es reflejado por un material o por una parte de la superficie terrestre como función de la longitud de onda de dicha energía o flujo.

Firma Espectral: Cada objeto de la superficie terrestre, ofrece un comportamiento espectral diferente en función a las características de sus componentes, esto amplía las posibilidades de reconocerlo.

La energía que recibe un sensor, debe pasar por la atmósfera, en esta se encuentran componentes gaseosos y partículas que pueden afectar la intensidad y la distribución espectral de la energía y pueden impedir la correcta observación de la superficie terrestre. Las regiones menos influenciadas por estos efectos se denominan “Ventanas atmosféricas” y son empleadas intensivamente en teledetección.

11.3.3. Sensores Remotos.

Una forma de clasificar a los sensores, es por el modo utilizado para recibir la energía procedente de los objetos, así se los clasifica en:

- **Sensores Pasivos:** son aquellos sensores que se limitan a recibir la energía procedente de una fuente exterior. Es el caso de los sensores satelitales que reciben la energía emitida por el sol la cual es reflejada por la superficie terrestre. También es el caso de las cámaras fotográficas.
- **Sensores Activos:** son aquellos capaces de emitir su propio haz energético y luego reciben la información que es reflejada. Es el caso de los radares, liars.

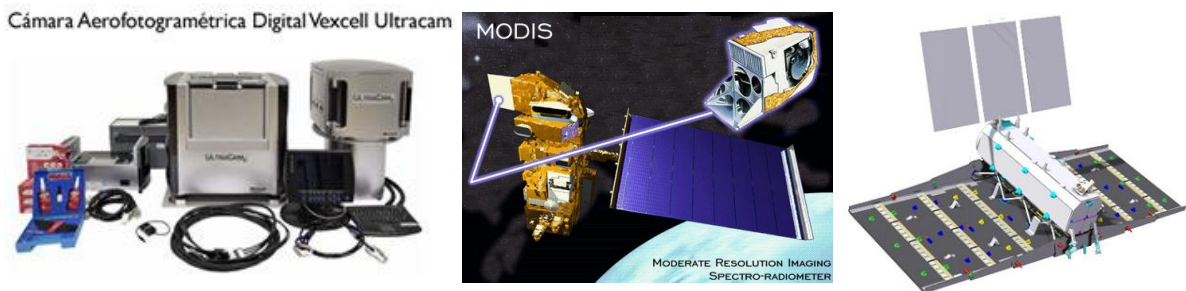


Figura N°43: Sensores Pasivos, cámara aerofotogramétrica y sensor satelital. Sensor Activo del sistema radar saocom.

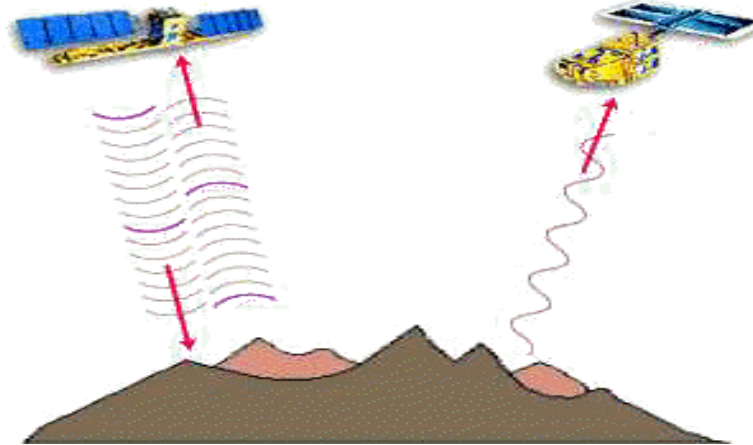


Figura N°31: Principios de funcionamiento de los Sensores activos y pasivos.

11.3.4. La Imagen Digital.

La American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, define a la fotogrametría como el arte ciencia y tecnología de obtener información de los objetos físicos y del medio ambiente mediante procesos de registro, medición e interpretación de imágenes fotográficas y de modelos de energía radiomagnética y otros fenómenos. Esta definición, reconoce que las imágenes pueden ser adquiridas no solo mediante el empleo de cámaras, sino también mediante la utilización de sensores remotos especiales.

Una imagen digital, es una función, $f(xy)$ donde x e y representan unas coordenadas y el valor de la función es proporcional a la reflectividad de la luz, que se conoce visualmente por el nivel de color o de gris en el punto considerado. Al proceso de obtención de imágenes digitales, se lo denomina digitalización y consiste en la descomposición de la imagen real en una matriz discreta de un determinado tamaño donde cada uno tiene un valor proporcional a su nivel de color.

Puede decirse que una imagen digital, es una matriz, compuesta por filas y columnas, donde a cada celda de la matriz se la denomina pixel (picture element) y representa una superficie que es función de su tamaño. A cada pixel, le corresponde un valor que se denomina Nivel Digital. El nivel digital puede representar diversa información, por ejemplo puede ser proporcional a características físicas del área (radiancia, reflectividad, transmisividad, etc.) o puede representar valores resultantes de la manipulación de la información original. La matriz definida por los niveles digitales tiene un carácter multidimensional en función de los campos de información almacenados.

La calidad de una imagen digital, depende del tamaño del pixel (resolución espacial) aunque también hay que tener en cuenta que la calidad dependerá del sistema, hard y soft, tanto en posibilidades gráficas como en almacenamiento. Las imágenes digitales presentan además, las siguientes ventajas:

- Por su soporte de almacenamiento, carecen de los problemas derivados de la estabilidad dimensional que afecta a las imágenes y mapas analógicos.
- Pueden ser “*modificadas*”, con relativa facilidad para mejorar su visualización.
- Es posible modificarlas para poner de manifiesto algún elemento específico de la superficie.
- Pueden ser transmitidas.
- Posibilitan trabajos en simultaneo
- Los productos derivados de ellas también son obtenidos en formato digital, por lo que también pueden ser directamente incorporadas a los SIG.
- El único inconveniente que presentan está relacionado con la necesidad de disponer de un elevado volumen de almacenamiento.

11.3.5. Aportes de la Teledetección al SIG.

Ambos sistemas son totalmente separados, pero pueden intercambiar datos utilizando sistemas de transferencia. Además, pueden ser aprovechados mutuamente ya que existe una interfaz común a los dos sistemas. Ambos permiten el manejo de los datos geográficos clásicos en modos vectorial y raster. El interés en esta conexión es evidente, ya que con una imagen integrada a un sistema SIG es posible actualizar e interpretar datos de manera más rápida, además la combinación de información vectorial y raster resulta óptima para una mejor visualización de la realidad territorial.

Así, la relación entre SIG y el tratamiento de imágenes, representa un eje de desarrollo interesante. Además, los datos provenientes de la teledetección serán favorecidos por el desarrollo de las bases de datos del SIG. Particularmente, la teledetección satelitaria por las cualidades intrínsecas de los datos permite la actualización o creación de mapas. Otro ítem importante es que proporciona información muy importante sobre la ocupación y características del suelo.

11.4. Modelo Digital de Terreno.

Un concepto ampliamente aceptado dentro del ámbito geográfico, es el que define a un modelo como: “una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades” (Joly 1988), de esta definición se desprende que un modelo pretende reproducir solo algunas de las propiedades de un objeto o realidad original. Un modelo se construye estableciendo una relación de correspondencia con esa realidad cuyas variantes, pueden producir modelos de características diferentes; Turner, (1970) distingue tres tipos básicos de modelos:

- **Icónicos:** cuya relación de correspondencia se establece a través de las propiedades morfológicas, por ejemplo una maqueta es un modelo del objeto representado donde la relación establecida es fundamentalmente una reducción a escala.
- **Análogos:** estos poseen algunas propiedades similares a los objetos representados pero sin ser una réplica morfológica de los mismos; por ejemplo un mapa es un modelo de la realidad establecido mediante un conjunto de convenciones, relativamente complejo que conduce a un resultado final claramente distinto del objeto representado.
- **Simbólicos:** se llega a un nivel superior de abstracción ya que el objeto real queda representado mediante una simbolización matemática, geométrica o estadística.

Los modelos digitales de terreno, se incluyen dentro de estos últimos y consecuentemente las relaciones de correspondencia que se establecen con el objeto tienen la forma de algoritmos o formalismos matemáticos. En este caso, los MDT presentan algunas ventajas sobre el resto de tipos de modelo, derivadas de su naturaleza numérica, no ambigüedad, posibilidad de modelización de procesos con deducción estricta, verificabilidad y repetibilidad de los resultados. Otro aporte importantísimo de los modelos es que su construcción se realiza para conocer o predecir propiedades que se desconocen

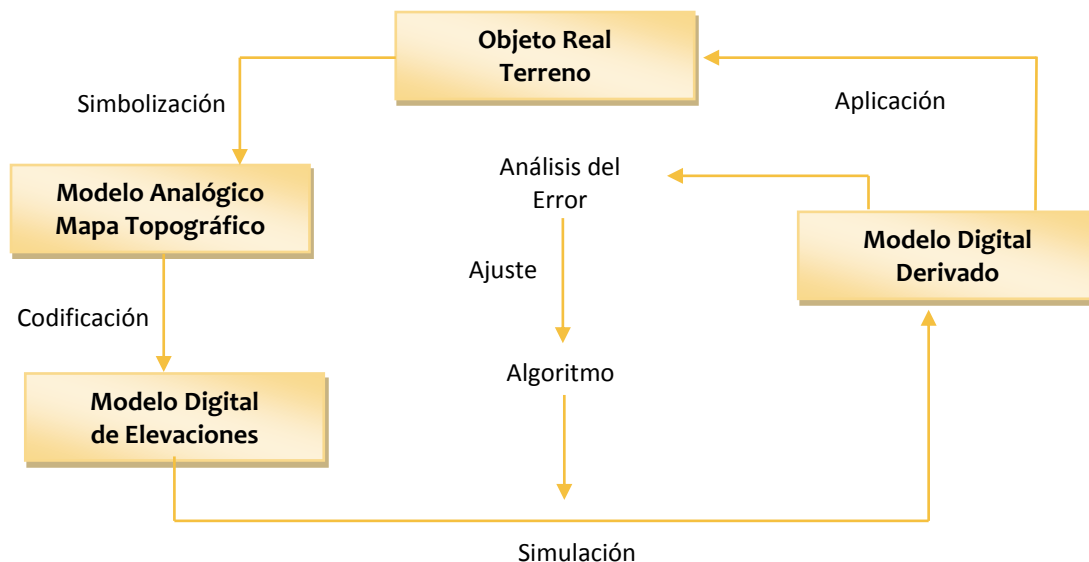
del objeto real. La elaboración de modelos debe realizarse de forma que la relación de correspondencia entre el objeto real y el modelo, sea al menos parcialmente reversible y exista, una relación simétrica que permita la traducción de algunas propiedades del modelo a la realidad.

La utilidad de los modelos es principalmente para conocer o predecir determinados comportamientos, pero están condicionados principalmente a una buena selección de los factores relevantes para el problema y a una adecuada descripción de sus relaciones funcionales. Cabe destacar, que la naturaleza digital y simbólica de los MDT permite una elevada precisión en la descripción de los procesos, pero no por esto garantiza la exactitud de los resultados. “Un modelo es una descripción aproximada que se construye mediante la aplicación de unos supuestos más o menos adaptados a la realidad, pero que nunca serán exactos” (Popper, 1984).

11.4.1. El MDT, Modelo Digital de Terreno.

Los MDT, son una categoría de modelos simbólicos que se ha desarrollado junto a las nuevas tecnologías digitales. Se definen como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio (Doyle 1978). Esta definición, resalta la importancia de la distribución espacial de la variable representada. Como vemos los MDT están codificados en cifras lo cual permite su tratamiento informático.

Para llegar a la elaboración de un MDT, es necesario efectuar un proceso de codificación de la información que permita una representación virtual, donde las relaciones espaciales o las características a representar se traducen a diferentes tipos de estructuras numéricas (vectores, matrices, etc) o a expresiones matemáticas, que expresan relaciones topológicas y funcionales. Se introducen entonces, dos condiciones suplementarias en la definición de los MDT, la primera es que debe existir una estructura interna que represente las relaciones espaciales entre los datos y la segunda es que la variable representada debe ser cuantitativa y de distribución continua. Por lo tanto, un MDT es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (Felicísimo, 1994)



Esquema N°7: Proceso de creación de los Modelos Digitales.

La construcción de los modelos derivados y de los procesos de simulación dinámica, son posibles mediante el diseño de algoritmos numéricos, es decir que se construyen secuencias explícitas de operaciones matemáticas que construyen las soluciones a los problemas planteados. El correcto funcionamiento de estos algoritmos es susceptible, de revisión mediante el contraste o verificación del

modelo derivado con el real, mediante métodos de análisis de error. Estos, se basan en la comparación de la muestra extraída del modelo derivado con medidas empíricas del terreno, los resultados del análisis de error permiten efectuar ajustes en el algoritmo, aumentando su fiabilidad y capacidad predictiva. *“Un algoritmo sólidamente construido aplicado sobre un MDT fiable permite estimar propiedades que pueden ser aplicadas al objeto real con márgenes moderados de error, aportando información difícil de obtener con otros medios”* (Felicísimo, MDT, Introducción y aplicaciones a las ciencias ambientales).

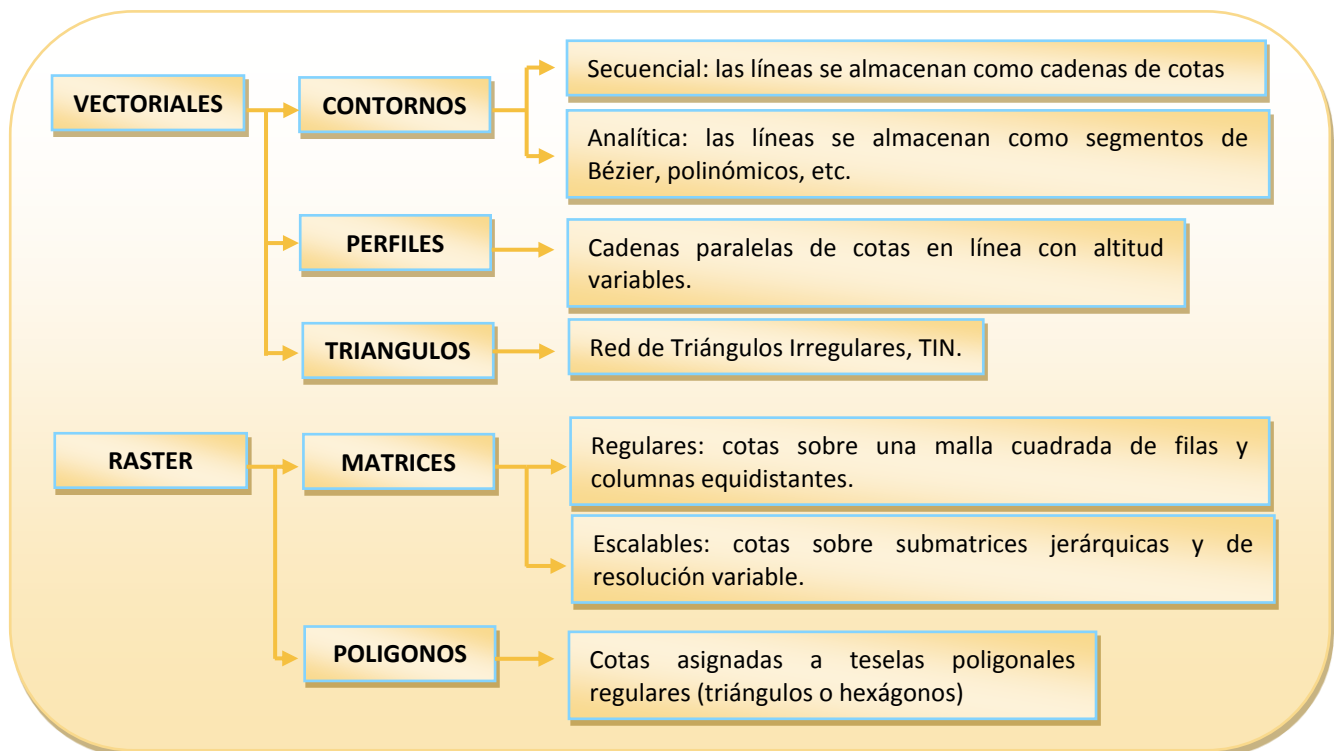
11.4.2. Justificación del uso de los MDT.

- La inclusión de los MDT como soporte básico en la investigación, en las ciencias ambientales supone un incremento notable en las posibilidades de trabajo e introduce un cambio cualitativo en el enfoque del mismo.
- El uso de MDT tanto como el desarrollo de sus aplicaciones, debe ser adoptado por equipos interdisciplinarios de trabajo por su amplia utilidad.
- Deben utilizarse algoritmos y aplicaciones que permitan con fundamentos claros y sólidos resolver problemas difíciles por métodos convencionales.
- Los campos más propensos para la aplicación de los MDT, son todos aquellos en los que el conocimiento de la topografía del terreno es fundamental para comprender el funcionamiento de las variables que caracterizan un área en estudio.
- Parte de los problemas en los campos de las ciencias, pueden abordarse mediante la modelización de procesos o el análisis de la información contenida explícita o implícitamente en el MDE.
- Los MDT, al tratar exclusivamente la distribución espacial de variables cuantitativas y continuas, pueden considerarse en este contexto como un parte de los SIG de gran trascendencia. Permiten la entrada de nueva información a los procesos de modelización cartográfica y la aplicación de la tercera dimensión a la información complementándola, mediante tratamientos que generan modelos temáticos específicos.
- La información generada por los MDT, puede ser integrada al SIG fácilmente para complementar y lograr mejores resultados.

11.4.3. Modelo Digital de Elevaciones. DEM.

La definición general presentada por Felicísimo, define al DEM como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie de un terreno. Matemáticamente se describe como: $z = \zeta(x,y)$. Donde z es la altitud del punto respecto de un plano de referencia, este punto está situado en las coordenadas x e y , y ζ la relativa función que relaciona la variable con su localización geográfica. Por lo general estas coordenadas coinciden con un sistema de coordenadas plano oficial. Esta ecuación, representa una superficie o campo escalar en el cual la variable altitud es una variable continua. Dado a que la superficie está formada por un número infinito de puntos no será posible su modelización sin pérdida de información, proceso equivalente a la generalización cartográfica.

También, esta ecuación relaciona la altitud con la localización geográfica, por lo que la unidad básica de información en el MDE es el valor de la altitud, al que acompañan valores de x e y expresados en un sistema de proyección geográfica. Mientras que los mapas tradicionales, utilizaban únicamente las curvas de nivel para la representación de la superficie los MDE disponen de otras opciones que adaptadas al proceso de cartografía digital optimizan resultados dentro del SIG. La altitud se describe como un conjunto finito y explícito de cotas, el valor propio de un punto será estimado por interpolación a partir de los datos de su entorno.



Esquema N°8: Estructuras usuales utilizadas en el almacenamiento de modelos DEM.

Los modelos digitales de elevación, también se dividen en dos grupos, vectorial y raster en función de la representación de los datos. Los modelos vectoriales están basados en entidades definidas por sus coordenadas. En los raster los datos se interpretan como el valor medio de unidades elementales de superficie no nula que teselan el terreno con una distribución regular. (Felicísimo, 1994).

Esta división clásica, tiene más que importancia en el caso de los SIG, las matrices, caso característico de la estructura raster, pueden ser consideradas como un conjunto de puntos acotados sin asumir necesariamente que el atributo se asigna a una celda cuadrada de altitud uniforme. En los modelos vectoriales, los atributos del terreno se representan mediante líneas y puntos acotados, los puntos se definen mediante un par de valores de coordenadas y las líneas mediante un vector de pares de coordenadas. Esta simplicidad inicial puede evolucionar a otras estructuras donde los vectores son puntos rectilíneos y se encuentran organizados de manera más compleja. Sin embargo, hasta la actualidad las estructuras más representativas son básicamente cuatro; dos vectoriales, contornos o isopletas (contours) y TIN (Triangulated Irregular Network) y dos raster, matrices regulares (UGR, Uniform Regular Grids) y matrices jerárquicas (estructura tipo quadtree).

- **Modelo de Redes de Triángulos Irregulares TIN:** es una estructura de datos muy utilizada, se compone de un conjunto de triángulos irregulares adosados. Estos triángulos, se construyen ajustando a un plano tres puntos cercanos no colineales y se adosan sobre el terreno formando un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle, en función a la complejidad del relieve. Se trata de una estructura en la cual el terreno queda representado por el conjunto de superficies planas que se ajustan a una estructura anterior de puntos.-2-
- **Modelo Raster de Matrices Regulares:** esta es el resultado de superponer una retícula sobre el terreno y extraer la altitud media de cada celda, aunque el algoritmo también utiliza un valor puntual asociado a cada punto medio de la celda, con lo cual esencialmente construye un modelo vectorial de puntos. La retícula puede adoptar formas variadas pero la más utilizada es una red regular de forma cuadrada con filas y columnas equiespaciadas. En esta estructura, la

localización espacial de cada dato esta implícitamente determinada por su situación en la matriz. Las matrices de altitudes suelen ser generadas mediante interpolación a partir de un modelo previo de contornos o por métodos fotogramétricos. -2-

- **Modelo Raster de Matrices de Resolución Variable:** el interés en estas reside en la posibilidad de solucionar el principal problema de las matrices regulares (su resolución espacial prefijada), manteniendo además, sus principales ventajas, la sencillez conceptual y operacional. En este tipo de matrices, los elementos pueden ser o bien datos elementales o submatrices con un nivel de resolución diferente. La estructura final es un árbol jerárquico y dinámico de submatrices con una profundidad en principio arbitraria y cuya resolución espacial se duplica en cada nivel. Se trata de una estructura análoga a los quadrees, utilizados para el tratamiento de variables categoriales. -2-

La captación de la información altimétrica, constituye el paso inicial para la construcción del MDE, esta fase también incluye el proceso de transformación de la realidad geográfica a la estructura digital. Ya hemos mencionado anteriormente que esta es la fase más costosa tanto en tiempo como de trabajo. También, es una fase trascendente ya que de la calidad de estos datos dependerá mayormente el resultado final de la modelación. Otra parte importante, a tener en cuenta es que luego los datos deben ser estructurados de forma adecuada para el manejo de la información dentro del software, ya que esto puede realizarse de formas variadas dependiendo de si la información es de orden vectorial o raster. Los datos necesarios para la construcción del MDE pueden ser también siguiendo con la anterior clasificación:

- **Directos:** ya sea utilizando relevamientos GPS o mediante levantamientos con Estación Total, teodolitos y nivel.
- **Indirectos:** que pueden ser provenientes de restitución fotogramétrica o de distintos métodos de digitalización.

11.4.4. Caracterización del Relieve mediante los MDT.

Como vemos, el modelo digital contiene información de dos formas diferentes, la primera de ellas se expresa en forma explícita mediante los datos propios contenidos en el modelo; la segunda está dada de manera implícita en el sentido de que intervienen las relaciones espaciales entre objetos y datos, estas relaciones también se consideran incluidas en el modelo. Estos dos tipos de información son complementarias y permiten obtener datos de diferente carácter, del primer tipo de información se derivan descriptores de carácter global de la superficie, destinados a dar una información sintética del terreno. El segundo tipo de información, se utiliza para construir *Modelos Derivados* que muestran otras variables topográficas, como lo son los Modelos de Pendiente y Rugosidad.

Para construir estos modelos derivados, se utiliza información estructural que está implícita en el MDE y en las relaciones topológicas de los datos. Este tipo de información, puede ser utilizada para caracterizar el relieve, dado que los procesos geológicos y geomorfológicos dejan intensa huella sobre la variable topografía, que caracteriza un área en particular. Por lo tanto, la descripción de la morfología del terreno, junto a su descripción, análisis y estudio hacen del MDE un instrumento de gran utilidad.

Entonces, a partir del MDE es posible construir un conjunto de modelos digitales que representan variables derivadas directamente de la topografía, de las principales variables implicadas las más utilizadas son la Pendiente, Orientación, Curvatura y Rugosidad.

- **Pendiente:** la pendiente en un punto del terreno, se define como el ángulo existente entre el vector gradiente (gradiente topográfico) en ese punto y el eje vertical (Z). en general los

algoritmos que utilizan los programas expresan este valor en radianes, por lo que deben luego transformarse en números enteros para su almacenamiento en una matriz.

- **Orientación:** se define como el ángulo existente entre el vector que señala al norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector gradiente, la expresión para calcularla a partir del gradiente topográfico se deduce utilizando algoritmos muy parecidos al modelo de pendiente.
- **Curvatura:** se define como la tasa de cambio en la pendiente y depende de las derivadas segundas de la pendiente, es decir cambios de pendiente en el entorno del punto. Los análisis de curvatura tienen especial interés por su forma direccional, son útiles por ejemplo para realizar seguimientos a lo largo de perfiles hidrológicos o líneas de flujo.
- **Rugosidad:** no existen criterios uniformes para llevar a cabo la medida de la rugosidad, diversos autores plantean métodos distintos para su evaluación. Balce (1987) utiliza la pendiente media como factor de evaluación; Evans (1972) menciona desde rangos de altitud hasta la desviación estándar de la elevación en entornos limitados; Hobson (1972) usa tres métodos para su evaluación, Franklin (1987) ya propone métodos más específicos adaptados a los procesos de computación, basados en el tratamiento de matrices de transición.
- **Modelo Sol-Sombra (Hillshades):** Modela la iluminación sobre distintos objetos de la superficie terrestre, que se interponen con la trayectoria de una fuente de luz (Sol), cuyos parámetros de acimut y alturas para una época del año, se ingresan como parámetros de entrada.

Los modelos digitales pueden ser interpretados de dos formas:

- **Una manera Cualitativa:** en la cual el análisis se realiza visualmente, de forma equivalente a una fotointerpretación.
- **Una manera Cuantitativa:** es en la que se usan valores numéricos de la asignatura geométrica para analizar estadísticamente las distribuciones y relaciones entre las variables.

“La clasificación de las formas del relieve se integra en los métodos de análisis cuantitativo y puede definirse como el conjunto de procesos que permiten realizar el agrupamiento de los elementos en grupos (clases) con propiedades significativamente diferentes entre sí. La aplicación de este concepto a la caracterización del relieve supone la intención de discriminar diferentes tipos” (Felicísimo, Modelos Digitales de Terreno, Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales)

12. Modelo Raster vs Modelo Vectorial

Los programas diseñados para manejar datos geográficos, están enfocados a uno de los dos modelos mencionados, el vectorial o raster. Aunque, lo ideal sería tomar las ventajas del vectorial y las del raster para realizar una combinación y producir resultados, los cuales son superiores que la aplicación de uno solo de ellos.

12.1. Modelo Vectorial.

Ventajas:

- Estructura compacta de datos.
- Buena representación de los datos espaciales.
- Gráficos muy precisos.
- Al almacenamiento es topológico.
- Permite análisis de continuidad y adyacencia.
- El espacio de las coordenadas es continuo, la localización, las dimensiones y las distancias son calculadas con mucha precisión.
- La digitalización de los datos vector necesita más tiempo pero proporciona una información más compacta, fácil de utilizar y donde es más fácil de visualizar los objetos gráficos.
- Muchos procesos geométricos, son posibles porque los datos vectoriales se almacenan bajo una forma matemática muy sencilla, segmentos, arcos, círculos, polígonos, etc.

Limitaciones:

- Estructura compleja de almacenamiento de datos.
- Las operaciones de sobreposición son complejas y lentas.
- Es tecnología relativamente cara por su gran precisión.

12.2 Modelo Raster.

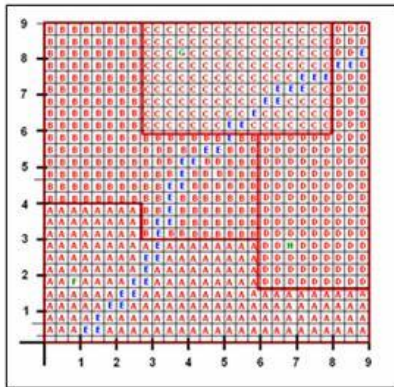
Ventajas:

- Estructura de datos muy simple.
- Operaciones de superposiciones simples y rápidas.
- Es posible la combinación de los datos con otros provenientes de la percepción remota
- Análisis de dominio espacial simples.
- Tecnología relativamente barata.
- Entrada rápida casi automática.
- Las imágenes obtenidas se asemejan mucho a la realidad, sobre todo si la resolución es grande.
- Se pueden aplicar algunos tratamientos (convoluciones, filtros, etc) a los datos y análisis (clasificaciones, combinaciones, etc) porque existe una unidad básica, que es el pixel.
- Se pueden superponer sobre ellos datos vectoriales.
- Pueden modificarse, corregir o actualizar datos obtenidos trabajando directamente sobre el pixel.
- Se pueden reproducir datos obtenidos a varias escalas.

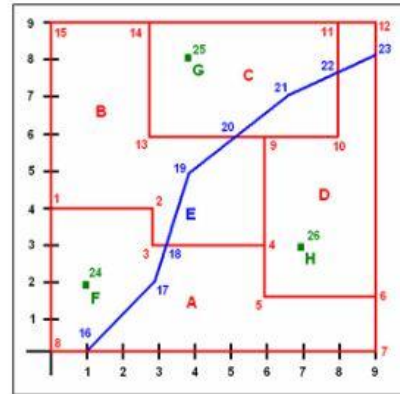
Limitaciones:

- Necesita grandes volúmenes de almacenamiento, aunque esto puede minimizarse utilizando métodos de compactación de datos.
- La precisión está relacionada con el tamaño del pixel.
- Los resultados son visualmente menos estéticos que los vectoriales
- Ciertos procesos insumen mucho tiempo.

■ La transformación Raster-Vectorial, exige complejos procesos de suavización.



Raster (ortofotografía)



Vectorial (cartografía digital)



Figura N°32: comparación de datos Raster y Vectorial.

12.3. Apreciaciones.

En general, ambos modelos son complementarios. El modelo raster es más conveniente para algunos tipos de aplicaciones como aquellas relacionadas con la teledetección, en cambio el Vectorial resulta más ventajoso para satisfacer las necesidades en la gestión de datos localizados.

Para el usuario especializado, se simplifica la elección ya que actualmente los modernos soft tiene la capacidad de convertir la información de un formato a otro. Se puede decir que la conversión vectorial a raster es relativamente sencilla pero al revés es un proceso bastante complejo y que insume gran cantidad de tiempo.

Por lo general, es conveniente que todo sistema SIG, cuente con datos en ambos formatos para que puedan ser complementados. Gracias a los soft es posible la superposición de ambos datos, lo cual visualmente ofrece grandes ventajas.

13. Análisis Espacial SIG.

El poder del SIG, es justamente la capacidad de analizar y manipular las propiedades y localización espacial de los datos, permitiendo producir nueva información, producir mapas y otros datos de salida asociados. Existen funciones de análisis que utilizan la base de datos con la información espacial y complementaria para la resolución de los distintos problemas; el análisis geográfico facilita el estudio de los procesos de la realidad mediante el desarrollo de modelos.

Para esto, se dispone en el ámbito SIG, de una amplia variedad de técnicas y procedimientos para analizar los datos. Así, a partir de un problema, primeramente se plantea la situación para luego resolver mediante secuencias ordenadas de procedimientos o análisis de los datos, se configuran procesos de modelamiento integrado de los datos. El tipo de datos que se emplean, determina a su vez la selección de los métodos de análisis a utilizar, luego gracias a estos se generan nuevos datos que responden a los interrogantes antes planteados.

Se puede definir así el análisis SIG, como un conjunto de herramientas y procedimientos que permiten la manipulación y análisis de los datos espaciales con la finalidad de obtener por resultado la solución a problemas previamente planteados, gracias al análisis e interpretación de las variables y resultados involucrados.

El Modelamiento SIG, es el conjunto de procesos analíticos ordenados que conducen a solucionar un problema. Un modelo SIG, presenta alternativas de solución a problemas empleando herramientas y secuencias de análisis, cuyos resultados pueden representar una mejor solución, mejor entendimiento del problema o ser apoyo en la toma de decisiones.

Pero, para poder aplicar con éxito estos diferentes procesos de análisis, se requiere información georeferenciada, que presente calidad en términos de accesibilidad, integridad, precisión, actualidad, consistencia, fuentes de información y procesos de producción. Ya sabemos que la calidad de la información generada por un SIG depende de la calidad de su base de datos, también la geometría de datos geográficos debe cumplir calidad en consistencia topológica, o sea en las relaciones entre los objetos. (Conceptos Básicos de Modelamiento, Bogotá, 2003)

Este concepto, es fundamental porque el análisis SIG se basa en la estructura topológica de los datos, ya que gracias a establecer ciertas relaciones espaciales entre los objetos del terreno será posible la realización de los análisis. Los procedimientos de análisis espacial de acuerdo a Congalton y Green (1995) se pueden dividir en las siguientes categorías básicas, las cuales pueden combinarse para realizar análisis complejos:

- Manipulación y mantenimiento de datos.
- Análisis de vecindad.
- Análisis de superposición.
- Análisis de modelos y análisis de redes.
- Análisis de modelos 3D.

14.1. Manipulación y transformación de datos espaciales.

Estas funciones, sirven para transformar, editar y obtener precisión en la información. Por ello también es muy importante la definición de un sistema de proyección único para determinar el tratamiento de escalas, medidas y otros parámetros. Estas funciones, se refieren a la capacidad de manipular y transformar datos una vez creados, las funciones que permiten realizar este tipo de tareas son:

- Conversión de coordenadas.
- Transformaciones geométricas.
- Transformaciones de proyección.
- Cambios de escala.
- Transformación de formatos.
- Remoción de polígonos fantasmas.
- Edición gráfica.

14.2. Análisis de Vecindad.

Estos análisis, consisten en procedimientos que utilizan la aplicación de algoritmos y funciones especiales que permiten definir “áreas de influencia” alrededor de un objeto, o cálculos de distancia entre objetos presentes en la realidad territorial. Los principales procesos de análisis de vecindad son:

- Buffer o definición de vecindad alrededor de un objeto.
- Análisis de Proximidad.
- Análisis geométricos.
- Análisis de vecindad mediante Interpolación.

14.3. Análisis de Superposición.

La superposición, constituye el proceso de integración de dos o más capas o coberturas de datos espaciales, consiste en la capacidad de superponer de manera vertical distintos datos espaciales. Para ello, se utiliza la estructura topológica de los datos. Mediante una superposición pueden crearse nuevas capas o mapas que contienen nuevos rasgos y atributos. Hay también, dos modos de superposición dependiendo de la estructura de los datos, superposición Vectorial o raster. Los tres tipos básicos de operaciones de superposición son:

- Unión.
- Intersección.
- Identidad.

Otros tipos de superposición topológica son:

- Disolución o Dissolve (fusión de polígonos).
- Actualización de coberturas o update.
- Extracción de datos o Clip.
- Borrado espacial o erase.

14.4. Análisis de Modelos y Redes.

Es un método especial de análisis de bases de datos vectorial, que están relacionadas mediante topología, así puede crearse una red que conecta diferentes puntos, estos puntos pueden ser por ejemplo una red vial o de drenaje. El análisis de redes, busca aprovechar esta conectividad en red entre rasgos lineales para resolver determinados problemas. Por ejemplo, un uso que podría darse a este tipo de análisis sería, hallar la ruta de transporte más eficiente para un destino.

El análisis de redes, utiliza herramientas especiales que permiten hallar factores como; rutas que miden tiempos de transporte, organización del tráfico, cálculo de distancias, localización de rutas mimas, costos de transporte, etc.

14.5. Algebra de Mapas.

Una capacidad cuantitativa del análisis SIG, es la aplicación de expresiones algebraicas a coberturas o mapas, conocido como algebra de mapas. Este proceso, permite a los usuarios especificar relaciones matemáticas entre las distintas coberturas o capas. De esta manera mapas enteros pueden ser sumados, restados, divididos o multiplicados, de acuerdo al problema inicial planteado pudiendo generar así nuevas capas de datos. Por ejemplo, un nuevo mapa puede generarse mediante la determinación de la diferencia entre elevaciones de un mapa topográfico y uno que contiene información de profundidad de napas freáticas.

14.6. Dificultades en los análisis.

El potencial éxito de los análisis y Modelamiento de datos puede verse completamente frustrado por faltas básicas, entre las cuales deben tenerse en cuenta las siguientes:

- **Ausencia de datos:** puede ser total acerca de un parámetro básico o ser parcial afectando la calidad y confiabilidad de los resultados.
- **Incertidumbre:** por mezcla de escalas, se da al mezclar coberturas con información general con otras de cobertura más detallada, lo cual genera incertidumbre o desconfianza en los resultados.
- **Dificultades en el establecimiento:** de las relaciones, es necesario por ello diferenciar las relaciones entre parámetros a analizar para evitar relaciones no posibles o inmanejables.
- **Dificultades de la compatibilidad de las fuentes:** la información suele encontrarse con frecuencia en distintos formatos, algunos de los cuales no son compatibles, creando dificultades de conversión o pérdida de información importante.
- **Dificultad Desactualizados:** datos con afectados debido al tiempo transcurrido, entre su hecho de ocurrencia y el tiempo en que se incorpora a una BDG, generando de este modo a través de distintos análisis espaciales información que también está desactualizada, lo que induce la toma de decisiones potencialmente erróneas sobre dicha información desactualizada.