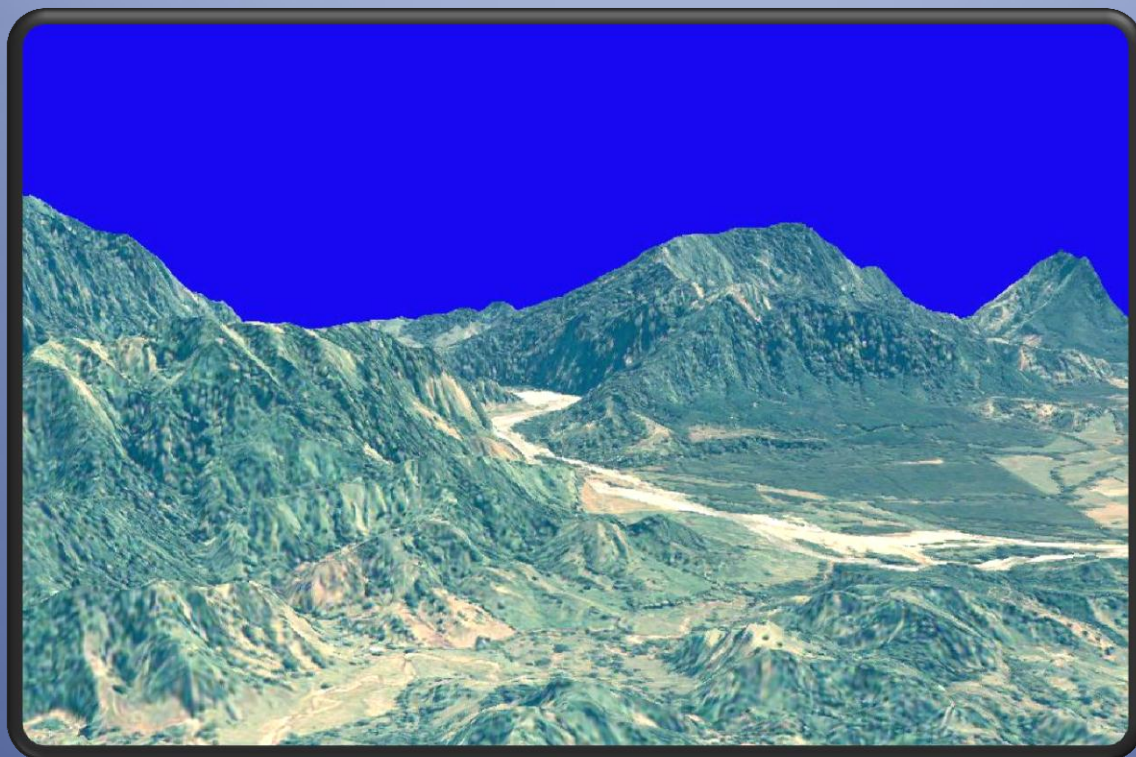




Datos y Geodatos

GeoInformación a su alcance

El presente documento describe los modelos de geodatos, las normas de calidad, su documentación utilizando geodatos y algunos aspectos básicos sobre la gestión del SIG

JORGE FALLA GAMBOA

Contenido

1. Introducción.....	2
2. Datos: espaciales, no espaciales y su representación en un <i>software</i> de SIG.....	2
A. Datos y sus formatos digitales (modelos geoespaciales).....	8
3. Normas y estándares geoespaciales	15
4. Geobase de datos	16
5. Metadatos y catálogo de geodatos	19
6. Opciones de <i>software</i> privativo y libre.....	20
1. <i>Software</i> privativo/comercial	25
2. <i>Software</i> libre y gratuito	28
3. <i>Software</i> libre no significa ausencia de costos	34
7. Gestión del SIG.....	35
1. Modelos de organización del SIG	35
2. Personal y áreas funcionales.....	36
3. Comité asesor y grupo de usuarios de SIG.....	38
4. Programa de capacitación.....	41
8. Referencias	45
9. Anexo 1: Formatos de archivos ráster.....	46

1. Introducción

En el presente capítulo se retorna el tema de los datos, sus diferentes formas de expresión espacial y no espacial, la representación de elementos del mundo real mediante modelos de datos, la creación de geobases de datos y su documentación mediante metadatos; las opciones de *software* privativo y libre; y los elementos por considerar para la gestión de un SIG saludable y productivo.

2. Datos: espaciales, no espaciales y su representación en un *software* de SIG

En el capítulo 1 se indicó que una de las funciones del *software* de SIG es mantener una representación digital lo más realista y exacta del mundo real, en lo referente a su posición y sus atributos o características. De igual manera, en el capítulo 2 aprendimos que los objetos o elementos del mundo real son complejos y que por esta razón para representarlos en mapas impresos o digitales deben escalarse y simplificarse. Los profesionales involucrados en la creación de geodatos recurren a imágenes o fotos de alta resolución y a elementos geométricos simples en dos dimensiones (X, Y): puntos, líneas, superficies o sólidos (polígonos), así como a anotaciones (texto) para representar los elementos de la realidad, como se aprecia en la figura 3.1.

En su sentido más amplio, un dato es una representación simbólica (e.g. código) o un atributo de una entidad que origina a los modelos de pensamiento humano. En la vida cotidiana, un dato puede expresarse como un hecho, un documento, una evidencia o un testimonio que, en un contexto dado, permite llegar al conocimiento de algo o a la deducción de una o más implicaciones. Por su naturaleza, el dato tiene sentido en un contexto particular (otorga significado o sentido a la realidad) o cuando es utilizado como insumo para realizar cálculos mediante procesamiento válidos (e.g. en una base de datos). En un entorno informático, los datos también describen las características de las entidades sobre las que operan los algoritmos, con la diferencia de que en este caso son expresados en un “lenguaje” legible por la computadora. Al utilizar un dato es importante recordar que este por sí solo no constituye información, sino que esta surge de su procesamiento y análisis.

El análisis¹ de un conjunto de datos organizados y procesados constituye información, la cual comunica un mensaje sobre un determinado ente, fenómeno o cosa². Los datos percibidos por medio de los sentidos se registran, integran y finalmente se analizan para dar paso a la información, la cual a su vez pasa a formar parte del conocimiento que permite tomar decisiones cotidianas. Las **principales características de la información son:**

- Significado (semántica)
- Importancia (relativa al receptor)
- Vigencia (en la dimensión espacio-tiempo)
- Validez (relativa al emisor)
- Valor (activo intangible volátil)
- Polimorfismo (cualidad de adquirir distintas formas)

¹ Distinción y separación de las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios o elementos (<http://www.rae.es/rae.html>).

² Todo lo que tiene entidad, ya sea corporal o espiritual, natural o artificial, real o abstracta (<http://www.rae.es/rae.html>).

La sabiduría³ consiste en determinar correctamente cuándo, cómo, dónde y con qué objetivo emplear el conocimiento adquirido.



Figura 3.1. Imagen satelital de súper alta resolución (A) y mapa del Parque Metropolitano de La Sabana, San José. Las fechas indican el sentido del tráfico vehicular.

Fuente: GoogleMaps (<http://maps.google.com/>)

a) Características, entidades o elementos y su representación geométrica

La superficie de la Tierra es sumamente compleja e incluye desde elementos microscópicos como las colonias de bacterias hasta grandes cadenas montañosas, continentes y mares, con la particularidad de que, sin importar su escala, todos están interrelacionados y espacialmente interconectados. Esto representa un reto tanto para el cartógrafo como para el informático responsable de crear una versión digital del “mundo real”. La estrategia utilizada, como veremos a continuación, es simplificar y dividir o clasificar.

³ Grado más alto del conocimiento, conducta prudente en la vida o en los negocios, conocimiento profundo en ciencias, letras o artes (<http://www.rae.es/rae.html>).

Una entidad o elemento representa una "cosa" u "objeto" del mundo real que se diferencia de manera unívoca de cualquier otro objeto o cosa, incluso si es del mismo tipo. Las entidades o elementos pueden ser objetos concretos (e.g. montañas, ríos, predios o parcelas) o abstractos (e.g. largo, ancho, profundo, bonito o feo). Su existencia es reconocida por un sistema ontológico⁴ y que constituyen la esencia o la forma de una cosa, ente o ser. Con frecuencia, del universo de entidades, se eligen solo algunas que son de interés para el sistema que se está desarrollando y sobre las cuales se registran datos que serán posteriormente representadas en un sistema de bases de datos. Por ejemplo, para una empresa agropecuaria, los clientes, las fincas, los cultivos y los proveedores serían parte de las entidades que conforman su universo.

En el mundo del SIG, el término clase de rasgo o característica (*feature class*) es utilizado para designar una colección homogénea de características o elementos geográficos de un *set* de datos que comparten la misma representación espacial (i.e. geometría), los atributos y el sistema de referencia geoespacial. Por ejemplo, las carreteras y los caminos principales y secundarios pueden agruparse en una clase de entidad lineal denominada "vías". Las cuatro clases de elementos geométricos comunes en una geobase de datos son los puntos, las líneas, los polígonos y las anotaciones (texto en mapas o planos), como pudo apreciarse en la Fig. 3.1. Por ejemplo, los puntos podrían representar hidrantes; las líneas cursos de agua; los polígonos, cuadras; y las anotaciones, los nombres de las calles y avenidas.

- **Datos no espaciales o atributos:** son datos tabulares (e.g. texto y números) que describen las características geográficas no espaciales de elementos del mundo real. Algunos ejemplos son área, longitud, pendiente y elevación.
- **Datos continuos:** son mediciones de una variable continua como la elevación o la pendiente. En el SIG estos datos son representados por medio redes de triángulos irregulares, archivos ráster o isolíneas, de tal modo que cualquier posición en una superficie tenga un valor que se pueda interpolar.
- **Datos discretos:** datos que representan variables con límites bien definidos. Las líneas de propiedad y las calles son ejemplos de datos discretos.
- **Datos temáticos:** características de un tipo que pertenecen a una sola capa como por ejemplo uso-cobertura de la Tierra, pendiente o elevación. En la cartografía, estos datos son representados utilizando mapas temáticos. Los mapas temáticos pueden describir elementos físicos, sociales, políticos, culturales, económicos, sociológicos o agrícolas de un espacio particular (e.g. finca, municipio, región, nación o continente).
- **Datos temporales:** son mediciones que se realizan a plazos o en fechas particulares. Los datos temporales pueden referirse a eventos discretos (e.g. una aguacero), objetos móviles (e.g. el recorrido de un tractor) o a observaciones repetidas en el tiempo (e.g. recuento de los sensores de tráfico).

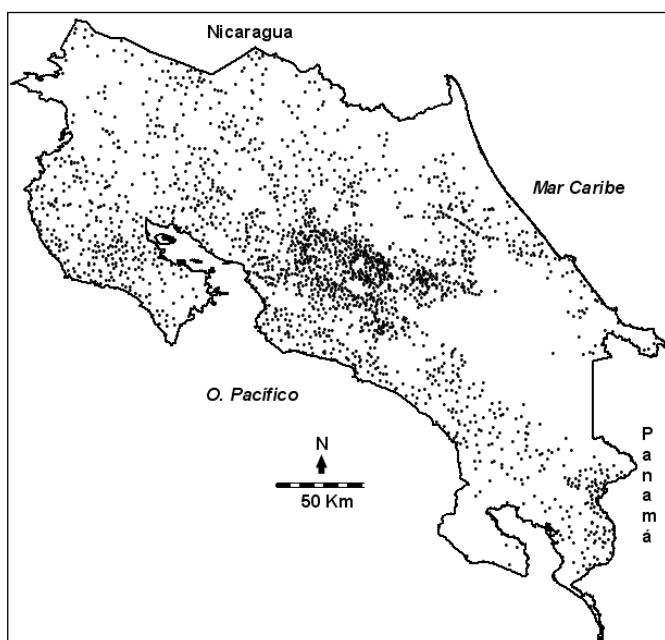
Un geodato (también denominado dato geográfico o dato geoespacial) es cualquier elemento u objeto tangible que existe en la realidad y que posee una ubicación o posición geográfica, la cual es normalmente almacenada

⁴ La ontología es la parte de la metafísica que trata del ser en general y de sus propiedades trascendentales (<http://www.rae.es/rae.htm>).

como coordenadas geográficas con topología, aunque también puede ser implícita (e.g. la finca se ubica en el cantón de El Guarco). El proceso de asignar una posición u ubicación a un objeto se denomina *georeferenciación*; es un atributo que distingue a un geodato de un dato (e.g. lluvia media anual o tipo de carretera). Los geodatos posibilitan la creación de geobases de datos inteligentes, las cuales con el apoyo del *software* de SIG permiten responder las siguientes preguntas:

- ¿Dónde está la finca de Juan Pérez?
- ¿Cuáles carreteras y caminos conducen a la finca de Juan Pérez?
- ¿Cuál parcela de la finca de Juan Pérez tuvo la mayor productividad en el año 2012?
- ¿Cuál es su pendiente, textura, fertilidad y la cantidad de fertilizante aplicado?
- ¿A qué distancia están ubicadas las quebradas en la finca de Juan Pérez con respecto a las parcelas cultivadas? ¿Cumple Juan Pérez con la normativa ambiental?
- ¿Cuál es la ruta que utiliza Juan Pérez para trasladar los productos desde su finca hasta el mercado de mayo?

El **punto** es un objeto geométrico unidimensional representado por un par de coordenadas (X, Y) que no posee longitud ni área ni perímetro. Los puntos son utilizados para representar ubicaciones de características geográficas discretas demasiado pequeñas para ser representadas como líneas o áreas, como la ubicación de un pozo, un árbol o un hidrante. Sin embargo, también se pueden utilizar para indicar la ubicación de elementos bidimensionales como poblados, escuelas, agroservicios o parcelas (figura 3.2.). Observe que en el mundo real dichos elementos poseen área y perímetro; pero por razones de escala y generalización, es válido representarlos en un mapa o en una geobase de datos si se utilizan puntos en lugar de polígonos. La decisión de representar un elemento del mundo real como un punto o como un polígono está estrechamente relacionada con la escala del mapa y con los objetivos del trabajo que se lleva a cabo. No es posible realizar ninguna medición con características puntuales, aunque sí se puede analizar su patrón espacial.



Esta imagen ilustra el uso de puntos para representar los poblados de Costa Rica. Observe la alta concentración de puntos en el Valle Central y su ausencia en la cordillera de Talamanca.

Figura 3.2. Poblados de Costa Rica representados como puntos Fuente: Cartografía escala 1:200.000, Instituto Geográfico de Costa Rica (IGN).

La **línea** es un objeto geométrico unidimensional que posee longitud, pero no perímetro ni área, y que puede ser una recta o una curva almacenada como una secuencia ordenada de vértices conectados entre sí por segmentos lineales ($v_1, v_2, \dots, v_n$, $v_n \neq v_1$) (figura 2.3.). A los vértices inicial (v_1) y final (" v_n ") se les denomina nodos. La especificación OGC⁵ utiliza el término cadena lineal para referirse a una curva, forma que no es recta en ninguna de sus secciones y que utiliza interpolación lineal entre vértices.

En los mapas y geobases de datos, las líneas se utilizan para representar la forma y ubicación de elementos geográficos demasiado estrechos como para ser representados como áreas a una escala determinada (e.g. línea central de las carreteras o ríos). Las líneas también son utilizadas para representar curvas de nivel, límites administrativos y entre propiedades. Una vez más, al igual que con las características de punto, los rasgos lineales que se muestran a pequeña escala se pueden representar como líneas y no como un polígono. La única característica que se puede medir de una línea es la distancia.

En el *software* de ESRI, la polilínea es una forma definida por una o más trayectorias o recorridos (partes), en los que cada trayectoria está formada por una serie de segmentos conectados. Si la polilínea tiene más de una trayectoria (una polilínea de varias partes o múltiple), estas pueden ramificarse o ser discontinuas (figura 3.3.). Una característica de la polilínea múltiples es que dos o más segmentos se asocian a un único registro en la tabla de atributos. El arco es un término utilizado comúnmente para referirse a un segmento de recta que une dos nodos o vértices de una polilínea o un polígono. Los arcos pueden incluir segmentos, círculos o cualquier tipo de curva suave definida por una serie de puntos interconectados. Cuando forman parte de gráficos o redes, pueden ser dirigidos o no dirigidos y poseer otros atributos (e.g. velocidad y dirección).

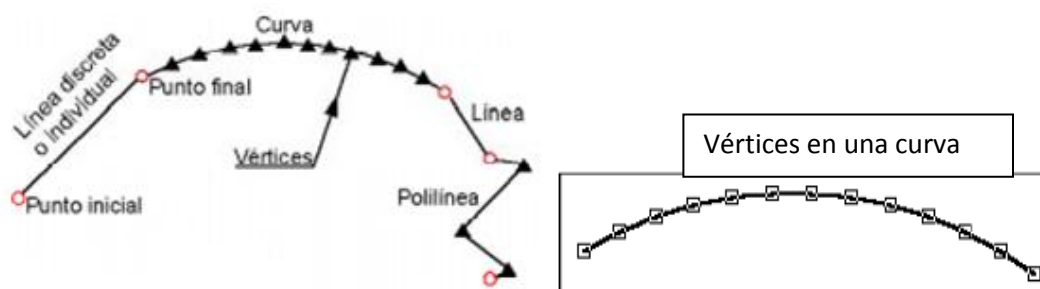


Figura 3.1. Líneas y polilíneas

El **polígono** posee área y perímetro y está formado por un conjunto de puntos o vértices interconectados entre sí ($v_1, v_2, \dots, v_n$, $v_n = v_1$). El vértice inicial (v_1) y el final (" v_n ") son iguales y, por lo tanto, forman una figura cerrada. Los polígonos se utilizan para mapear características geográficas que cubren un área particular de la superficie de la Tierra como una finca, un campo de balompié, una cuadra o un distrito (figura 3.4.). El Consorcio Geoespacial Abierto (OGC por sus siglas en inglés) define un polígono como una superficie plana definida por un límite exterior y ninguno o más límites interiores. El polígono se describe como convexo si cada par de puntos dentro del mismo se pueden unir por una línea recta que también se encuentra dentro del polígono.

⁵ Open Geospatial Consortium (Consorcio Geoespacial Abierto).



Figura 3.4. Polígonos de un archivo vectorial y su representación en un mapa impreso. Fuente: Cartografía 1:10.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Estas imágenes fueron extraídas de la hoja Pavas de la cartografía escala 1:10.000 de la Gran Área Metropolitana del IGN. En la primera imagen pueden observarse las líneas de las cuadras, las carreteras y el perímetro de la cancha del antiguo estadio Nacional. En la segunda imagen, se observa la misma área pero como aparece en el mapa impreso. Fuente: Elaboración propia.

Una **Red Irregular de Triángulos** (RIT) (TIN del inglés Triangular Irregular Network) es una representación vectorial de una superficie continua creada a partir de un conjunto de puntos (x, y, z) y de un proceso de triangulación⁶ (o mosaico). Este cubre una superficie con una red irregular de triángulos Delaunay⁷ contiguos que no se traslapan ni dejan espacios vacíos (figura 3.5.). A diferencia de un modelo teselar (ráster), el RIT permite representar áreas complejas utilizando una mayor densidad de puntos y áreas homogéneas con una menor número de puntos. El conjunto de datos RIT incluye las relaciones topológicas entre los puntos y sus triángulos vecinos. A los RITs también se les denomina malla irregular triangular o modelo de superficie irregular triangular.

La RIT es utilizada para el cálculo de volúmenes, pendientes, dibujo de curvas de nivel y otras operaciones similares. El teselado resultante cubre toda la superficie a representar, con triángulos lo más equiláteros posibles (triangulación de Delaunay), de tal manera que en terreno más abrupto los triángulos son más pequeños y en terreno de pendientes más uniformes y constantes los triángulos más grandes.

⁶ <http://mapcontext.com/autocarto/proceedings/auto-carto-4-vol-2/pdf/the-triangulated-irregular-network.pdf>

⁷ Técnica desarrollada por el matemático ruso Boris Nikolaevich Delaunay para crear una malla de triángulos contiguos, no superpuestos a partir de un set de puntos (XYZ) . El círculo que circunscribe a cada triángulo no contiene puntos en su interior.

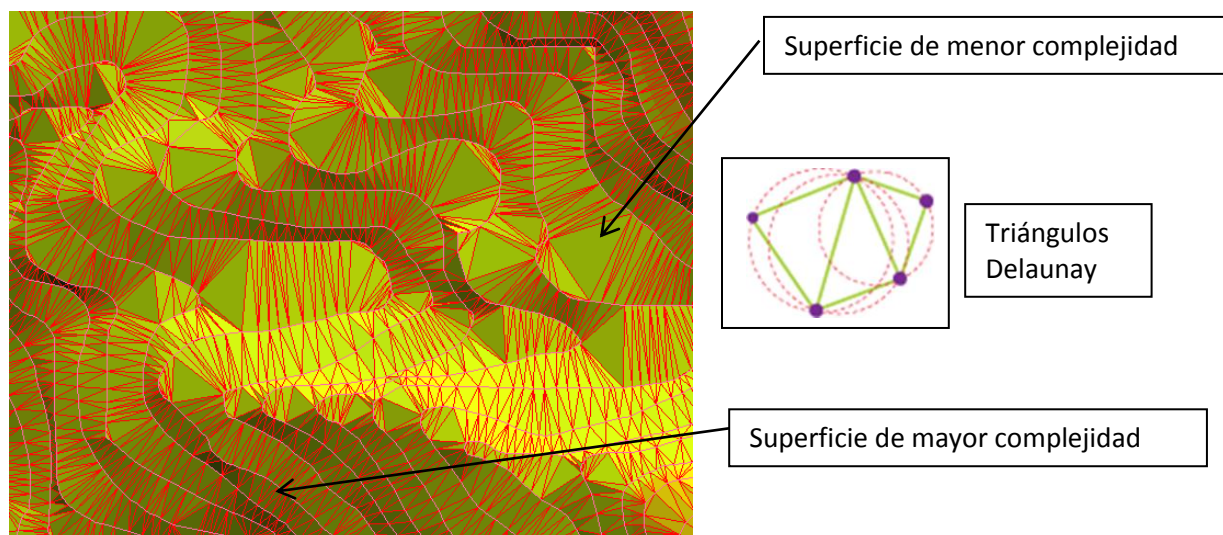


Figura 3.5. Red Irregular de Triángulos (RIT) (TIN del inglés Triangular Irregular Network). Fuente: Elaboración propia.

El **voxcel** (del inglés *voxel*: *volumetric píxel* o *volumetric Picture Element*) es la unidad mínima procesable de una matriz tridimensional y equivale al píxel en una imagen en dos dimensiones. Para crear un objeto en tres dimensiones (3D), los voxels poseen la propiedad de opacidad diferencial, lo cual permite observar “a través del objeto”. El formato voxel se utiliza cuando se desea mostrar detalles interiores de una imagen que quedarían ocultos por la capa exterior en una imagen 2D o 2.5D (figuras 3.6. A, B y C). Estas imágenes, a diferencia de las 2.5D, permiten mostrar la realidad en tres dimensiones⁸. Por ejemplo, con este formato de geodatos se puede mostrar la estructura interna del suelo o de un acuífero. Al igual que los píxeles en 2D, los voxels no contienen su posición (x, y, z) en el espacio 3D, sino que esta se deduce por la posición del voxel en el archivo de datos.

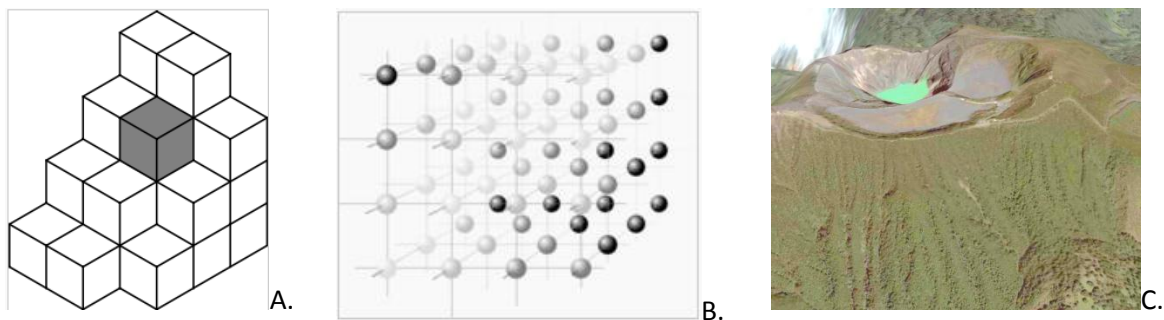


Figura 3.6. A. Estructura voxel. B. Representación en 3D de los voxcelos. C. Imagen en 2.5D. Fuentes: <http://en.wikipedia.org/wiki/Voxel>, <http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%B3xel> y GoogleEarth.

A. Datos y sus formatos digitales (modelos geospaciales)

En la teoría de la información, un modelo de datos es una descripción de las reglas utilizadas para definirlos, organizarlos, realizar consultas y actualizarlos dentro de un sistema de información (normalmente un Sistema de Gestión de Base de Datos. DBMS por sus siglas en inglés). El modelo de datos permite representar o describir tanto las cosas, entidades u objetos de la realidad como sus relaciones y en el caso de un SIG, es utilizado para describir matemáticamente cualquier dato que pueda mapearse. Por ejemplo, el modelo de datos vectorial

⁸<http://www.cs.sunysb.edu/~vislab/projects/volume/Papers/Voxel/index.html>,
<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helenagmslab/viz/vol1.html>, <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helenagmslab/viz/VIZ.html>

representa los elementos de una finca como colecciones de puntos, líneas y polígonos; el modelo de datos ráster los representa como matrices de celdas que almacenan valores numéricos y el modelo de datos RTI, los representa como un conjunto de triángulos contiguos que no se traslapan.

En la base de datos de un SIG, el modelo de datos describe las capas temáticas utilizadas en la aplicación (e.g. puentes, caminos y parcelas), su representación espacial (e.g. punto, línea o polígono), sus atributos (e.g. longitud, ancho, fecha y cultivo), sus reglas de integridad y las relaciones (e.g. las parcelas deben pertenecer a una finca y las fincas a un distrito) su representación cartográfica, y sus requisitos de metadatos.

En la sección previa se indicó que los puntos, líneas y polígonos son los objetos geométricos utilizados para representar elementos del mundo real en un mapa o en una geobase de datos. Nuestros mapas representan, a una escala reducida, lo que el cartógrafo considera esencial y relevante del mundo real. En este sentido, los mapas digitales, aun cuando no son una copia exacta de la realidad en el contexto de un SIG, permiten comparar, seleccionar y tomar decisiones basados en información actualizada e integral.

En un SIG, los elementos o características del mundo real deben convertirse en coordenadas (X, Y, Z). Debe utilizarse un sistema de referencia geográfico y almacenarse en el mundo digital del *software* de SIG a partir de archivos *vectoriales* o *ráster* (figura 3.7.).

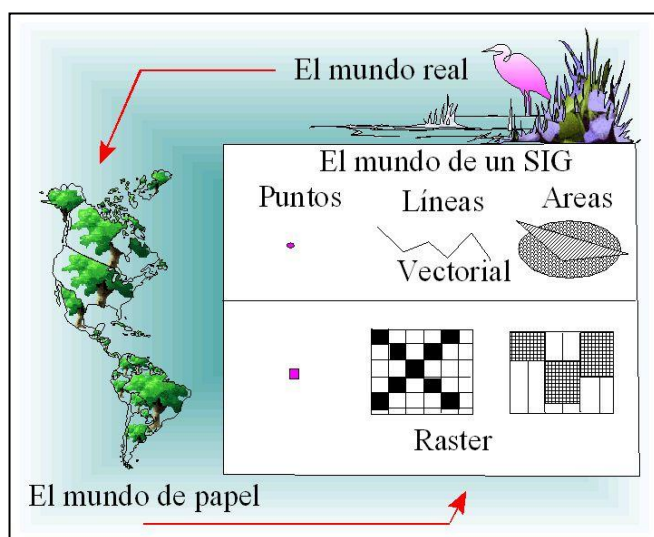


Figura 3.7. Relación entre el mundo real, los mapas y los archivos digitales en un software de SIG
Fuente: Elaboración propia.

Modelo de datos vectorial: representación de objetos o elementos del mundo real mediante puntos, líneas y polígonos. En un SIG, el término vector se refiere usualmente a datos formados por líneas o arcos, definidos por un punto inicial y otro final, los cuales al juntarse forman un nodo. Tanto la ubicación de cada nodo como su estructura topológica⁹ son almacenadas de forma explícita (e.g. "polígonos no deben traslaparse"). Las curvas son representadas como una serie de arcos interconectados y los elementos (e.g. fincas) se definen por sus límites. El almacenamiento de vectores implica recopilar solo los puntos que definen las entidades pues el espacio fuera de

⁹ La topología expresa las relaciones espaciales entre diferentes elementos gráficos y su posición en el mapa (e.g. proximidad, inclusión, conectividad y vecindad).

ellas es considerado como inexistente. Los geodatos vectoriales son apropiados para almacenar elementos que poseen límites discretos como las fronteras entre países o los límites entre fincas o parcelas.

El elemento fundamental o básico del modelo de datos vectorial es el punto, el cual está formado por un par de coordenadas X, Y. A partir de los puntos se crean las líneas, polilíneas y polígonos. El formato *Shapefile* (SHP) de la compañía ESRI (www.esri.com) se ha convertido en un estándar de facto para el intercambio de geodatos vectoriales entre programas informáticos de SIG; por esta razón se describe a continuación su formato. Un *shapefile* almacena digitalmente la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos; sin embargo no posee topología. Un *shapefile* está conformado por al menos tres archivos con las siguientes extensiones:

- **.shp** - Archivo que almacena las entidades geométricas (puntos, líneas o polígonos).
- **.shx** - Archivo que almacena el índice de las entidades geométricas.
- **.dbf** - Archivo en formato dBASE que almacena los atributos de los elementos geográficos.

Adicionalmente, un archivo *Shape* puede utilizar los siguientes archivos para acelerar las operaciones de consulta a la base de datos, proveer información sobre la proyección geográfica utilizada y almacenar metadatos: topología, modelo de datos ráster o teselar y estructura de datos.

- Topología

La Topología describe las propiedades espaciales de conexión y adyacencia entre elementos geográficos en una capa de geodatos a partir de relaciones entre nodos, enlaces y polígonos. Las relaciones topológicas se construyen de elementos simples a elementos complejos: puntos (elementos más simples), arcos (conjunto de puntos conectados), áreas (conjunto de arcos conectados) y rutas (conjuntos de secciones conformadas por arcos o porciones de arcos). Por ejemplo, la topología de una línea incluye los nodos desde y hasta y su polígono izquierdo y derecho.

La Topología permite definir la ubicación relativa de los fenómenos geográficos independientemente de su posición exacta, y utilizar el *software* de SIG para ejecutar operaciones geoespaciales sin utilizar coordenadas geográficas (figura 3.8. y cuadro 3.1.). Por ejemplo, para encontrar una ruta óptima entre dos puntos solo se necesita la lista de arcos que conectan los puntos y el costo de recorrer cada arco en una determinada dirección. Las coordenadas solo se utilizan para dibujar la ruta después de realizados los cálculos. La Topología tiene cuatro componentes básicos:

- 1) Dimensionalidad: distinción entre punto, línea, área y volumen, los cuales tienen dimensiones topológicas de 0, 1, 2 y 3, respectivamente.
- 2) Conectividad (topología arco–nodo):
 - Los puntos a lo largo de un arco que definen su forma se denominan **vértices**.
 - Los puntos finales de un arco se denominan **nodos**.
 - Los arcos se unen solo en los nodos.

3) Definición de área/contenido (polígono-topología de arco):

- Un polígono cerrado tiene un área.
- La lista de arcos que conforman un polígono definen sus límites y mantienen áreas cerradas.
- Los polígonos son representados como una serie de coordenadas x,y que se conectan para definir un área.

4) Contigüidad:

- Todo arco tiene una dirección.
- El *software* de SIG mantiene una lista de los polígonos ubicados a la derecha e izquierda de cada arco. La computadora utiliza esta información para determinar cuáles elementos son contiguos.

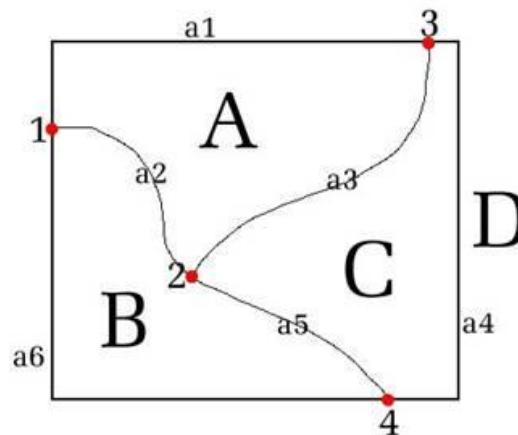


Figura 3.8. Relaciones topológicas.

La base de datos correspondiente a la figura 3.8 contiene los siguientes campos:

Cuadro 3.1. Relaciones topológicas de conectividad, contenido y contigüidad.

Conectividad		Contenido/definición de área		Contigüidad	
Nodo	Arco	Polígono	Arcos	Arco	Polígono izquierda y derecha
1	a1, a2, a6	A	a1, a2, a3	a1	A/D
2	a2, a3, a5	B	a2, a5, a6	a2	A/B
3	a1, a3, a4	C	a3, a4, a5	a3	A/C
4	a4, a5, a6	D	A1, a4, a6	a4	C/D
				a5	B/C
				a6	B/D

Fuente: Elaboración propia

- **Modelo de datos ráster o teselar**

El modelo de datos ráster o teselar permite representar objetos o elementos del mundo real (características geográficas) al utilizar una cuadrícula regular conformada por celdas que originan una matriz en dos dimensiones. Dicha matriz está conformada por filas y columnas cuyo origen se encuentra en la esquina inferior izquierda, en

lugar de la esquina superior izquierda, como es la norma en las matrices. La resolución de un *set* de datos ráster está dada por la dimensión de la celda (largo x ancho) en unidades de mapa. Cuanto menor sea dicho valor, mayor será la resolución y, por ende, mayor la exactitud geométrica de la base de datos. En un archivo ráster el punto es representado por una celda; la línea, por un conjunto de celdas interconectadas entre sí; y los polígonos, por un grupo de celdas que comparten el mismo atributo. A los archivos ráster también se les denomina mapa de *bits*, imagen matricial o mapa de píxeles. La conversión de un archivo ráster a uno vectorial se denomina sectorización (figura 3.9.) y el proceso inverso se denomina rásterización y ambos son realizados por el *software* de SIG.



Esta imagen satelital de alta resolución es un ejemplo de un archivo ráster. En la misma se puede apreciar con claridad el lago de La Sabana y el antiguo Estadio Nacional.



Herramientas e interfaz gráfica de *software* utilizado en el proceso de vectorización manual. Estas herramientas se encuentran tanto en software comercial como libre y son muy útiles para actualizar bases de datos geoespaciales

Figura 3.9. Herramientas utilizadas para vectorizar elementos desde una foto aérea (formato ráster).

Fuente: Google Earth y foto aérea del Instituto Geográfico, Costa Rica.

El píxel es el elemento más pequeño discernible en la imagen y puede almacenar un único atributo cuyo valor dependerá del método de codificación utilizado. Los valores más frecuentes son 0 o 1 (binario), enteros entre 0 y 255 (tonos de grises), enteros superiores a 0 (los cuales son visualizados como colores) y valores decimales. Sin embargo, cada celda puede tener además asociados otros atributos numéricos (e.g. temperatura), caracteres (e.g. uso-cobertura de la Tierra) o un valor nulo si no se dispone de datos o una tabla de atributos externa. Una característica de los archivos ráster es que se pueden apilar dos o más imágenes para formar un archivo

compuesto como el caso de una imagen satelital conformada por tres o más bandas (e.g. rojo, verde y azul), las cuales, al combinarlas, permiten visualizar la imagen en color.

Los archivos ráster son almacenados en formatos muy diversos¹⁰, desde los estándares utilizados en diseño gráfico como TIF, GIF, GeoTif, JPG y JPG2000 (ver anexo 1) hasta formatos propietarios como GRID de ESRI y IMG de Erdas o en registros en sistemas de bases de datos relacionales (RDBMS) como el objeto binario grande (BLOB por sus siglas en inglés). En general, el tamaño de un archivo ráster es varias veces mayor que el de un archivo vectorial para una misma área; sin embargo, cuando están indexados apropiadamente y se crea una estructura piramidal (como la de *Google Earth*) su recuperación y visualización es rápida, aunque con frecuencia requiere millones de octetos para almacenarlo. Al igual que con otros formatos digitales, todo archivo ráster puede convertirse en un archivo de intercambio denominado ASCII (American Standard Code for Information Interchange), el cual puede ser leído por todos los programas de SIG.

Los modelos de datos ráster son utilizados para almacenar datos de variables continuas como la pendiente, elevación, precipitación o temperatura. Los archivos digitales de fotos aéreas, imágenes satelitales y fotos terrestres son quizá las expresiones más conocidas del formato ráster.

- Estructura de datos

En Informática, una estructura de datos es una forma particular de organizar, almacenar y representar un modelo de datos en la computadora, de tal forma que puedan recuperarse y utilizarse de manera eficiente. La estructura más simple de datos es el arreglo unidimensional (listas), en el cual los elementos almacenados están numerados de manera consecutiva utilizando enteros (e.g. 1, 2, 3, 4...) y cuyo contenido es accesible por medio de dichos números. Cuando los elementos no están almacenados de manera consecutiva se pueden vincular mediante punteros para facilitar su acceso (direcciones de memoria que indican dónde se encuentra el "siguiente" elemento o los elementos en la estructura).

Una base de datos es una estructura más compleja conformada por un conjunto de datos almacenados sistemáticamente que comparten la misma temática. Por ejemplo, una mapoteca puede considerarse como una base de datos analógica compuesta por mapas indexados para facilitar su consulta y uso. No obstante, en la actualidad, la mayoría de las bases de datos se encuentran en formato digital y registran los atributos o características de los objetos que describen y no los objetos mismos.

Las bases de datos o bases de datos electrónicas son una colección de datos diseñada y estructurada para facilitar su almacenamiento, recuperación, modificación y depuración utilizando diversas operaciones de procesamiento de datos. Los programas informáticos denominados *Sistemas Gestores de Bases de Datos* (SGBD) permiten registrar, almacenar y tener acceso a los datos de forma rápida y estructurada. Las bases de datos pueden ser estáticas (cuando los datos almacenados no cambian en el tiempo) o dinámicas (los datos cambian con el tiempo y, por lo tanto, requieren de actualizaciones periódicas).

Un diagrama o modelo entidad-relación (a veces denominado por sus siglas E-R, *Entity relationship*, o DER diagrama de entidad relación) es una herramienta para el modelado de datos de un sistema de información. Estos modelos expresan entidades relevantes para un sistema de información, así como sus interrelaciones y propiedades. En la base de datos de un SIG, una entidad es la representación de un objeto del mundo real

¹⁰ http://www.globalmapper.com/product/formats_raster.htm

mediante un modelo de datos. Algunos ejemplos de entidades son: finca, cultivo, equipo agrícola y cantón. A su vez, cada entidad está formada por un conjunto de elementos o registros; por ejemplo, la entidad finca puede englobar 100 fincas (finca_01 a finca_100) que comparten un *set* de atributos. Por ejemplo, la entidad "finca" podría tener los atributos: nombre, ubicación, dueño y área. En el modelo de entidad-relación se reconocen dos tipos de entidades: las fuertes y las débiles. Las primeras tienen atributos claves, en tanto las segundas no los poseen.

Un diagrama o modelo entidad-relación es una herramienta para el modelado de datos en un sistema de información. Estos modelos expresan las entidades relevantes para el sistema de información, así como sus interrelaciones y propiedades (figura 3.10.). Brevemente esta técnica consiste en los siguientes pasos:

1. Se parte de una descripción textual del problema o sistema de información a automatizar (requisitos).
2. Se hace una lista de los sustantivos y verbos que aparecen (e.g. árbol, río, aprovechar, talar, proteger, patrullar o enseñar).
3. Los sustantivos son posibles entidades o atributos.
4. Los verbos son posibles relaciones.
5. Analizando las frases se determina el número de entidades con las que puede estar relacionada una entidad dada.
6. Se elabora el diagrama (o diagramas) entidad-relación.
7. Se completa el modelo con listas de atributos y una descripción de otras restricciones que no se pueden reflejar en el diagrama.

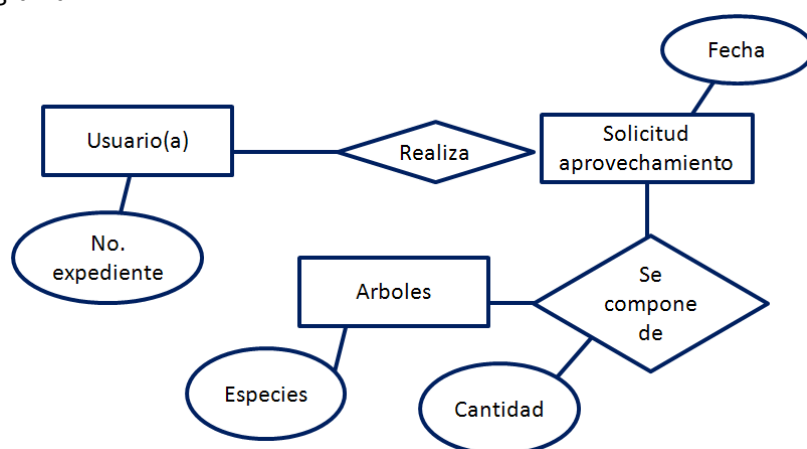


Figura 3.10 Ejemplo de diagrama de entidad-relación.

El lenguaje de búsqueda estructurada (*SQL-Structured Query Language*) es lenguaje estándar que permite acceder a registros de la base de datos utilizando el lenguaje cotidiano. El *software* de SIG provee extensiones SQL para realizar consultas basadas tanto en atributos como en relaciones espaciales.

En un *software* de SIG, toda capa de geodatos¹¹ posee una serie de atributos almacenados en una tabla individual o como parte de una base de datos (figura 3.11.). El atributo (valor numérico o alfanumérico) es una característica o propiedad asociada a un objeto individual (registro) en la base de datos geoespacial. Los atributos pueden ser explícitos, en cuyo caso se almacenan normalmente como uno o más campos en tablas vinculadas a un conjunto de objetos; también pueden ser implícitos o intrínsecos como la longitud de una polilínea o el área de un polígono.

¹¹ Una colección de entidades geográficas del mismo tipo (por ejemplo, puntos, líneas o polígonos).

Los archivos ráster suelen tener un solo atributo explícito (un valor) asociado a cada celda, en lugar de una tabla de atributos que contiene tantos registros como celdas posea la cuadrícula (aunque esto es posible). Las tablas pueden almacenarse en formatos simples como *Excel* o *Dbase*, archivos ASCII, CSV (Valores separados por coma) y en diversas bases de datos relacionales como *Oracle*, *MySQL*, *SQL Server*, *PostgreSQL*, *IBM DB2*, *SQLite* y *Microsoft Access*. Normalmente, el software de SIG provee herramientas para leer, guardar y exportar archivos de atributos en diferentes formatos.

Por ejemplo, la tabla de atributos de la capa “fincas” posee una tabla asociada que registra para cada instancia: área y perímetro (atributos intrínsecos), nombre de dueño, ubicación, precipitación media anual y cantidad de agroquímicos utilizados en el 2012. Estos datos podrían utilizarse para crear un mapa temático sobre uso de agroquímicos o sobre tamaños de las fincas. También podría usarse para determinar la distancia de cada finca a la carretera o camino más cercano.



Attributes of distritos_10_14años

DISTRITO	CODDIST	PROVINCIA	NCANTON
1	51001	Guanacaste	La Cruz
3	51003	Guanacaste	La Cruz
2	51002	Guanacaste	La Cruz
1	21401	Alajuela	Los Chiles
3	21303	Alajuela	Upala
2	21402	Alajuela	Los Chiles
6	21306	Alajuela	Upala
5	21305	Alajuela	Upala
13	21013	Alajuela	San Carlos
4	51004	Guanacaste	La Cruz
2	21302	Alajuela	Upala
7	21307	Alajuela	Upala
3	50103	Guanacaste	Liberia
1	21301	Alajuela	Upala
6	70206	Limón	Pococi
3	21403	Alajuela	Los Chiles
11	21011	Alajuela	San Carlos
4	50104	Guanacaste	Liberia
2	50102	Guanacaste	Liberia
2	21502	Alajuela	Guatuso
5	50105	Guanacaste	Liberia
4	21304	Alajuela	Upala
1	50101	Guanacaste	Liberia
2	41002	Heredia	Sanapiqui
4	21404	Alajuela	Los Chiles
6	21006	Alajuela	San Carlos
6	70206	Limón	Pococi

Figura 3.11. Tabla de atributos del mapa de división política administrativa de Costa Rica. En este caso cada registro corresponde a un cantón y los atributos del cantón son: código, provincia, y nombre del cantón. ¿Fuente? Elaboración propia.

3. Normas y estándares geospaciales

Un tema crítico en los esfuerzos por crear un SIG funcional y saludable es la adopción de normas y estándares geospaciales. Con frecuencia esta es una tarea del departamento de SIG o de la persona responsable del SIG. El uso de un estándar permite a la empresa o institución operar con más eficiencia, transparencia y credibilidad al contar con una normativa técnica común para todas las capas de geodatos y para los productos. También facilitará el intercambio de geodatos internamente y con otros actores externos. El estándar debe incluir las convenciones por utilizar para designar las capas de geodatos y los directorios, la estructura de los directorios, los metadatos y la elaboración de índices. La figura 3.12 muestra un ejemplo de un esquema simple para designar archivos y directorios.

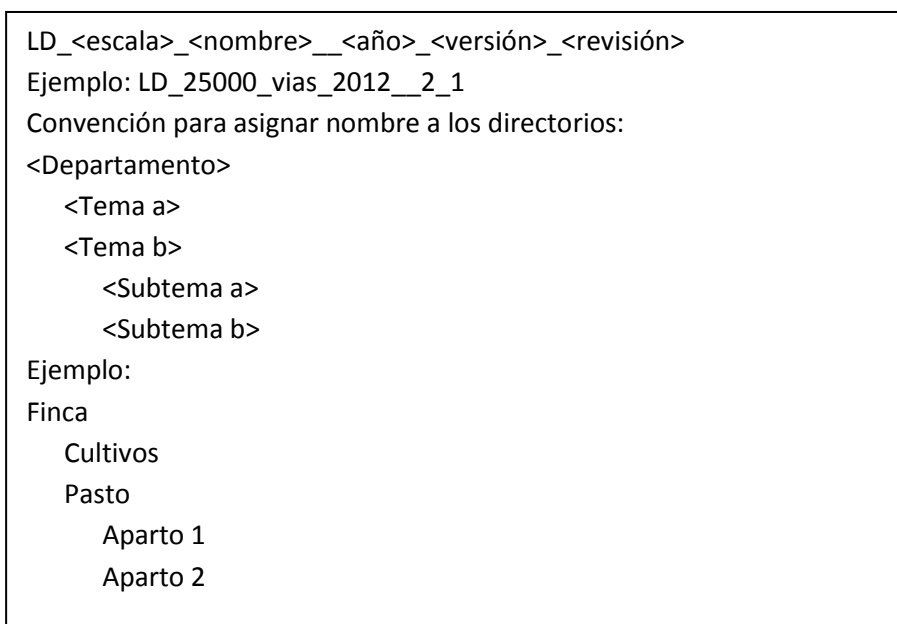
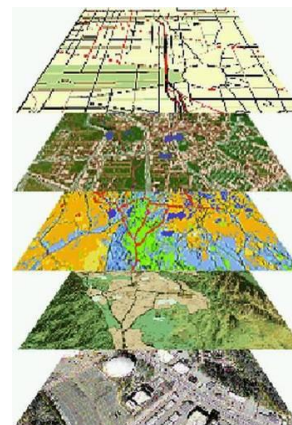


Figura 3.12. Convención para asignar nombre de los archivos. Fuente: Elaboración propia.

4. Geobase de datos

Una geobase de datos es un tipo particular de *base de datos* diseñada para almacenar, buscar y recuperar geodatos o atributos geográficos. También se le conoce como una base de datos geoespacial. En estas bases de datos, los geodatos son tratados como cualquier otro dato. Por ejemplo, los datos vectoriales pueden almacenarse como puntos, líneas o polígonos y pueden tener asociado un sistema de coordenadas. Los sistemas actuales pueden utilizar una geobase de datos para almacenar la ubicación de los objetos del mundo real (archivos vectoriales y ráster) y otra para almacenar los atributos asociados a los geodatos. La mayoría de las geobases de datos proveen funciones especializadas que permiten realizar búsquedas geoespaciales utilizando el lenguaje SQL (*Structured Query Language* o *Lenguaje Estructurado de Consultas*), diseñado especialmente para los *Sistemas Gestores de Bases de Datos Relacionales* (SGBDR). Estas bases de datos funcionan de la siguiente manera: cada relación puede visualizarse como una tabla que está compuesta por *registros* (filas de una tabla) y *campos* (columnas de una tabla). Algunos programas de SIG diseñados para trabajar con bases de datos menos complejas y de menor tamaño (como ArcView, GvSig e ILWIS) usan archivos planos o tablas (e.g. *Dbase*) para almacenar los atributos de los elementos geométricos.



Una de las ventajas de una geobase de datos digital relacional es que permite adicionar y eliminarse registros según lo requiera el usuario. En esta estructura, el lugar y la forma en que se almacenen los datos no son relevantes y, por lo tanto, su edición y actualización es más simple que en las estructuras jerárquicas y de red. Otra ventaja es que es fácil de entender y utilizar por usuarios esporádicos o no especializados en bases de datos. Los datos pueden recuperarse o almacenarse mediante "consultas" que ofrecen una amplia flexibilidad y poder para la gestión de la información como se ilustra en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Uso de la sintaxis SQL

El siguiente ejemplo ilustra el uso de la sintaxis SQL para crear una lista de fincas agrupadas por dueño. Para resolver esta búsqueda, el *software* explora las diferentes tablas relacionadas entre sí y luego agrupa y agrega los resultados.

```
SELECT finca.dueño,
       Contar (*) AS dueños
FROM finca
      JOIN dueño_finca ON finca.id = finca_dueños.id
GROUP BY dueño.finca;
```

Resultado de la búsqueda

Finca	Dueño
Juana Perez	2
Leo Aguirre	1
Jaime Valverde	2
Eleonor Baltodano	3

¿Fuente? Elaboración propia

En el contexto de un SIG, la geobase de datos puede visualizarse como un conjunto de capas de geodatos que describen la realidad mediante un formato digital. Las características de una geobase de datos son:

- Posee un sistema de coordenadas conocido.
- Está conformada por elementos geométricos y atributos.
- Su formato es digital.
- Es compatible con otras geobases de datos.
- Es actualizable-editable.
- Puede incluir archivos vectoriales y ráster.
- Su contenido puede ser publicado en la web.

Las principales ventajas de una geobase de datos son:

- Más flexibilidad en la recuperación y análisis de geodatos y sus atributos.
- Promueve la creatividad en el equipo de trabajo y facilita el desarrollo de nuevas aplicaciones al disponer de datos organizados y en formato digital.
- Los costos de captura, almacenamiento y uso son compartidos por diversos usuarios, lo cual racionaliza el uso de recursos en la empresa o institución.
- Facilita el mantenimiento y asegura la integridad de los datos e información utilizada por los diferentes usuarios en su toma de decisiones.
- Facilita actualizaciones o modificaciones en el futuro.
- Minimiza datos redundantes y por tanto optimiza la creación, mantenimiento y uso de la base de datos.

Las capas de geodatos por incluir en la geobase de datos y sus características (e.g. tema, escala) responden a las necesidades de la empresa o institución y a los requerimientos particulares de cada departamento o grupo de trabajo. Este es un proceso complejo y está más allá de los objetivos del presente texto; sin embargo, usted puede utilizar las preguntas del cuadro 3.3. como una guía para iniciar la discusión en su empresa.

Cuadro 3.3. Geodatos requeridos por la empresa o Institución

1. ¿Cómo puede el SIG optimizar las operaciones y procesos que actualmente se realizan? o cambiar la forma en que se logra una meta particular.
2. ¿Cuáles geodatos son de más beneficio para la institución?
3. ¿Cuáles geodatos pueden compartirse entre grupos de trabajo?
4. ¿Quién es o deberá ser responsable por su mantenimiento?

¿Fuente? Elaboración propia.

Los programas de SIG proveen herramientas que permiten crear, editar, visualizar y analizar capas de geodatos almacenados en geobases de datos. Con frecuencia se utiliza el término Capa SQL para designar a una capa de geodatos almacenada en una base de datos geoespacial (Fig. 3.13.). El editor SQL puede abrir capas de datos existentes, así como crear nuevas capas en una geobase de datos existente; sin embargo, no puede crear la geobase de datos. El editor se conecta a la geobase de datos SIG si utiliza el controlador de base de datos (ODBC) previamente instalado en la misma computadora que el editor. Algunos ejemplos de este tipo de geobase de datos son: capa vectorial *PostGIS SQL*¹², capas vectoriales y ráster en ArcSDE de ESRI¹³, capas vectoriales y ráster en *Oracle Spatial*¹⁴, capas vectoriales en *Microsoft SQL (MSSQL Spatial) Server 2008*¹⁵, *OpenGIS Simple Features para SQL*¹⁶ y *MapInfo SpatialWare*¹⁷.

¹² <http://postgis.refrations.net/>

¹³ <http://www.esri.com/software/arcgis/arcscde/index.html>

¹⁴ <http://www.oracle.com/technology/products/spatial/index.html>

¹⁵ <http://www.microsoft.com/sqlserver/2008/en/us/spatial-data.aspx>

¹⁶ <http://www.opengeospatial.org/standards/sfs>

¹⁷ <http://www.cmcus.com/products/vendors/mapinfo/spatialware.asp>

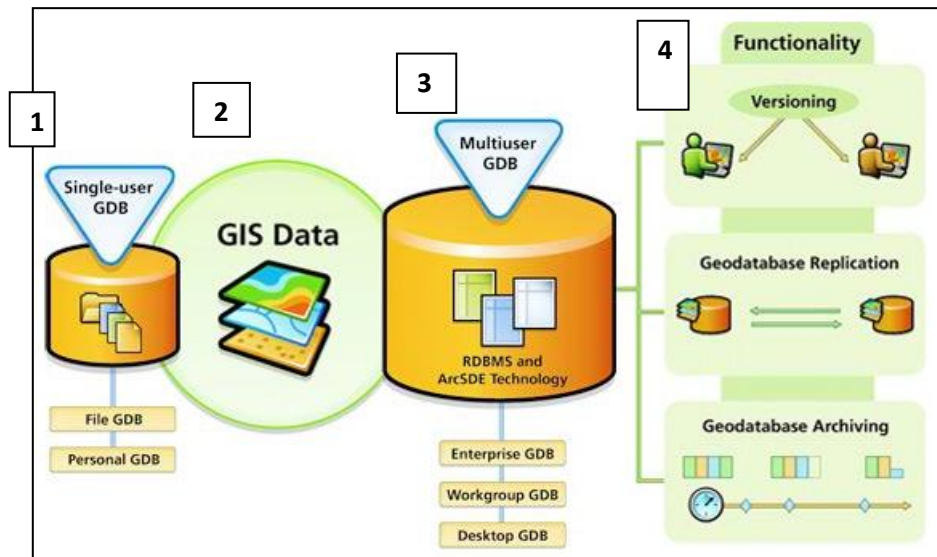


Figura 3.13. Modelo de geobase de datos. 1. Usuario personal *Microsoft Access (Jet Engine)*. 2. Geodatos y sus atributos. 3. Geobase de datos para usuarios múltiples. 4. Funcionalidad multiusuario.

Fuente: <http://www.esri.com/software/arcgis/geodatabase/index.html>

5. Metadatos y catálogo de geodatos

Los metadatos son datos que describen el contenido, calidad, condición y otras características de los geodatos (figura 3.14.). "La gente va y viene... pero los datos permanecen"; en este sentido, los metadatos ayudan a asegurar la inversión que la empresa o institución realiza en los geodatos y a la vez fomenta su uso a largo plazo. El catálogo de geodatos es la descripción de los objetos u elementos que conforman el modelo digital de la realidad (MDR) a una escala dada. En este catálogo se relaciona la definición, la clasificación, la codificación, la geometría y los atributos de todos los entes geográficos que conforman la geobase de datos.

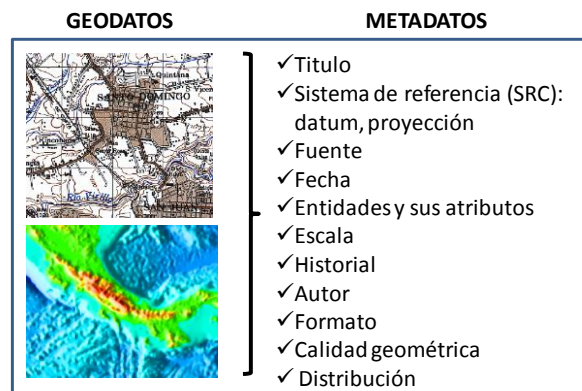


Figura 3.14. Concepto de metadatos. Fuente: Elaboración propia

El catálogo se entiende como la definición, la descripción, las funciones, los atributos y las relaciones entre objetos de uno o más conjuntos de datos geoespaciales. Su principal función es plasmar de manera tangible los objetos o elementos para que sus productores y usuarios comprendan los fenómenos del mundo real que representan. De lo contrario, los usuarios serían incapaces de juzgar si los datos suministrados son aptos para sus propósitos.

particulares. A pesar de que existen estándares para crear metadatos¹⁸ se recomienda documentar al menos los siguientes aspectos:

- Nombre de la capa de geodatos
- Ubicación geográfica (e.g. región, cantón, caserío, hoja topográfica)
- Breve descripción del método e instrumentos utilizados para crearlo
- Autor y fuente
- Sistema de referencia geoespacial: proyección y datum (vertical y horizontal)
- Escala para datos vectoriales
- Resolución para archivos ráster
- Fecha de creación y publicación del geodato
- Calidad de los geodatos: exactitud posicional y de atributos
- Formato original: digital, impreso
- En caso de mapas impresos, describir el procedimiento utilizado para digitar el geodato
- Tratamientos aplicados al archivo (e.g. georreferenciación, cambio de sistema de coordenadas o corrección de errores en atributos)
- Entidades y sus atributos
- Actualizaciones
- Ubicación física (e.g. directorio en disco o dirección en nube)
- Restricciones (e.g. público, privado, restringido)
- Mecanismo de distribución y condiciones de uso
- Responsable del geodato (persona, departamento; teléfono, correo electrónico)

El programa CatMDEdit (<http://catmdedit.sourceforge.net/>) es una herramienta que permite crear, editar y publicar metadatos para datos geoespaciales. Se trata de un *software* de código abierto y gratuito que ha sido desarrollada por la Universidad de Zaragoza con el apoyo del Gobierno de España. Esta herramienta, desarrollada en *Java*, es multiplataforma (opera en *Windows* y *Unix*), multilingüe y permite la creación de metadatos según la norma ISO 19115:2003, *Geographic Information-Metadata* y además permite la interoperabilidad con otros estándares internacionales de metadatos como CSDGM (*Content Standard for Digital Geospatial Metadata*), FGDC (*Federal Geographic Data Committee-USA*) y Dublin Core (ISO15836).

Si usted desea explorar las diferentes opciones de *software* disponibles para crear metadatos puede visitar el sitio <http://sco.wisc.edu/wisclinc/metatool/>. La compañía ESRI utiliza el programa ArcCatalog como una aplicación de *ArcGIS* para gestionar geodatos y sus metadatos. La herramienta permite crear y visualizar metadatos en formato ISO y FGDC CSDGM (*Federal Geographic Data Committee - Content Standard for Digital Geospatial Metadata-USA*).

6. Opciones de *software* privativo y libre

Los programas informáticos de SIG tienen muy diferentes orígenes y funcionalidades. Algunos tienen fines educativos otros son privativos y comerciales y aun otros libres y de código abierto; sin embargo, todos proveen

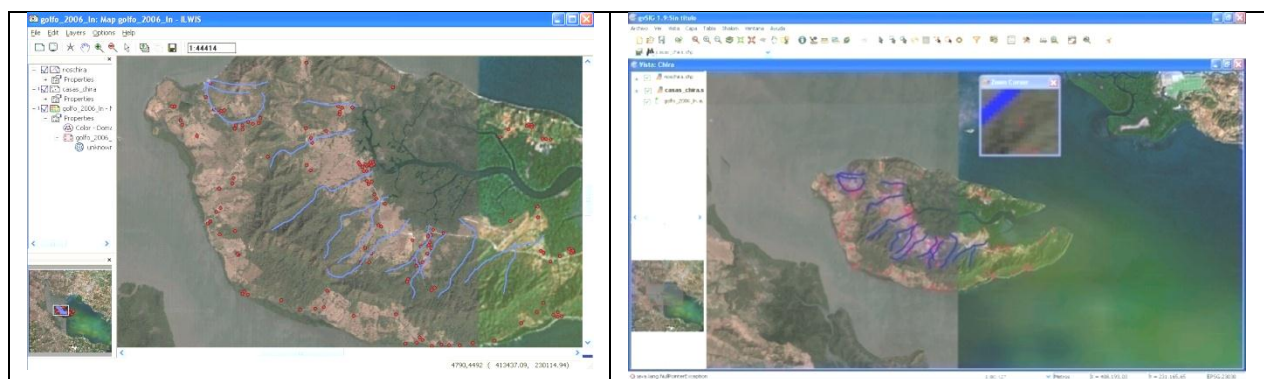
¹⁸ <http://www.fgdc.gov/metadata/geospatial-metadata-standards>; <http://geology.usgs.gov/tools/metadata/>

herramientas similares relacionadas con la creación de geodatos, uso de bases de datos, visualización, geoprocésamiento, creación de mapas y distribución y acceso de geodatos vía Internet¹⁹.

En la actualidad, casi todo *software* de SIG permite leer y utilizar imágenes satelitales y fotos aéreas; pero si usted requiere más funcionalidad en esta área debe utilizar programas especializados como *ERDAS*²⁰, *TNTMips*²⁰, *IDRISI*²⁰, *Manifold*²⁰, *ILWIS*²⁰, *SPRING*²⁰ o *PCI Geomatics*²⁰. En general, el *software* diseñado para trabajar con imágenes digitales enfatiza su captura, procesamiento e interpretación más que el análisis geoespacial *per se*; sin embargo, las nuevas versiones de software están haciendo esta separación cada vez menos rígida. El presente texto no incluye ninguna sección dedicada al procesamiento digital de imágenes a pesar de ser una fuente de geodatos para el SIG; por lo tanto, se recomienda que el lector utilice otras fuentes para ampliar sus conocimientos en esta área (Lillesand *et al.* 2008).

En nuestros días, existe una amplia variedad de *software* de SIG tanto privativo como libre. A nivel comercial, algunas pocas compañías dominan el mercado (e.g. ESRI, ERDAS, Intergraph y Autodesk); pero en área de *software* libre, al 2010, existían 349 proyectos relacionados su creación y mantenimiento (<http://www.freegis.org/>). El *software* libre ha experimentado una profunda transformación en los últimos cinco años. Las primeras versiones operaban en *Linux*, su interfaz gráfica era muy rustica y estaban restringidas a proyectos de investigación en ambientes académicos. Al 2012, muchos de estos programas operan en ambientes *Windows* y *Mac* y ofrecen una interfaz gráfica muy similar a los programas comerciales (figura 3.15.). La selección del *software* que mejor responda a las necesidades de la empresa o institución es un tema de preferencias y requerimientos particulares. Por ejemplo, no todos los programas tienen una interfaz en español, aspecto que puede limitar su uso cuando no se sabe inglés.

El Sistema de Información Geográfica (SIG) es un *software* que se utiliza para crear, almacenar, recuperar, analizar y visualizar datos geoespaciales; es decir, datos con una referencia a un lugar en la Tierra. El *software* de SIG suele utilizar dos formatos digitales para representar un fenómeno geoespacial: la representación ráster y la representación vectorial. En la representación ráster se utiliza una cuadrícula regular: donde cada celda registra el valor del atributo que describe el fenómeno como por ejemplo el uso-cobertura de la Tierra. Los tonos y gradientes se utilizan para representar variables continuas en el espacio, tales como elevación del terreno, pendiente o precipitación. El modelo vectorial permite almacenar objetos espacialmente discretos (e.g. límites) y para ello utilizan puntos, líneas y polígonos asociados a una tabla que describe las propiedades no-espaciales de cada elemento.



¹⁹ <http://opensourcegis.org/>; <http://www.spatialserver.net/osgis/>;

²⁰ <http://www.erdas.com/>; <http://www.microimages.com/>; <http://www.clarklabs.org/>; <http://www.manifold.net/>;
<http://52north.org/>; <http://www.dpi.inpe.br/spring/espanol/index.html>; <http://www.pcigeomatics.com/>

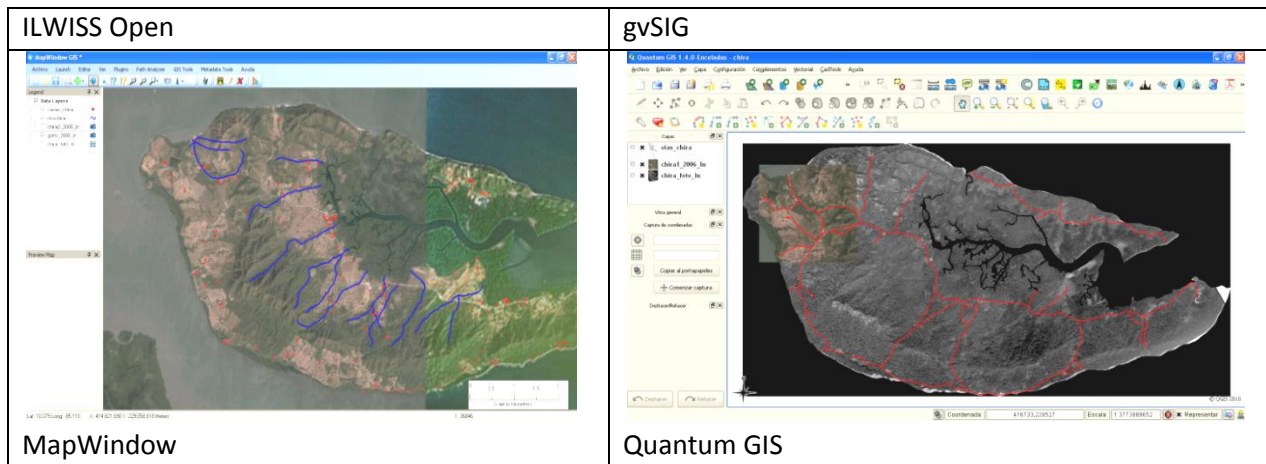


Figura 3.15. Ejemplos de interfaz gráfica de varios programas de código abierto y gratuitos. La interfaz actual es muy similar a la de programas privados como ArcView o ArcGIS de ESRI. Fuente: Elaboración propia.

El *software* de SIG incluye una variada gama de aplicaciones informáticas diseñadas para crear, almacenar, recuperar y procesar mapas digitales y datos georeferenciados. Según Steiniger y Weibel (2009), las tareas típicas realizadas por un *software* de SIG son (figura 3.16.)²¹:

1. Crear geodatos: antes de realizar cualquier análisis geoespacial los datos deben ser recopilarse mediante trabajo de campo, uso de mapas existentes, imágenes de satélite, ortofotos o adquiridos de proveedores de geodatos.
2. Editar geodatos: la edición de geodatos incluye tareas como la actualización de la geometría y atributos, transformación de coordenadas y cambio de formato.
3. Almacenar geodatos: los geodatos son almacenados en: archivos digitales individuales o bases de datos.
4. Visualizar geodatos: los datos almacenados deben visualizarse como una actividad previa a su análisis.
5. Integración o fusión con otros geodatos existentes: con frecuencia los datos nuevos deben integrarse a bases de datos ya existentes.
6. Consultas geoespaciales y por atributos: las búsquedas o consultas a la base de datos se utilizan para responder a preguntas concretas tales como ¿quién es el dueño de la finca "X" que colinda con el área protegida?
7. Geoanálisis o geoprocetamiento: esta la mayor fortaleza de un software de SIG y permite responder a preguntas tales como ¿cuál es el trazado óptimo para un corredor natural? o ¿cómo ha cambiado el uso-cobertura en un sitio entre dos fechas?
8. Producción cartográfica: la consulta y el resultado del análisis finalmente se visualiza en un mapa.

²¹ <http://mapcontext.com/autocarto/proceedings/auto-carto-12/pdf/pages245-254.pdf>;
<http://gis.nic.in/gisprimer/functions.html>; http://bgis.sanbi.org/gis-primer/page_35.htm;

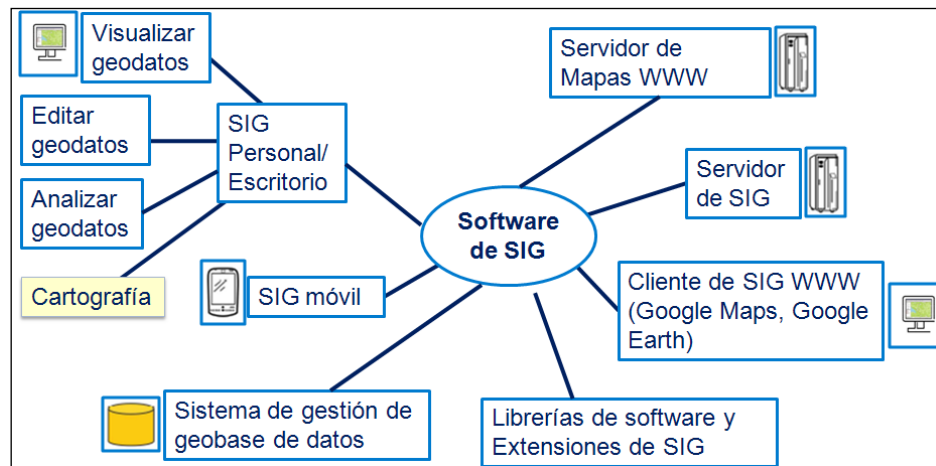


Figura 3.16. Tareas típicas realizadas por un software de SIG. Fuente: http://www.geo.unizh.ch/publications/sstein/gissoftware_steiniger2008.pdf

El desarrollo del *software* de SIG de código abierto tiene una larga tradición que inicia con la aparición del primer sistema vectorial en 1978 denominado MOSS (*Map Overlay and Statistical System*)²². En la actualidad, existen numerosos sistemas que cubren todas las tareas de gestión de datos geospaciales²³. En el mundo actual del *software* se utilizan diferentes términos y categorías para referirse a la licencia bajo la cual se utiliza un paquete informático (figura 3.17.).

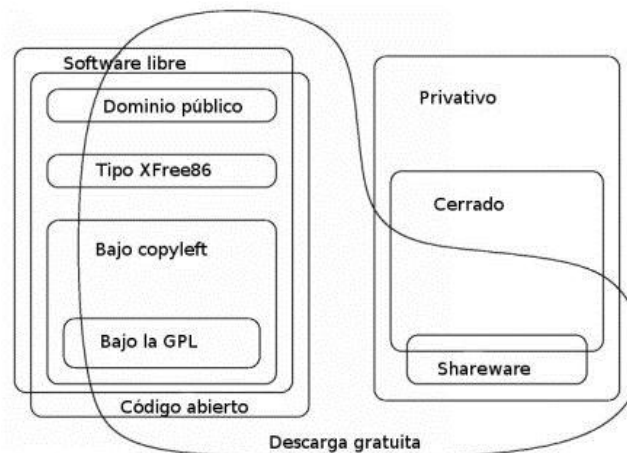


Figura 3.17. Términos y categorías de *software*. Fuente: <http://www.gnu.org/philosophy/categories.es.html>

Aunque el diagrama de la figura 3.17. muestra diferentes tipos de licencias, en general, pueden distinguirse dos categorías: *software* libre y *software* propietario; en este sentido, el dominio opuesto a *software* libre no es *software* comercial. Comercial indica que el *software* se vende. Con el fin de aclarar la semántica utilizada en el mundo del *software*, a continuación se describe la terminología utilizada por la Fundación para *Software* Libre (Free Software Foundation) para cada uno de los términos utilizados en la figura 3.17.²⁴.

²² Carl Reed - MOSS - A Historical perspective. 2004. <http://www.scribd.com/doc/4606038/2004-Article-by-Carl-Reed-MOSS-A-Historical-perspective>

²³ http://wiki.osgeo.org/wiki/Open_Source_GIS_History

²⁴ Copyright (C) 1996, 1997, 1998, 2001, 2006 Free Software Foundation, Inc., 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110, USA. <http://www.gnu.org/philosophy/categories.es.html>

Software libre: es aquel cuyo código fuente está disponible y además puede utilizarse, copiarse y redistribuirse libremente con modificaciones o sin estas y de manera gratuita o mediante un pago. Un *software* es libre cuando sus usuarios pueden disfrutar de las siguientes libertades:

- Ejecutar el programa para cualquier propósito (e.g. personal o comercial).
- Estudiar cómo funciona el programa y modificarlo sin ningún tipo de restricción. Por esta razón debe tener acceso libre al código fuente.
- Redistribuir copias sin ningún tipo de restricción.
- Distribuir copias de versiones modificadas por el usuario a terceros (incluido el código fuente).

Dominio público: es aquel *software* que no está protegido por derechos de autor; sin embargo algunas copias o versiones modificadas del software pueden no ser completamente libres. Bajo la convención de Berna²⁵ a cualquier escrito nuevo se le aplica automáticamente derechos de autor. Esto incluye los programas. Por lo tanto, para que un programa sea de dominio público, debe cumplir ciertos procedimientos legales para evitar que de manera automática le sean añadidos los derechos de autor.

Software de código abierto (*Open source*): esta expresión se utiliza con frecuencia para referirse al *software* libre pues casi todo este es de código abierto y casi todo el *software* de código abierto es libre.

Software protegido con *copyleft*: el *software* protegido con *copyleft* es *software* libre cuyos términos de distribución aseguran que todas las copias de todas las versiones serán también *software* libre.

Software cubierto por la GPL: la GPL (General Public License/Licencia Pública General) del Proyecto GNU²⁶ es un conjunto específico de cláusulas de distribución empleados para proteger un programa con “*copyleft*”. El sistema GNU es un sistema operativo similar a Unix, constituido en su totalidad por *software* libre, que se ha sido desarrollado en el Proyecto GNU desde 1984.

Software libre no protegido con *copyleft*: este *software* incluye la autorización del autor para redistribuir y modificar el código fuente, así como el permiso para añadirle restricciones adicionales.

Software no libre: como su nombre lo indica, el *software* no libre es cualquiera que no sea libre e incluye al *software* semilibre y al privativo.

Software semilibre: este *software* no es libre, pero la licencia permite utilizarlo, copiarlo, distribuirlo, modificarlo y distribuir copias de las versiones modificadas; siempre que sea sin propósitos lucrativos.

Freeware: el término *freeware* no tiene una definición clara aceptada, pero es usado comúnmente para referirse a programas informáticos que se pueden distribuir pero no modificar (y cuyo código fuente es privado). Estos paquetes no son considerados *software* libre y, por lo tanto, no se debe utilizar el término *freeware* para referirse al *software* libre.

²⁵ http://www.wipo.int/treaties/es/ip/berne/trtdocs_wo001.html

²⁶ <http://www.gnu.org/>. El término «GNU» significa «ñu» en inglés y es un acrónimo recursivo de “¡GNU No es Unix!”. En español se pronuncia como una sílaba sin vocal entre la g y la n.

Shareware: el *shareware* es un tipo de *software* cuya licencia permite redistribuir copias; sin embargo, para utilizarlo cada usuario debe pagar una licencia. El *shareware* no es *software* libre ni semilibre.

Software privado: este *software* no es libre ni semilibre y, por lo tanto, su uso, redistribución y modificación están prohibidos. El programa es creado para un cliente particular y solo él tiene derecho a utilizarlo y modificarlo.

Software comercial: el *software* comercial es aquel desarrollado por una empresa, persona u organización que pretende obtener dinero de su utilización. Comercial y privativo no es lo mismo. La mayoría del *software* comercial es privativo, pero hay *software* libre comercial y hay *software* no libre no comercial.

A continuación se ofrece una breve descripción de algunos programas de SIG, tanto comerciales como libres y gratuitos, con un alto grado de aceptación entre usuarios en todo el mundo. El incluir o excluir un programa particular no implica una recomendación del autor ni de la institución que publica el presente libro. En la actualidad es difícil distinguir entre los diferentes tipos de software de SIG, pero con frecuencia a estos programas se les incluye en la categoría de SIG de escritorio, ya que se instalan y operan desde una computadora personal.

1. Software privativo/comercial

ArcGIS

ArcGIS



Es el producto líder en el mercado los SIG. *ArcGIS* no es un programa sino más bien una colección flexible e integrada de programas de *software* de SIG que proveen al usuario una plataforma sólida para la gestión, análisis y creación de mapas a partir de diferentes fuentes de geodatos en formato vectorial y ráster. También provee herramientas para desarrollar aplicaciones personalizadas utilizando diferentes lenguajes de programación. El *software* es ampliamente utilizado en empresas, ONGs, gobiernos y ambientes académicos. La familia de productos de *ArcGIS* está formada por *ArcInfo*, *ArcEditor*, *ArcView* y una serie de extensiones especializadas.

Una ventaja de este programa es la extensa gama de aplicaciones gratuitas (denominadas extensiones) disponibles en la página web de la compañía ESRI (<http://www.esri.com/>). El representante de la compañía ESRI en Costa Rica es Geotecnologías (<http://www.geotecnologias.com/>). La compañía ESRI ofrece a los usuarios de *ArcInfo*, *ArcEditor* y *ArcView* las siguientes extensiones propietarias²⁷.

Cuadro 3.4. Extensiones propietarias de ESRI

Análisis	Características
<i>ArcGIS 3D Analyst</i> (ArcGIS 3D Analista)	Análisis de datos con una perspectiva realista.
<i>ArcGIS Geostatistical Analyst</i> (ArcGIS Análisis geoestadístico)	Utilice herramientas avanzadas de estadística para analizar sus datos.
<i>ArcGIS Network Analyst</i> (ArcGIS Análisis de redes)	Realice enrutamientos sofisticados, determine el sitio más cercano a un sitio "X" y realice análisis de áreas de servicio.
<i>ArcGIS Schematics</i> (ArcGIS esquemas)	Represente y entienda sus redes para acortar los ciclos de decisión.
<i>ArcGIS Spatial Analyst</i> (ArcGIS Analista espacial)	Análisis geoespaciales avanzados utilizando archivos en formato ráster.
<i>ArcGIS Survey Analyst</i> (ArcGIS analista)	Gestión de datos topográficos y catastrales.

²⁷ <http://www.esri.com/software/arcgis/about/desktop-extensions.html>;
<http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/arcgisextbro.pdf>

topográfico)	
<i>ArcGIS Tracking Analyst</i> (ArcGIS Analista de rastros)	Visualización y análisis de posición en series temporales (e.g. registros de GPS y radiotelemetría).

Productividad	Características
<i>ArcGIS Data Interoperability</i> (Interoperabilidad de datos)	Permite el acceso directo a mas de 100 formatos de geodatos de manera directa (no requiere convertir datos). Por ejemplo, lee directamente archivos en formato <i>Autodesk DWG y DXF, DNG de MicroStation, MapInfo MID/MIF y TAB, Oracle y Spatial Oracle, Intergrah Geomedia, WFS, GML y XML</i> . Exporta geodatos a más de 70 formatos.
<i>ArcGIS Data Reviewer</i> (Revisor de geodatos)	Automatiza, simplifica y mejora los procesos de control de calidad de los datos.
<i>ArcGIS Publisher</i> (Publicación de geodatos)	Comparta sus mapas y datos con diversos usuarios.
<i>ArcScan for ArcGIS</i> (incluido con ArcInfo y ArcEditor 9.1 y superior)	Herramientas para la vectorización de archivos en formato ráster.
<i>Maplex para ArcGIS</i> (Incluido con ArcInfo 9.1 y superior)	Coloca etiquetas de manera automática en los mapas, de tal manera que se maximiza su capacidad de comunicación.

Nota: salvo que se indique, las extensiones se pueden utilizar con ArcInfo, ArcEditor y ArcView y deben comprarse por separado. Fuente: Elaborado a partir de <http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/arcgisextbro.pdf> y <http://www.esri.com/software/arcgis/about/desktop-extensions.html>;

Manifold



Manifold® System es un producto integrado de *software* de SIG que incluye algoritmos para trabajar con archivos vectoriales y ráster. El programa incluye funcionalidades similares a las encontradas en *Adobe PhotoShop*, sistemas CAD como *AutoCAD®* y gestores de base de datos como *Access* y *SQL Server de Microsoft*; además provee herramientas para crear aplicaciones personalizadas y un servidor de mapas web.

El programa puede leer archivos en más de 100 formatos utilizados en SIG, CAD, teledetección, artes gráficas y bases de datos; puede procesar simultáneamente archivos vectoriales, imágenes ráster, superficies y datos dinámicos almacenados en bases de datos o de la web así como transformar datos entre diferentes formatos. También puede conectarse a bases de datos geoespaciales como *Oracle Spatial* y *Microsoft Katmai* y geobases de datos personales. Si desea conocer más sobre este producto y sus funciones visite el sitio web de la casa matriz <http://www.manifold.net> o la de su representante en Costa Rica <http://www.gisits.com/>.

Una de las ventajas de este programa sobre otras opciones como ArcGIS es su bajo precio. La compañía indica que la edición personal cuesta US\$245, *Manifold Enterprise Edition* cuesta US\$395 y *Database Administrator Edition*, US\$795. La empresa ofrece, además, tres extensiones: *Business Tools* para el área de negocios, *Geocoding Tools* para la geocodificación y *Surface Tools* para el análisis de superficies.

GeoMedia



La familia de productos *GeoMedia®* es un conjunto de 27 aplicaciones integradas de *software* de SIG que proveen al usuario una plataforma versátil para la gestión, análisis, intercambio, publicación y creación de soluciones geoespaciales a partir de diferentes fuentes de geodatos vectoriales, ráster y geobases de datos. Además, provee herramientas para crear aplicaciones personalizadas y un servidor de mapas web.

Si desea conocer más sobre este producto y sus funciones visite el sitio web de la casa matriz <http://www.intergraph.com/sgi/products>. El *software* es utilizado mundialmente en actividades tan diversas como servicios públicos, seguridad nacional, defensa e inteligencia, telecomunicaciones, transporte, producción cartográfica y gestión de recursos naturales.

AutoDesk Geoespacial®



Esta familia de productos de la compañía Autodesk (<http://usa.autodesk.com>) fue diseñada con el propósito de acercar a los sistemas CAD y SIG. Los programas que conforman *Autodesk Geoespacial* ofrecen a los miembros de la industria geoespacial un entorno de trabajo integrado para diseñar, administrar, publicar e integrar datos geoespaciales de manera una manera eficiente y natural. Los siguientes productos forman parte de *Autodesk Geoespacial*:

- 1) *AutoCAD*: programa utilizado para dibujo, impresión y diseño.
- 2) *AutoCAD® Map 3D*: plataforma SIG utilizada para crear y gestionar datos geoespaciales. Proporciona acceso directo a los geodatos independientemente de como se almacenen y permite el uso de herramientas de *AutoCAD* para crear y mantener los datos geoespaciales.
- 3) *Autodesk MapGuide®*: una plataforma avanzada basada en un servidor intranet/internet utilizada para distribuir y realizar consultas sobre mapas y sus atributos relacionados. *Autodesk MapGuide* no crea datos, sino que utiliza datos vectoriales y ráster que han sido creados por otros sistemas SIG como *AutoCAD Map* o *AutoCAD Ráster Design*. Herramienta enfocada a la toma de decisiones.
- 4) *Autodesk MapGuide Studio*: maneja todos los elementos de la recolección y preparación de datos geoespaciales para distribución en internet y crear rápidamente aplicaciones espaciales
- 5) *Autodesk MapGuide Enterprise*: aumente el valor y enriquezca información espacial usando *Autodesk® MapServer Enterprise* para integrar datos, desarrollar nuevas aplicaciones y difundir información espacial ampliamente. La versión *Enterprise* permite integrar múltiples servidores y construir aplicaciones personalizadas
- 6) *AutoCAD® Civil 3D®*: construida sobre la plataforma *AutoCAD Map 3D*, *Civil 3D* es una aplicación de Ingeniería Civil utilizada en proyectos de transporte, alcantarillado, drenaje pluvial y proyectos urbanísticos.
- 7) *Autodesk® Topobase™*: geobase de datos
- 8) *Autodesk Buzzsaw®*: herramienta para la gestión de proyectos en un entorno web (en línea) que garantiza el acceso a datos exactos al equipo involucrado en un proyecto.
- 9) *AutoCAD Ráster Design®*: aplicación basada en *AutoCAD* que permite analizar y editar archivos ráster tales como mapas escaneados, fotos aéreas, imágenes satelitales y modelos digitales del terreno.
- 10) *Autodesk Utility Design®*: la herramienta completa de diseño de instalaciones que le ayuda a planear redes de distribución de servicios públicos de principio a fin en tiempo récord.
- 11) *Autodesk GIS Design Server*: permite el acceso rápido y simultáneo a datos geoespaciales desde cualquier cliente de escritorio, web y móvil.
- 12) *Tecnología de Acceso Datos (FDO, Features Data Objects Technology)*: es el mecanismo que le permite a los productos de *software* geoespacial de *Autodesk* y a las aplicaciones empresariales trabajar de forma nativa con los datos geopaciales almacenados en bases de datos relacionales, archivos y servicios de mapas web. La tecnología FDO forma parte de *AutoCAD® Map 3D*, *AutoCAD® Civil 3D®*, *Autodesk MapGuide®*, *Autodesk® Topobase™* y *Autodesk® Utility Design*.

- 13) *DWG TrueConvert*: convierte cualquier archivo de dibujo de AutoCAD o basado en AutoCAD, ofreciendo compatibilidad casi con todas las versiones de *AutoCAD*®.
- 14) *RealDWG*: equipo desarrollador que proporciona capacidad de lectura/escritura de DWG.

2. Software libre y gratuito

Existe una gran diversidad de programas de SIG en la categoría de software libre y gratuito y por esta razón a continuación se describen solo algunos que ofrecen una funcionalidad similar a productos líderes como *ArcView* y *ArcGIS* (Steiniger y Bocher 2009). Si usted desea explorar otros programas de SIG libres y gratuitos puede visitar la siguiente página web <http://www.spatialserver.net/osgis>.

gvSIG



gvSIG (<http://www.gvsig.org/web>) es un proyecto que surgió inicialmente en el año 2004 como parte de una iniciativa de migración de *software* comercial a libre de la Consellería de Infraestructuras y Transporte de la Generalitat Valenciana-España; la cual contaba con la participación de la Universidad Jaume I, miembro del consorcio Tecnologías para las Infraestructuras de Datos Espaciales (TelDE, <http://redgeomatica.rediris.es/teide>); este coordinaba y supervisaba que en el desarrollo del programa se aplicaran los estándares del Consorcio Geoespacial abierto (Open Geospatial Consortium, Inc, OGC, <http://www.opengeospatial.org>) y la empresa Tecnologías de la Información (IVER, <http://www.iver.es/>), responsable por el desarrollo del *software*.

Actualmente, la sostenibilidad del proyecto gvSIG recae sobre la Asociación para la Promoción de la Geomática Libre y el desarrollo de gvSIG (denominada Asociación gvSIG), la cual es sin fines y engloba a las principales organizaciones impulsoras del proyecto gvSIG. La Asociación gvSIG plantea el desarrollo de un modelo de negocio basado en la cooperación y el conocimiento compartido en que parte del beneficio generado revierta en el fortalecimiento del Proyecto gvSIG.

Al 2012, gvSIG es una aplicación libre, de código abierto y gratuita que permite crear, almacenar, editar, analizar y visualizar archivos en diversos formatos ráster (e.g. tiff, jpg, ecw, mrsid) y vectoriales (e.g. shapes, datos CAD-DGN, DWG, DXF-, geodatos almacenados en bases de datos espaciales PostGIS y MySQL), tanto locales como remotos, mediante servicios WMS (*Web Map Service*), WFS (*Web Feature Service*) WCS (*Web Coverage Service*) o JDBC (*Java Database Connectivity*). Su interfaz gráfica es amigable (Fig. 3.18.) y su funcionalidad es similar a la de cualquier programa comercial. El *software* está orientado a usuarios finales de información geoespaciales como profesionales independientes, funcionarios de instituciones públicas (e.g. municipalidades o ministerios), universidades, ONGs y empresas. Al estar sustentado en código abierto, cualquier desarrollador puede crear nuevas herramientas y expandir la funcionalidad original del programa.

La última versión del programa (gvSIG 1.11; 18-04-2011) requiere una máquina virtual de Java Java1.5.0_12, JAI (*Java Advanced Imaging*) y JAI Image I/O (<http://java.sun.com>) y es compatible con *Windows*, *Linux* y *Macintosh* (probado en WinXP/VISTA/W7, *Linux Ubuntu* 8.04/8.10 y *Linux Kubuntu* 7.10). Usted puede descargar el programa, la documentación y su código fuente de <http://www.gvsig.org/web/projects/gvsig-desktop/official/gvsig-1.11/descargas>.

El uso de gvSIG se rige por la licencia GNU General Public License Versión 2, junio 1991 (GNU/GPL v2). El *software* puede funcionar en cualquier máquina Pentium IV con un mínimo 512 MB RAM; pero se recomienda una

computadora con mayor capacidad de procesamiento (e.g. Pentium con 1 a 2 MB de RAM o la segunda o tercera generación de Intel® Core™ i5 o i7).

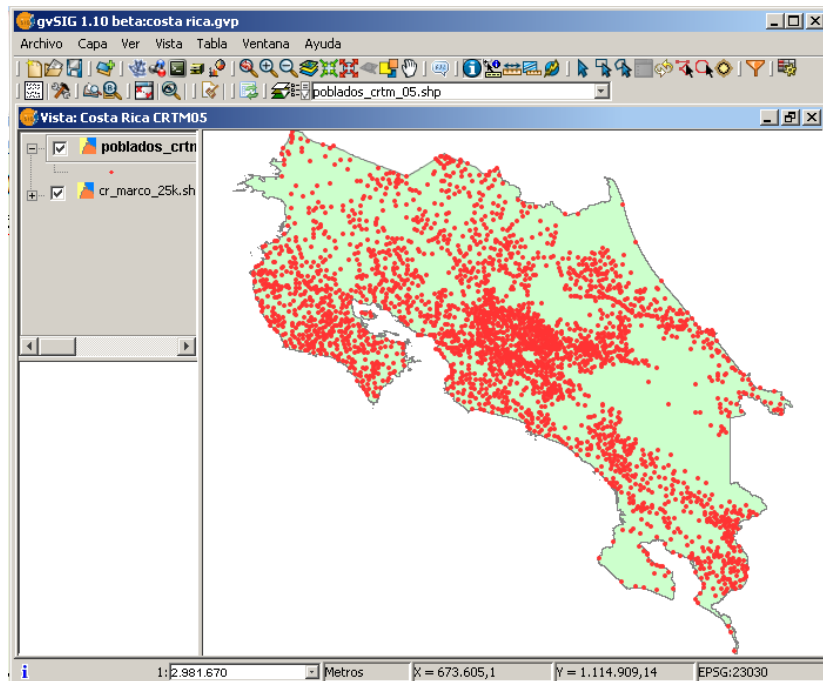


Figura 3.18. Interfaz gráfica de gvSIG. Fuente: Elaboración propia.

- Características

gvSIG proporciona las herramientas SIG más comunes encontrados en los programas comerciales, como cargar geodatos, navegar por el mapa, realizar búsquedas y selección de registros y elementos geométricos basado tanto en atributos alfanuméricos como geoespaciales, calcular área y perímetro, medición de distancia, simbolización y etiquetado de elementos geométricos, gestión de tablas con sus respectivos estadísticos, ordenado alfabético y numérico de registros, unión y enlace entre tablas, diseño cartográfico y publicación en web, herramientas para geoprocesamiento (búfer, unión geoespacial; recortar, diferencia, intersección, unión, envolvente convexa, proyección y retroproyección), asimismo, análisis de redes y procesamiento ráster. También ofrece un servicio de catálogo que permite la búsqueda de geodatos en internet.

En el área de creación y edición de geodatos vectoriales ofrece herramientas avanzadas de CAD (*Computer Aided Design* - Diseño Asistido por Computadora) que permiten crear dibujos bidimensionales, tridimensionales, y/o técnicos, como se observa a continuación:

- Edición de datos vectores: modificar, crear y borrar elementos.
- Consola de comandos típicos de software de CAD.
- Herramientas como ayuda, ráster, pila de comandos y selección de elementos complejos.
- Herramientas para insertar elementos tales como puntos, polígonos, líneas y elipses, etc.
- Herramientas para modificar rotación y simetría de elementos.

En cuanto al uso de archivos ráster, ofrece las siguientes funcionalidades:

- Georeferenciación de imágenes
- Permite realzar la imagen y definir su transparencia, brillo y contraste.

- La extensión de SEXTANTE (Sistema (EXTrêmeño de ANálisis TErritorial)²⁸ es una biblioteca de algoritmos de análisis espacial de código libre que se integra como una herramienta en gvSIG v1.11 e incluye funciones orientadas a análisis hidrológico, análisis de patrones, geoestadística, geomorfometría y análisis del relieve, análisis y cálculos de capas ráster, iluminación y visibilidad, localización optima de elementos, lógica difusa, perfiles, rásterización e interpolación, tratamiento y análisis de imágenes e índices de vegetación, entre otros.

Otras funcionalidades son:

- Secuencias de comandos
- Motor de reproyección de alto rendimiento (*Proj4 wrapper*)
- Visualización en 3D
- Análisis de la red
- Las nuevas funciones de análisis ráster: clasificación, rectificación
- GvSIG para dispositivos móviles

Su condición de cliente SDI (*Spatial Data Infrastructure*) le permite la conexión a bases de datos en internet mediante el uso del estándar ADL:

- WMS (servicio de mapas en internet)
- CMA (CMA y T-)
- WCS (Servicio de Coberturas en Internet)
- WMC (*Web Map Context*): permite reproducir una vista compuesta por capas *Web Map Services* (WMS) sobre cualquier plataforma SIG que soporte WMC. También es posible exportar una vista que contenga capas WMS.

Quantum GIS



Quantum GIS (QGIS, <http://qgis.osgeo.org/>) es un *software* de SIG de código abierto, libre y gratuito que permite crear, visualizar, almacenar, editar y analizar geodatos diversos formatos ráster (e.g. TIFF, JPG, ECW, MRSID), vectoriales (e.g. shapes, datos CAD-DGN, DWG, DXF) y geodatos almacenados en bases de datos espaciales como *PostGIS* y *MySQL*. Su interfaz grafica es amigable (figura 3.19.) y su funcionalidad es similar a la de gvSIG. El *software* está orientado a profesionales independientes, funcionarios de instituciones públicas (e.g. municipalidades, ministerios), universidades, ONGs y empresas. Al estar sustentado en código abierto, cualquier desarrollador puede crear nuevas herramientas y expandir la funcionalidad original del programa. La última versión de *QGIS* (Wroclaw 1.7, 19 de febrero del 2012) está disponible para los sistemas operativos *Windows*, *Linux*, *Mac* y *Android* y puede descargarse de <http://hub.qgis.org/projects/quantum-gis/wiki/Download>. La documentación del programa se puede encontrar en su Wiki²⁹. QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)³⁰. El uso de QGIS se rige por la licencia GNU General Public License (GNU/GPL v2).

²⁸ <http://www.gvsig.com/productos/sextante>

²⁹ http://www.qgis.org/wiki/Welcome_to_the_QGIS_Wiki

³⁰ <http://www.osgeo.org/>

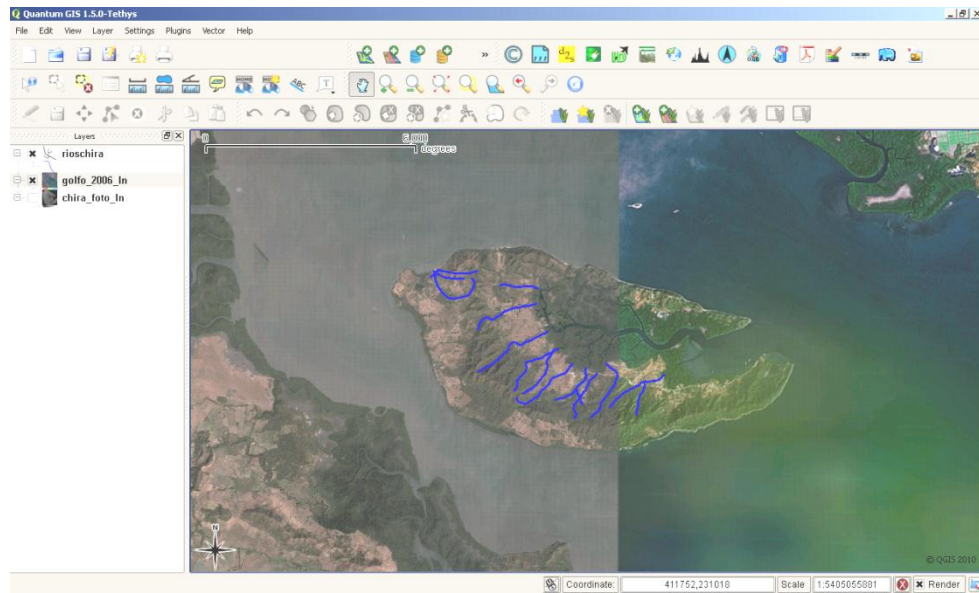


Figura 3.19. Interfaz gráfica de *Quantum GIS*. Fuente: Elaboración propia.

- Características



QGIS te permite visualizar, editar y crear archivos en formatos vectoriales y ráster, incluidos los *shapefiles* de ESRI, *Img* de ERDAS, datos espaciales en *PostgreSQL/PostGIS* y *Spatialite*, archivos vectoriales y ráster de GRASS e imágenes GeoTIFF; también puede crear mapas mediante el asistente cartográfico. El usuario puede crear complementos personalizados y aplicaciones SIG al usar Python o C++. QGIS utiliza complementos para operaciones particulares como importar datos de texto delimitado, descargar datos de GPS (recorridos, rutas y puntos) o visualizar geodatos mediante el Servicio de Mapas en Internet (WMS en inglés) y el Servicio de Elementos en Internet (WFS). Algunas otras características de QGIS son:

- Integración con GRASS GIS.
- Arquitectura extensible con complementos personalizados.
- Herramientas para la digitalización.
- Herramientas para imprimir cartografía.
- Uso de “ligadura” (binding) en lenguaje Python.
- Soporte de Open Geospatial Consortium, Inc.® OGC (WMS: Servicio de Mapas en Internet y WFS: Servicio de elementos en Internet).
- Información general del panel.
- Marcadores geoespaciales.
- Identificar / Seleccionar elementos
- Editar/ver atributos
- Función de etiquetado de elementos
- Proyección instantáneo de capas

GRASS GIS (<http://grass.osgeo.org/>)

GRASS es el acrónimo inglés para Geographic Resources Analysis Support System (Sistema de Apoyo Geográfico para el Análisis de Recursos, <http://grass.osgeo.org/>). Es el *software* de SIG gratuito y libre más antiguo compuesto

por herramientas modulares diseñadas para la gestión y el análisis de datos geospaciales, procesamiento de imágenes, creación de gráficos y mapas, modelado geoespacial y visualización (figura 3.20.).

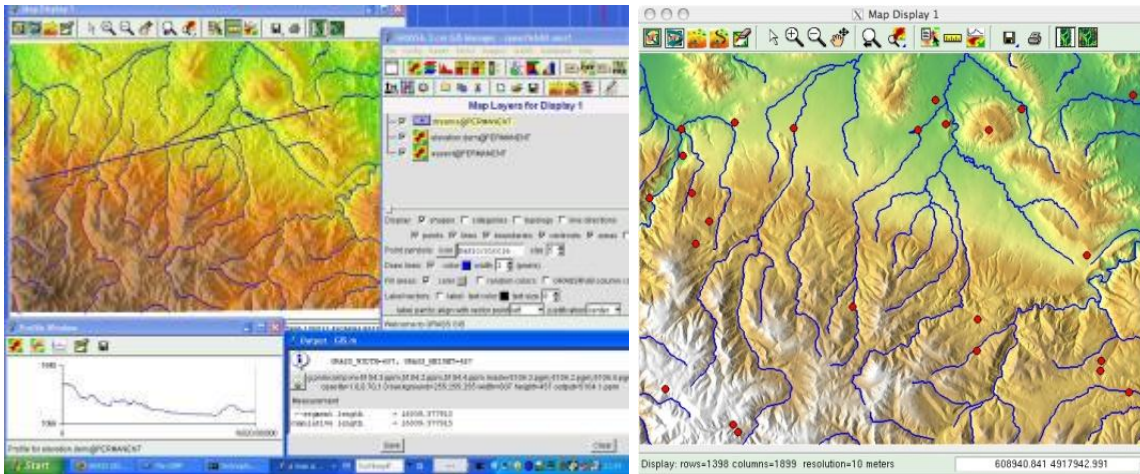


Figura 3.20. Interfaz gráfica de GRASS. Fuente: <http://grass.osgeo.org/>

El programa fue desarrollado originalmente por los Laboratorios de Investigación en Ingeniería de la Construcción del Ejército de los EE.UU. (EE.UU.-CERL, 1982-1995), una rama del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. como una herramienta para la planificación ambiental y la gestión de recursos terrestres en entornos militares. Con el pasar de los años, GRASS GIS se ha convertido en una poderosa herramienta con una amplia gama de aplicaciones en ambientes académicos, privados y gubernamentales alrededor del mundo. GRASS es actualmente un proyecto oficial de la Open Source Geospatial Foundation³¹, cuyo uso se rige por la licencia GNU General Public License (GPL)³². Esta es gestionada desde el 2006 por el Comité de Dirección del proyecto GRASS. La última versión de GRASS es 6.4.2 (19 de febrero del 2012) y está disponible para el sistema operativo *Linux*, *MS-Windows*, *Mac OS* y otras plataformas compatibles con *POSIX (Portable Operating System Interface para UNIX)*³³. La documentación del programa se puede encontrar en http://grass.osgeo.org/wiki/Main_Page.

- Características

- Análisis ráster 2D y 3D voxel (volúmenes), visualización de 2D, 3D y mapas de volúmenes.
- Motor vectorial 2D/3D con soporte SQL (*Structured Query Language*) para DBMS (*Database Management System o DBMS* - Sistema de Gestión de Base de Datos o SGBD).
- Módulos de procesamiento de imágenes.
- Análisis vectorial de redes, sistema de referencias lineal.
- Python y las interfaces de *shell script*.
- Compatible con formatos estándares de archivos ráster y vectorial.
- Arquitectura modular y capacidades de procesamiento por lotes.

³¹ <http://www.osgeo.org/>

³² <http://www.gnu.org/licenses/gpl-2.0.txt>

³³ <http://www.alegsa.com.ar/Dic/posix.php>

ILWIS



ILWIS (acrónimo inglés de *Integrated Land and Water Information System*, Sistema Integrado de Información de Tierra y Agua) es un software de SIG y percepción remota desarrollado para la gestión de geodatos vectoriales y ráster. La funcionalidad de ILWIS incluye digitalización, edición, análisis y representación de geodatos así como la producción de mapas de alta calidad.

Inicialmente ILWIS fue desarrollado y distribuido por ITC Enschede (*International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation* de Holanda) bajo la modalidad de “shareware” en los Países Bajos; pero desde el 1° de julio de 2007 se distribuye de conformidad con los términos de la licencia de documentación libre GNU; pasó a ser *software* libre y cambiando su nombre a ILWIS Open (<http://52north.org/communities/ilwis/about>). La interfaz gráfica y funcionalidad de la versión más reciente del programa (versión 3.8, figura 3.21.) es comparable con otros programas informáticos, tanto libres (e.g. gvSIG, GRASS) como comerciales (e.g. ArcGIS de ESRI). Existe abundante material didáctico y tutoriales en español para el programa en el sitio web de ITC-Holanda³⁴, aunque dicho Instituto no brinda soporte al programa. ILWIS 3.8 integra imágenes, vectores y geodatos temáticos en un poderoso paquete SIG de escritorio que ofrece una amplia gama de funciones que incluyen la importación y exportación de archivos, digitalización, edición, análisis y visualización de geodatos, así como la producción de mapas de excelente calidad.

Las características principales del programa pueden resumirse de la siguiente manera:

- Procesa capas ráster y vectoriales (diseño integrado).
- Importa y exporta geodatos en los formatos más utilizados por la comunidad SIG.
- Posee herramientas para la digitalización en pantalla.
- Acceso de base de datos *PostgreSQL*.
- Ofrece excelentes herramientas para el procesamiento digital de imágenes (e.g. *Landsat*, *Spot*, *QuickBird*).
- Permite la creación de ortofotos, georeferenciar imágenes, transformarlas y crear mosaicos.
- Modela y realiza análisis geoespaciales avanzados.
- Visualiza escenas 3D con edición interactiva para optimizar los resultados.
- Marco de animación (con 3D opcional).
- Auto remuestreo para diferentes datos geométricos.
- Excelentes herramientas para el análisis visual.
- Ofrece acceso a librerías de proyecciones y sistemas de coordenadas.
- Interpola y crea superficies incluido el uso de Kriging y Cokriging.
- Crea y visualiza pares estereoscópicos.
- Evaluación Espacial Multicriterio.
- Ofrece el servicio de mapas para el web (*Web Mapping Service*, (WMS))
- Servicio de procesamiento web (WPS).
- Creación de modelos digitales de elevación y modelado hidrológico.
- Balances de energía en superficie.

³⁴ http://www.itc.nl/Pub/Home/Research/Research_output/ILWIS_-_Remote_Sensing_and_GIS_software.html

3. *Software* libre no significa ausencia de costos

Al seleccionar un software (libre o propietario) se deben considerar los siguientes aspectos:

- ³⁵ Ver por ejemplo [http://www.osgeo.org/search_profile?SET=1&MUL_LANGUAGE\[\]=00024](http://www.osgeo.org/search_profile?SET=1&MUL_LANGUAGE[]=00024)

- Velocidad de ejecución del programa y tamaño máximo de archivo que puede procesar.

Las opciones de *software* libre y gratuito son abundantes y algunos programas ofrecen una funcionalidad similar a la del *software* privativo comercial; sin embargo, no cuentan con una base de usuarios sólida en Costa Rica ni con compañías o consultores que ofrezcan soporte técnico.

7. Gestión del SIG

En este tema se estudiarán los siguientes aspectos claves para el éxito del SIG: modelos de organización, personal y áreas funcionales, comité asesor y el grupo de usuarios.

1. Modelos de organización del SIG

Un aspecto clave para el éxito del SIG es decidir cuál modelo organizacional se desea adoptar. Existen dos modelos básicos que se han utilizado hasta la fecha para implementar un SIG institucional o empresarial: el centralizado y el descentralizado³⁶ y una tercera opción es utilizar un modelo mixto.

La estructura organizativa centralizada se basa en una unidad o departamento de SIG responsable de los servicios de SIG, el cual puede formar parte a su vez de un Departamento de Tecnologías y Servicios de Información (DTSI). El departamento de SIG estaría conformado por un director de gestión, analistas, técnicos y programadores encargados de mantener el software, hardware y desarrollar aplicaciones personalizadas y de capacitar al personal de la institución. Los geodatos son creados, mantenidos y procesados por este grupo o contratados a terceros. Los demás usuarios del SIG visualizan, consultan, analizan (en menor grado) y crean mapas sencillos (figura 3.22.).

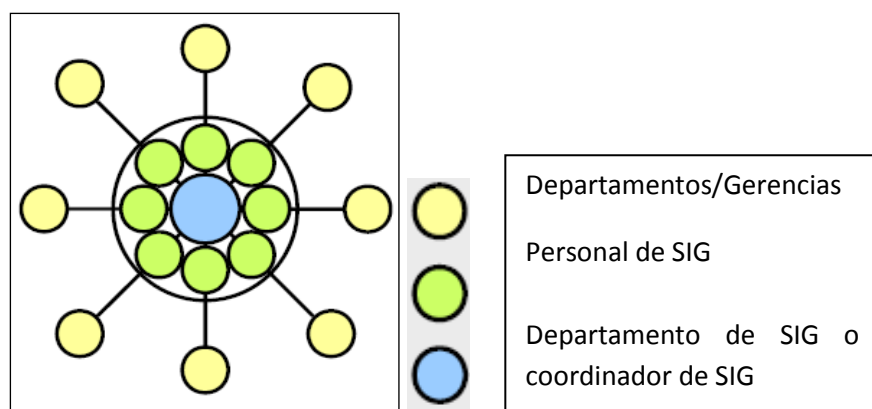


Figura 3.22. Estructura de organización del SIG centralizada

Fuente: https://www.spotsylvania.va.us/emplibrary/GIS_StrategicPlan.pdf

La estructura descentralizada comparte las responsabilidades a lo largo de varios departamentos o unidades de SIG (figura 3.23.). Sin embargo, esta estructura también puede contar con una unidad de SIG que opera de forma independiente o bajo la jurisdicción de otro departamento. Este enfoque divide el mantenimiento del sistema y de los geodatos entre la unidad de SIG y los usuarios finales de los diferentes departamentos o unidades. Como parte de sus tareas cotidianas, los usuarios actualizan la base de geodatos de la institución y comparten la responsabilidad de mantenerla; pero cada usuario en su área de trabajo mantiene los geodatos específicos de acuerdo a su disciplina y especialidad temática y requerimientos particulares.

³⁶ https://www.spotsylvania.va.us/emplibrary/GIS_StrategicPlan.pdf

Este tipo de estructura organizativa le permite a la unidad de SIG centrarse en la actualización y mantenimiento de *hardware*, *software*, intercambio y distribución de geodatos, diseño y creación de aplicaciones, el entrenamiento del personal y el apoyo a los usuarios y a la innovación tecnológica en lugar de dedicar tiempo a la creación y el mantenimiento de geodatos.

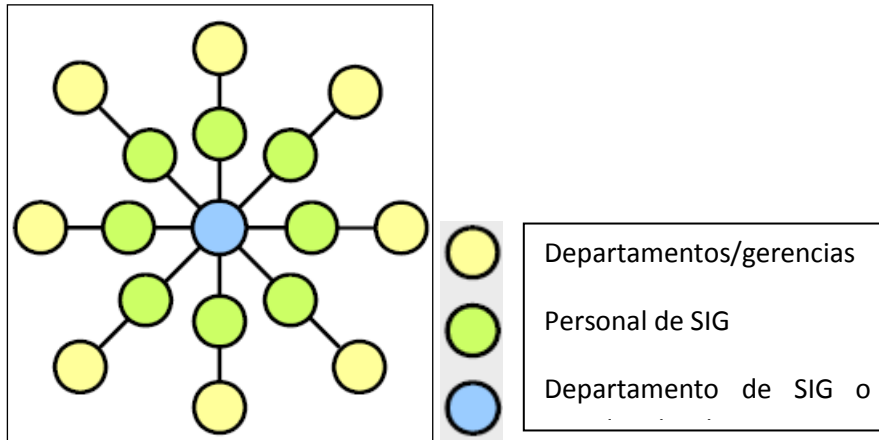


Figura 3.23. Estructura de organización del SIG descentralizada

Fuente: https://www.spotsylvania.va.us/emplibrary/GIS_StrategicPlan.pdf

Como una tercera opción de administración del SIG, algunas instituciones optan por una estructura híbrida, basada en un arreglo centralizado con algunos elementos de descentralización (figura 3.24.). Dicho tipo de estructura proporciona los beneficios de ambas estructuras organizativas y es apta en aquellas situaciones donde no es posible contar con una unidad de SIG que puede suplir todos los requerimientos de la institución, pero a la vez se desea mantener cierto grado de control sobre los geodatos y los procedimientos claves de la institución.

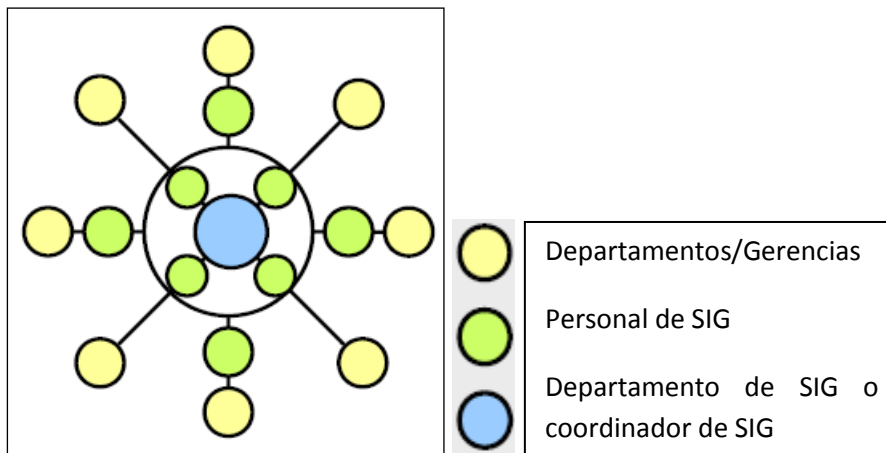


Figura 3.24. Estructura de organización híbrida

Fuente: https://www.spotsylvania.va.us/emplibrary/GIS_StrategicPlan.pdf

2. Personal y áreas funcionales

Un personal capacitado y motivado es un elemento esencial para el éxito de todo SIG. Desafortunadamente, el tema del personal es siempre complejo y algunas veces frustrante, ya que nunca se cuenta con el presupuesto requerido y con frecuencia no está entre las prioridades de la organización. No obstante, existen elementos fundamentales, como los que se describen a continuación, que deben analizarse para mantener un SIG saludable y funcional, que evolucione con las necesidades de la institución.

- **Misión y visión**

El fin de toda organización es satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes o usuarios; por esta razón, la misión y visión son críticos para diseñar, mantener y utilizar el SIG institucional. Los beneficios del SIG, especialmente un retorno óptimo sobre la inversión y una mejora en la eficiencia y eficacia de los procedimientos, solo pueden lograrse si este es adoptado e integrado como un elemento clave de la institución. La misión identifica el objetivo fundamental del servicio, su razón de ser y debe considerar tres preguntas: ¿qué se hace? (los productos o servicios que se ofrecen), ¿cómo se hace? (qué procesos se utilizan) y ¿para quién se hace? (a qué clientes o usuarios están dirigidos)³⁷. Con frecuencia hay dos tipos de clientes: los internos y los externos.

1. *Clientes internos*: individuos o servicios internos de la institución que utilizan los productos o servicios como insumos para realizar otros procesos.
2. *Clientes externos*: son los clientes finales, o sea, aquellos que reciben los productos o servicios que la institución brinda.

La visión expresa las aspiraciones de los usuarios internos y externos de la institución como una imagen futura de la organización. Una vez definida la visión, todas las decisiones y acciones deben apuntar a lograr dicha meta.

- **Áreas funcionales**

Existen seis áreas funcionales en las que la mayoría de los puestos de SIG se pueden clasificar: coordinación, apoyo al sistema, diseño de aplicaciones, soporte de base de datos, soporte al usuario, y producción y recopilación de geodatos. No todas las organizaciones deben tener personal en todas las áreas funcionales y, además, con frecuencia el personal es responsable de dos o más áreas funcionales³⁸.

- **Coordinación**

Es una actividad vital para el éxito de un SIG. El coordinador del departamento o unidad de SIG es el responsable de los recursos (humanos, financieros y técnicos) y su tarea fundamental es asegurarse de que el SIG funcione de manera eficiente, que sus productos sean de calidad y suministrados a tiempo. Esto incluye la operación del *hardware* y *software*, la base de geodatos (diseño y mantenimiento), soporte técnico y administración del personal del departamento. Es deseable que un gerente de SIG posea experiencia técnica en diversos sistemas operativos, redes y software de SIG, y que sea capaz de coordinar grupos de trabajo, promover nuevas ideas, enseñar y fungir como mediador en la implementación del SIG.

- **Personal técnico de apoyo**

El personal de apoyo al SIG garantiza que el *software* de SIG, el *hardware*, las redes y la base de datos se implementen y funcionen correctamente. El soporte técnico para los usuarios del SIG es responsabilidad de este grupo. Por lo especializado de estas tareas y la baja demanda en términos de tiempo, algunas instituciones optan por subcontratar tales servicios a terceros.

³⁷ <http://calidad.umh.es/curso/documentos/procesos.pdf>

³⁸ https://www.spotsylvania.va.us/emplibary/GIS_StrategicPlan.pdf

- **Soporte de base de datos**

La mayoría de los paquetes de SIG están diseñados para operar a partir de programas comerciales de gestión de Bases de Datos Relacionales (RDBMS), tales como *Oracle*, *MS SQL Server*, o *MS Access*. Cuando se adopta un modelo a partir de una base de geodatos relacional, es necesario contar con personal capacitado para implementar y mantener el repositorio central de geodatos del SIG. Las tareas de apoyo requeridas por la base de datos pueden ser llevadas a cabo por el administrador del SIG o por una empresa contratada para tal fin.

- **Atención a usuarios**

Se trata de una categoría muy amplia y abarca tanto al personal del departamento de SIG como al personal que realiza labores de SIG en las otras gerencias o departamentos. En general, los analistas y los especialistas en SIG entran en esta categoría y proporcionan asistencia técnica a las actividades de SIG en toda la institución. Otra alternativa es contratar los servicios de un profesional externo cuando se trate de tareas especializadas más allá de la capacidad o experiencia del personal del departamento de SIG.

- **Recolección y creación de geodatos**

Como parte del SIG, la institución debe invertir una gran cantidad de tiempo, esfuerzo y dinero en la recolección, edición y mantenimiento de geodatos así como en la creación de una geobase de datos. Es importante que los nuevos datos se adhieran a los estándares y normas creadas y adoptadas por el SIG de la institución. Tareas específicas tales como la digitalización, el escaneo y la creación de metadatos también son responsabilidades del departamento de SIG y del personal técnico de cualquier departamento que utilice geodatos.

3. Comité asesor y grupo de usuarios de SIG

El comité asesor del SIG debe guiar el desarrollo del SIG en la empresa o institución. Debe estar formado por representantes de las diferentes gerencias y debe reunirse al menos una vez cada tres meses o cuando se deba tomar una decisión estratégica (e.g. renovación de equipo, cambio de *software*, crear nuevos geodatos o modificar procedimientos de trabajo). Este comité debe asegurarse de que el SIG responda a las necesidades de la empresa u organización con eficacia y eficiencia.

Es recomendable crear un grupo de usuarios de SIG (USIG) bajo la coordinación del departamento de SIG. Este debe ser un grupo abierto donde participan todos aquellos actores que utilizan actualmente el SIG o que deseen utilizarlo en un futuro cercano. Las reuniones de usuarios proporcionan una excelente oportunidad para compartir habilidades, necesidades, éxitos, fracasos y lecciones aprendidas. La duplicación de esfuerzos se reducirá al mínimo y se creará un ambiente que promueva el intercambio de ideas y geodatos. Un grupo de usuarios de SIG también es una excelente plataforma para iniciativas de formación interna.

- **Visión del SIG y áreas funcionales**

En términos operacionales, la visión del SIG³⁹ (figura 3.25.) puede describirse como crear, gestionar y utilizar geodatos actualizados, precisos, confiables y consistentes que coadyuven al logro de los objetivos y las metas de la institución.

³⁹ https://www.spotsylvania.va.us/emplibrary/GIS_StrategicPlan.pdf

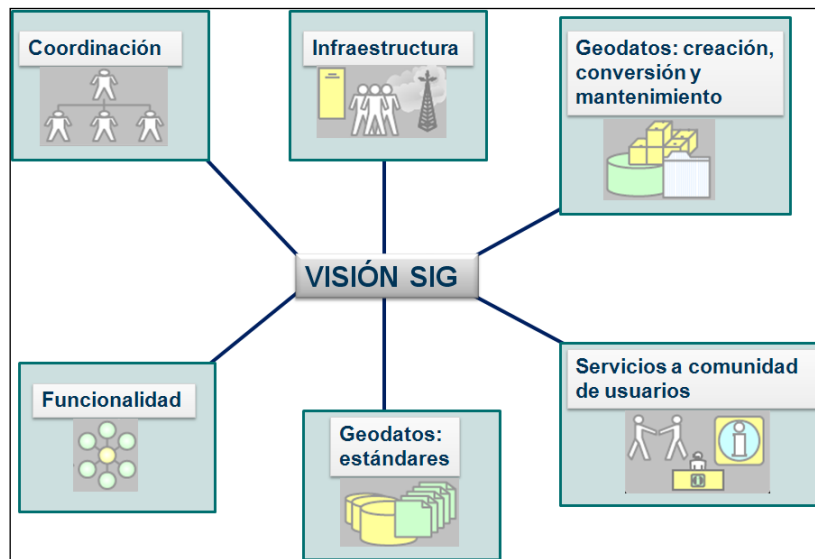


Figura 3.25. Visión del SIG y áreas funcionales

Fuente: basado en: https://www.spotsylvania.va.us/emplibary/GIS_StrategicPlan.pdf

I. Coordinación

- Gestión institucional del Sistema de Información Geográfico.
- Liderazgo y apoyo a la gestión.
- Actualización y apropiación de los conocimientos teóricos y prácticos requeridos para la creación y uso de datos geospaciales.
- Suplir los servicios de análisis y evaluación requeridos por los usuarios(as).
- Mantener una política estratégica y táctica de apoyo a los proyectos y programas.

II. Estándares de Geoatos

- Geodatos actualizados, precisos, confiables y coherentes son esenciales para apoyar el proceso de toma de decisiones.
- Se deben adoptar estándares de metadatos, procedimientos y protocolos de trabajo.
- Se debe mantener la documentación actualizada de las normas de geodatos.

III. Funcionalidad SIG

- Debe utilizarse de manera eficaz, eficiente y oportuna.
- Debe proveer varios niveles de funcionalidad.
 - a) Los desarrolladores de aplicaciones SIG (por ejemplo, usuarios avanzados)
 - b) Los creadores de geodatos (por ejemplo, analistas).
 - c) Los usuarios generales de SIG (por ejemplo, visualizados de geodatos).

IV. Creación, conversión y mantenimiento de geodatos

- Es necesario definir y adoptar procedimientos estándares para adquirir, procesar, almacenar y distribuir geodatos.
- Es recomendable adoptar un sistema escalable y con almacenamiento centralizado de los geodatos que asegure un acceso a todos los usuarios del sistema.
- Se deben documentar los geodatos (creación de metadatos), los procesamientos y los flujos de trabajo.

- Convertir, integrar y normalizar los geodatos procedentes de múltiples orígenes y aplicaciones (por ejemplo, archivos CAD y mapas en diferentes proyecciones y datums)

V. Infraestructura del SIG

1. Materiales

- a) *Tecnología, software y hardware.* Se debe contar con el equipo de cómputo, *software* y la tecnología apropiada para las tareas y funciones asignadas al SIG.
- b) *Personal.* El personal capacitado y motivado es clave para el éxito de todo SIG.

2. Conocimiento

- a) *Formación profesional.* El personal y los usuarios del SIG deben poseer una formación profesional acorde con sus responsabilidades y tareas.
- b) *Base de conocimiento.* La tecnología, los métodos, procesos y herramientas que se utilizan para crear y analizar geodatos evolucionan con gran rapidez. Por esta razón es recomendable contar con una base de conocimiento (e.g. publicaciones, sitios *www*, conferencias, lista de especialistas) que les permitan a los usuarios aclarar dudas y actualizar sus conocimientos y métodos de trabajo. Las principales compañías de *software* de SIG proveen este servicio de manera gratuita (e.g. <http://support.esri.com> y <http://grass.osgeo.org/wiki/GRASS-Wiki>)
- c) *Grupo de usuarios de SIG.* Un grupo de usuarios está conformado por un grupo de personas con un interés común, en este caso los Sistemas de Información Geográfica. Puede ser una organización formal o informal, sin fines de lucro y cuyo fin es compartir conocimiento, información, geodatos u otros temas de la tecnología. La participación en uno de estos grupos es la mejor manera de estar al día sobre las novedades tecnológicas en su área de trabajo. El grupo de usuarios puede ser un sitio de encuentro virtual, tanto de usuarios especializados como de aquellos que dan sus primeros pasos en esta ciencia y tecnología. La filosofía del grupo debe ser proveer un ambiente abierto e inclusivo, en el cual todos los participantes pueden aportar en la medida de sus posibilidades. El grupo de usuarios será exitoso y de larga vida si tiene usuarios, proveedores de geodatos, grupos de especialistas en diferentes temas y sobre todo una actitud de colaboración y apertura a la crítica constructiva.

3. Proceso

- a) *Metodologías y procedimientos de trabajo.* Las metodologías y los procedimientos de trabajo son un elemento clave para asegurar la calidad de los productos y servicios que brinda la institución.
- b) *Protocolos.* Conjunto de estándares, reglas, normas y convenciones utilizadas por los usuarios en sus tareas cotidianas; en otras palabras, es un lenguaje común en la institución que evita problemas de incompatibilidad entre formas de trabajo, procesos y procedimientos.

VI. Servicio al público y relaciones con los usuarios

1. Mejorar la eficiencia, aumentar la productividad y mejorar los servicios que ofrece la institución.
2. Ampliar y mejorar el acceso de los usuarios internos y externos a los productos del SIG.

4. Programa de capacitación

El primer paso para elaborar un programa de capacitación es identificar y describir los procesos claves que ejecuta el personal para cumplir con el mandato institucional. Un programa de entrenamiento es eficiente y eficaz cuando los participantes, en un tiempo razonable, superen las diferencias entre las competencias requeridas para el puesto actual o futuro y las competencias que poseen. Las competencias representan el conjunto de conocimientos, habilidades y aptitudes necesarias para el desempeño adecuado en una cierta profesión. Las necesidades de capacitación representan la diferencia entre las competencias deseadas y las capacidades actuales del personal⁴⁰.

El análisis funcional es una técnica utilizada para identificar las competencias laborales requeridas para cumplir con una determinada función en la empresa. Considera el trabajo de cada persona en un contexto sistémico con el logro del propósito de la organización y se inicia al identificar el propósito de la empresa, gerencia o área en que se esté aplicando. Algunas de sus características son⁴¹:

- Identifica conocimientos, actitudes, aptitudes y comprensión requeridas por el trabajador para un desempeño competente.
- Incluye las condiciones de calidad, seguridad y salud en el trabajo.
- Los funcionarios participan junto con sus jefes para estructurar las competencias requeridas por la función que se analiza.
- El procedimiento se aplica de lo general a lo particular. Se inicia con la definición del propósito clave de la organización, sector o rama, y concluye con las funciones productivas simples -llamadas elementos de competencia, que son las funciones que una persona puede realizar.
- Por tratarse de un método de análisis de la situación de trabajo que posibilita la reflexión, presenta un carácter formativo.

Durante el proceso, los actores mejoran su conocimiento sobre los procesos productivos, sus dificultades y la forma de resolverlos. El programa de capacitación en SIG debe tener por meta contar con un recurso humano idóneo, capaz de crear, actualizar y mantener geodatos, utilizarlos apropiadamente y difundirlos a terceros. La modalidad de enseñanza debe ser modular y basada en talleres, con tareas y una evaluación formativa.

⁴⁰ Vargas, F.; Casanova, F.; Montanaro, L. El enfoque de competencia laboral: manual de formación. Montevideo: Cinterfor, 2001. 130p. http://www.cinterfor.org.uy/public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/man_cl/index.htm

⁴¹ Vargas, F.; Casanova, F.; Montanaro, L. Op. cit.

Ejercicios de autoevaluación

1. ¿Qué es un dato? Liste cinco ejemplos de datos.
2. ¿Qué es información y cómo se distingue de un dato?
3. Liste las principales características de la información.
4. ¿Qué es una entidad o elemento? Liste cinco ejemplos de entidades en una finca.
5. En un SIG, ¿qué es un tipo de rasgo o característica (*feature class*)?
6. ¿Cuáles son cuatro clases de elementos geométricos comunes en una geobase de datos? Brinde al menos dos ejemplos de cada una de ellas.
7. ¿Qué distingue un dato de un geodato?
8. ¿Para qué se utiliza una red de triángulos irregulares?
9. ¿Qué es un modelo de datos?
10. ¿Cuáles son las características de un modelo de datos vectorial?
11. ¿Qué entendemos por Topología? y ¿por qué es importante en el modelo de datos?
12. Liste los cuatro componentes básicos de la Topología.
13. ¿Cuáles son las características de un modelo de datos?
14. ¿Qué indica la resolución en un set de datos ráster?
15. ¿Qué se entiende por estructura de datos?
16. ¿Qué es una geobase de datos?
17. ¿Qué es un metadato?
18. ¿Qué es un catalogo de metadatos?
19. ¿Cuáles son características esenciales de un *software* libre?
20. Si usted trabaja para una empresa, ¿cuál modelo organizacional de SIG le recomendaría usted?

Respuestas a los ejercicios de autoevaluación

1. El dato es una representación simbólica (e.g. código) o un atributo de una entidad que da origen a los modelos de pensamiento humano.
Ejemplos:
 - a) La finca es de Juan
 - b) La finca mide 100 ha
 - c) Mi nombre es Pedro
 - d) Hoy llovió 10 mm
 - e) La papa floreó
2. Información es el análisis de un conjunto de datos organizados y procesados que comunica un mensaje sobre un determinado ente, fenómeno o cosa. Los datos son percibidos a través de los sentidos y constituyen la materia prima para crear información.
3. Las principales características de la información son:
 - a) Significado (semántica)
 - b) Importancia (relativa al receptor)
 - c) Vigencia (en la dimensión espacio-tiempo)
 - d) Validez (relativa al emisor)
 - e) Valor (activo intangible volátil)
 - f) Polimorfismo (cualidad de adquirir distintas formas)
4. Una entidad o elemento es una representación una "cosa" u "objeto" del mundo real que se diferencia de manera unívoca de cualquier otro objeto o cosa, incluso si es del mismo tipo.
Ejemplos.
 - a) Finsa
 - b) Juan
 - c) Lluvia
 - d) Cultivo de papa
 - e) Fungicida
5. En el mundo del SIG, el término clase de rasgo o característica (*feature class*) es utilizado para designar una colección homogénea de características o elementos geográficos de un *set* de datos que comparten la misma representación espacial (i.e. geometría), los atributos y el sistema de referencia geoespacial.
6. Las cuatro clases de elementos geométricos comunes en una geobase de datos son los puntos, las líneas, los polígonos y las anotaciones (texto en mapas o planos).
Ejemplos:
 - Puntos: hidrantes, árboles en una finca, toma de agua, pozo, casa
 - Líneas: camino, carretera, quebrada, límite entre dos fincas
 - Polígonos: finca de Juan, lago, parcela, cuadra
 - Anotaciones: ruta 32, avenida segunda, catedral metropolitana, Chirripó
7. La posición u ubicación distinguen un dato de un geodato. Esta puede ser implícita o explícita. Por ejemplo, la casa de Juan se encuentra en San Juan de Chichó (implícita) o las coordenadas de casa de Juan son X,Y.
8. Una red de triángulos sirve para representar una superficie continua como elevación o pendiente.

9. Un modelo de datos es una descripción de las reglas utilizadas para definir, organizar, realizar consultas y actualizar los datos en un *software* de SIG (normalmente un Sistema de Gestión de Base de Datos, DBMS por sus siglas en inglés). El modelo de datos permite representar o describir tanto las cosas, entidades u objetos de la realidad como sus relaciones. En el caso de un SIG, es utilizado para describir matemáticamente cualquier dato que pueda mapearse.
10. El modelo de datos vectorial representa los objetos o elementos del mundo real utilizando puntos, líneas y polígonos. En un SIG, el término vector se refiere usualmente a datos formados por líneas o arcos, definidos por un punto inicial y otro final, los cuales al juntarse forman un nodo. Tanto la ubicación de cada nodo como su estructura topológica son almacenadas de forma explícita. Las curvas son representadas como una serie de arcos interconectados y los elementos (e.g. fincas) se definen por sus límites. Los geodatos vectoriales son apropiados para almacenar elementos que poseen límites discretos como las fronteras entre países o los límites entre fincas o parcelas.
11. La Topología describe las propiedades espaciales de conexión y adyacencia entre elementos geográficos en una capa de geodatos a partir de relaciones entre nodos, enlaces y polígonos. Las relaciones topológicas se construyen de elementos simples a elementos complejos: puntos (elementos más simples), arcos (conjunto de puntos conectados), áreas (conjunto de arcos conectados) y rutas (conjuntos de secciones conformadas por arcos o porciones de arcos). La Topología permite definir la ubicación relativa de los fenómenos geográficos independientemente de su posición exacta y utilizar el *software* de SIG para ejecutar operaciones geoespaciales sin utilizar coordenadas geográficas. La estructura topológica permite establecer reglas como los “polígonos no deben traslaparse” o “no deben existir islas en un polígono”.
12. Los cuatro componentes básicos de la Topología son:
 - a) Dimensionalidad: distinción entre punto, línea, área y volumen, los cuales tienen dimensiones topológicas de 0, 1, 2 y 3, respectivamente.
 - b) Conectividad (topología arco–nodo):
 - Los puntos a lo largo de un arco que definen su forma se denominan vértices.
 - Los puntos finales de un arco se denominan nodos.
 - Los arcos se unen solo en los nodos.
 - c) definición de área/contenido (polígono-topología de arco):
 - Un polígono cerrado tiene un área.
 - La lista de arcos que conforman un polígono definen sus límites y mantienen áreas cerradas.
 - Los polígonos son representados como una serie de coordenadas x, y que se conectan para definir un área.
4. Contigüidad:
 - Todo arco tiene una dirección.
 - El *software* de SIG mantiene una lista de los polígonos ubicados a la derecha e izquierda de cada arco. La computadora utiliza esta información para determinar cuáles elementos son contiguos.
13. El modelo de datos ráster o teselar es utilizado para representar objetos o elementos del mundo real (i.e. características geográficas). Utiliza una cuadrícula regular conformado por celdas que dan origen a una matriz en dos dimensiones conformada por filas y columnas cuyo origen se encuentra en la esquina inferior izquierda en lugar de la esquina superior izquierda, como es la norma en las matrices.

14. La resolución en un *set* de datos ráster indica el tamaño (normalmente en unidades de mapa) de cada celda. Cuanto más pequeño sea el tamaño de la celda, mayor será la resolución y, por ende, mayor la exactitud geométrica de la base de datos; también el tamaño físico del archivo será mayor.
15. En Informática, una estructura de datos es una forma particular de organizar, almacenar y representar un modelo de datos en la computadora, de tal forma que puedan recuperarse y utilizarse de manera eficiente. La estructura más simple de datos es el arreglo unidimensional (listas), en el cual los elementos almacenados están numerados de manera consecutiva con enteros (e.g. 1, 2, 3, 4...) y cuyo contenido es accesible por medio de dichos números. Cuando los elementos no están almacenados de manera consecutiva, se pueden vincular mediante punteros para facilitar su acceso (direcciones de memoria que indican dónde se encuentra el "siguiente" elemento o los elementos en la estructura).
16. Una geobase de datos es un tipo particular de base de datos diseñada para almacenar, buscar y recuperar geodatos o atributos geográficos. También se le conoce como una base de datos geoespacial. En estas bases de datos, los geodatos son tratados como cualquier otro dato.
17. Los metadatos son datos que describen el contenido, la calidad, la condición y otras características de los geodatos. Los metadatos ayudan a asegurar la inversión que la empresa o institución realiza en los geodatos y, a la vez, fomenta su uso en el largo plazo.
18. El catálogo de geodatos es la descripción de los objetos u elementos que conforman el modelo digital de la realidad (MDR) a una escala dada. El catálogo relaciona la definición, clasificación, codificación, geometría y atributos de todos los entes geográficos que conforman la geobase de datos. En este sentido puede entenderse como la definición, la descripción, las funciones, los atributos y las relaciones entre objetos de uno o más conjuntos de datos geoespaciales. Su principal función es plasmar de manera tangible los objetos o elementos para que sus productores y usuarios comprendan los fenómenos del mundo real que representan.
19. Un *software* es libre cuando sus usuarios pueden disfrutar de las siguientes libertades:
 - Ejecutar el programa para cualquier propósito (e.g. personal o comercial).
 - Estudiar como funciona el programa y modificarlo sin ningún tipo de restricción. Por esta razón, debe tener acceso libre al código fuente.
 - Redistribuir copias sin ningún tipo de restricción.
 - Distribuir copias de versiones modificadas por el usuario a terceros (incluido el código fuente).
20. Considere en su argumentación los elementos expuestos en la sección G del presente capítulo.

8. Referencias

- Lillesand Thomas, Kiefer Ralph W. y Chipman Jonathan. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6.th ed. New York: Wiley. 746p.
- Steiniger Stefan y Weibel Robert. (2009). *GIS Software - A description in 1000 words*. University of Calgary (CA), University of Zurich (CH). Version – 1.2 – 08. May. 2009. En http://www.geo.unizh.ch/publications/sstein/gissoftware_steiniger2008.pdf.

Software gratuito para SIG. <http://www.mapcruzin.com/free-gis-software-tools.htm>

<http://postgis.refractory.net/> PostGIS incluye soporte para objetos geográficos a la base de datos relacional de objetos PostgreSQL. Software gratuito.

<http://www.postgresql.org/>. Sistema de base de datos de objetos relacional. Software gratuito.

9. Anexo 1: Formatos de archivos ráster

Archivos BMP: los archivos BMP almacenan información utilizando 1 bit ($2^1 =$ blanco y negro), 4bits ($2^4 = 64$ colores), 8bits ($2^8 = 256$ colores) y 24bits ($2^{24} = 16.7$ millones de colores) por píxel.

Archivos BSQ, BIL y BIP: banda intercalada por línea (BIL), banda intercalada por píxel (BIP) y bandas secuenciales (BSQ). Estos formatos son comunes en la comunidad de usuarios de imágenes satelitales digitales.

Archivos en formato de ERDAS: la terminación de estos archivos puede ser *.lan, *.gis y *.img.

Formato GRID de ArcInfo: el formato GRID es propietario de ESRI y puede contener tanto datos enteros como de punto flotante en 32-bit.

Formato JPEG: este es un formato estándar para almacenar imágenes a color o en tonos de grises comprimidas.

Formato TIFF (*Tag Image File Format*): Este es un formato utilizado con mucha frecuencia en teledetección y en diseño gráfico. El formato TIFF incluye imágenes en blanco y negro (1 *bit*), tonos de grises (4, 8, 16, 24, o 32 *bits*), pseudocolor (4, 8 o 16 *bits*) y color verdadero (24 *bits*); y pueden almacenarse como archivos comprimidos o sin comprimir. También puede aceptar imágenes multibanda con 8 *bits* por banda.

Formato TIFF/LZW: estas son imágenes TIFF comprimidas, las cuales utilizan el método LZW (Lempel-Ziv y Welch).

GeoTIFF: el formato GeoTiff incluye información sobre georreferenciación de la imagen.

MrSID: este es un formato de compresión propietario de la compañía LizardTech (www.lizardtech.com), el cual puede lograr tasas de compresión de 20-50 a 1.