

4  
2ej



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON

SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO EN COMPUTACION**

**PRESENTA**

**Luis A. Castellanos Fajardo**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

México, D.F.

1993



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**A mis padres.**  
**A mis hermanos.**

### III

Quiero manifestar mi agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones por el apoyo incondicional, el ejemplo mostrado, la experiencia compartida, los estímulos y retos y que de una u otra manera han contribuido a la realización de este trabajo, especialmente a:

Mi Alma Mater.

Mis maestros y amigos.

C.P. Luis Arévalo P., Arq. Margarita Jordá L. e Ing. Porfirio Alcántara del proyecto SICORI, PEMEX.

Ing. Angel Castro, Control Data de México.

Ing. Gerardo Madrigal e Ing. Adrián Hernández, Intergraph de México.

Víctor Guerrero, Presidencia INEGI.

Lic. Javier López Caloca, Dirección Regional Oriente-INEGI.

Dr. Gabriel Carmona, DGSCA-UNAM.

Autoridades, Investigadores y personal de El Colegio de México.

James Black, AM/FM International

Wayne Bannister, Urban and Regional Information Systems Association (URISA).

Dra. Silvana Levi, Arq. Ma. Eugenia Negrete, Ing. Gerardo Velázquez, Asociación Mexicana en Sistemas de Información Geográfica y Estadística (AMESIGE).

Y muy especialmente a la Dra. Carmen Reyes G., Rodolfo Sánchez S. e Ing. Carlos Payno S.

Postumamente al Sr. Ing. Don Pablo Reyes (e.p.d.), Dirección Regional Oriente, INEGI.

- Haz, Sancho la averiguación que te he dicho y note cures de otra; que tu no sabes qué cosa sean coluros, líneas, paralelos, zodiacos, eclípticas, polos, solsticios, equinocios, planetas, signos, puntos, medidas, de que se compone la esfera celeste y terrestre; que si todas estas cosas supieras o parte dellas, vieras claramente qué de paralelos hemos cortado, qué de signos visto, y qué de imágenes hemos dejado atrás, y bamos dejando ahora. -

Don Quijote de la Mancha  
Miguel de Cervantes S.

## CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
CONTENIDO	V
INTRODUCCION	1
I.- ANTECEDENTES.	
I.1.- INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.	4
I.2.- BREVE HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.	7
II.- SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.	
II.1.- RELACION DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA CON EL DESARROLLO DE OTRAS TECNOLOGIAS.	12
II.2.- CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA.	15
II.3.- PRINCIPALES APLICACIONES.	17
III.- COMPONENTES BASICOS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.	
Escala y Precisión.	20
Componentes de los Sistemas de Información Geográfica.	20
III.1.- ADQUISICION DE DATOS.	21
III.2.- PRE-PROCESAMIENTO DE DATOS.	25

## VI

III.2.1.- Conversión de Formatos.	28
Conversión de Estructuras de Datos.	28
Conversión de Medios de Datos.	31
III.2.2.- Generalización y Reducción de Datos.	32
III.2.3.- Detección de Errores y Edición.	35
III.2.4.- Construcción.	36
III.2.5.- Unión de Mapas Adyacentes.	37
III.2.6.- Rectificación y Registro.	39
III.2.7.- Fotointerpretación.	42
III.3.- MANEJADOR DE DATOS.	44
III.3.1.- Manejador de Datos No Espacial.	44
III.3.2.- Administrador de la Base de Datos Espacial.	47
III.3.3.- Liga entre las Bases de Datos.	49
III.4.- MANIPULACION Y ANALISIS.	50
III.4.1.- Reclasificación y Agregación.	51
III.4.2.- Operaciones Geométricas sobre Datos Espaciales.	53
III.4.3.- Determinación del Centroide.	54
III.4.4.- Conversión de Estructuras de Datos.	55
III.4.5.- Operaciones Espaciales.	55
Operaciones de Conectividad.	55
Operaciones de Vecindad.	56
III.4.6.- Mediciones.	57
III.4.7.- Análisis Estadístico.	59
Estadística Descriptiva.	60
Histogramas o Conteo de Frecuencias.	60
Valores Extremos.	60
Correlación y Tablas Cruzadas.	60

## VII

III.4.8.- Modelado.	61
III.5.- GENERACION DE PRODUCTOS.	63
Mapas Temáticos.	64
Mapas a color o Coropletos.	64
Mapas de Contorno.	64
Mapas de Punto.	65
Mapas de Línea.	65
Mapas Animados.	65
IV.- MODEMOS DE DATOS ESPACIALES.	
IV.1.- MODELOS DE DATOS VECTOR.	72
IV.1.1. Modelo de Polígonos Completos.	72
IV.1.2. Modelos Topológicos.	75
IV.1.3. Estructura DIME.	76
IV.1.4. Estructura Arco-Nodo.	78
IV.1.5. Estructura Relacional.	79
IV.1.6. Estructura POLYVRT.	81
IV.2.- MODELOS DE DATOS RASTER.	83
IV.2.1. Modelos de Mallas Regulares.	88
IV.2.2. Modelos de Mallas Anidadas.	90
Areas Quadtrees.	92
Quadrees Puntuales.	94
IV.2.3. Mallas Irregulares.	96
Polígonos de Thiessen.	98
IV.2.4.- Comparación entre estructuras de datos.	100

<b>V.- SOFTWARE Y HARDWARE PARA SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.</b>	104
<b>VI.- SISTEMA DE INFORMACION URBANA DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO.</b>	
VI.1.- INTRODUCCION.	119
VI.2.- DISEÑO DEL SISTEMA.	121
VI.3.- LA DIMENSION ESPACIAL.	122
VI.4.- LA DIMENSION TIEMPO.	125
VI.5.- LA DIMENSION CONTENIDO.	127
VI.6.- ANALISIS DE DATOS.	127
VI.7.- IMPLEMENTACION DEL SISTEMA.	128
VI.8.- ADQUISICION DE DATOS.	130
VI.9.- PREPROCESAMIENTO, MANIPULACION Y ANALISIS.	131
<b>CONCLUSIONES</b>	147
<b>GLOSARIO</b>	151
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	174

## INTRODUCCION

La creciente necesidad de investigadores y profesionistas en muchas disciplinas, de relacionar fenómenos dentro de un marco conceptual de trabajo, espacial y temporal, como los avances en computación gráfica dieron la pauta para la creación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS por sus siglas en inglés, Geographical Information Systems) a mediados de los años 60's.

La utilización de estos sistemas se ha visto obstaculizada por los elevados costos del hardware y software, y porque, para el diseño de sistema se requiere de personas expertas en distintas áreas, como son geografía, computación, urbanismo, demografía, sociología, economía, ingeniería y otras.

Los SIG son sistemas diseñados para la solución de un problema o conjunto de problemas específicos como pueden ser un catastro, la administración de recursos naturales, análisis urbano, zonificación de uso de suelo, ubicación de zonas industriales, redes de servicio e infraestructura, medio ambiente, agricultura, usos militares y muchos más.

Estos sistemas han sido producidos principalmente por agencias gubernamentales y estatales, universidades, institutos de investigación, programas de cooperación interinstitucionales y firmas comerciales, estas últimas han incrementado fuertemente su participación en los últimos años.

En México, el primer sistema de información geográfica, el Sistema Geomunicipal de Información, que fue un sistema de punta tecnológica, lo realizó el Centro de Procesamiento Arturo Rosenblueth (CPAR) perteneciente a la Secretaría de Educación Pública (SEP) a principios de los años 70's.

Actualmente, su sucesor, el Sistema de Información para la Planeación (Educativa), (SIP) contiene la cartografía de todo el país a nivel municipal, las variables de educación y censales con que cuenta la SEP. El sistema esta implementado tanto en el CPAR donde continúa su desarrollo así como en todas las delegaciones de SEP en el país, donde la herramienta se ha incorporado al trabajo de planeación.

Varias instituciones como INEGI, PEMEX, SEDUE, DDF, CNA, SARH, CFE, SCT, COLMEX, y gobiernos estatales han tenido la necesidad de auxiliarse de este tipo de sistemas, encontrándose con el gran problema de contar con personal adecuado para el diseño e integración de los SIG.

El objetivo de este trabajo es el de presentar los conceptos básicos en el área de Sistemas de Información Geográfica, describir sus principales componentes y mostrar la integración de un SIG tomando como ejemplo el Sistema de Información Urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (SIU), realizado en el Colegio de México.

Para cumplir con los objetivos anteriores, el trabajo se divide en seis capítulos, que a continuación se resumen:

En el Capítulo I se presenta una introducción a los Sistemas de Información Geográfica con algunas definiciones y conceptos, así como una breve historia de los SIG.

En el Capítulo II se muestran las disciplinas y técnicas que afectan el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica. También se presentan los requerimientos para que un sistema de información sea considerado geográfico y por último se muestran algunas aplicaciones comunes de los SIG.

En el Capítulo III se hace una descripción general de los componentes básicos de los Sistemas de Información Geográfica.

En el Capítulo IV se describen los modelos de datos espaciales comúnmente utilizados en el software para SIG.

En el Capítulo V se hace una descripción del Software y del Hardware para SIG que existe en México y se da una lista del software comercial que se puede encontrar en los Estados Unidos y Canadá.

En el Capítulo VI se describe cómo se está integrando el Sistema de Información Urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (SIU).

Se presenta un glosario, que no pretende ser exhaustivo, de términos frecuentemente empleados en el área. En este glosario aparecen palabras inglesas, tecnicismos, acrónimos y neologismos, cuyo uso en español no es del todo aceptado.

## I. ANTECEDENTES

### I.1. INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

Existen muchas definiciones de Geografía, todas coinciden en que es la relación que tiene el Hombre con la Tierra. Una herramienta fundamental en el estudio de estas relaciones es el mapa. Los mapas representan un retrato de las relaciones espaciales y fenómenos sobre la Tierra.

Hay muchas personas que no aprecian la dificultad que tiene el leer y comprender un mapa o interpretar una fotografía aérea. Estas dos actividades tienen en común el uso de una vista del espacio geográfico en dos dimensiones, esta vista ayudada por un experto en la lectura de mapas o en fotointerpretación nos hará comprender las relaciones espaciales con mayor facilidad.

La función de un Sistema de Información es la de aumentar la habilidad del usuario para la toma de decisiones en investigación planeación o administración.

Un sistema de información es una serie de operaciones que van desde la planeación, la observación, y la recopilación de datos hasta el almacenamiento y el análisis de los datos para tratar de derivar información que ayude en algún proceso de toma de decisiones.

Estas definiciones nos llevan a decir que un mapa es un tipo de sistema de información. Un mapa es una colección de datos analizados y almacenados y la información derivada de esta colección es usada en la toma de decisiones. Un mapa puede ser capaz de transmitir información en forma clara y sin ambigüedades.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS por las iniciales en inglés, Geographical Information System) es un sistema de información que está diseñado para trabajar con datos referidos espacial o geográficamente.

Una definición de SIG de mi agrado dice: Un SIG es una mezcla de recursos humanos, información y datos geográficos digitales, procedimientos automáticos y manuales y el procesamiento de datos con el hardware y el software adecuados, que se utiliza para responder consultas sobre rasgos geográficos. Entre las componentes importantes se encuentran un administrador de base de datos, algoritmos geográficos y una interfase con el usuario. También requiere herramientas para la generación y despliegue de productos, adquisición de datos, almacenamiento, etc.

Otra definición nos dice que un SIG puede describirse como un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para realizar la captura, administración, manipulación, modelado y despliegue de información con referencia espacial para resolver problemas complejos de administración y planeación.

En términos más simples, un SIG es un sistema computarizado que puede mantener y emplear información para describir rasgos en la superficie de la Tierra y sus atributos.

Así como tenemos mapas diseñados para tareas y usuarios específicos (mapas de carreteras, de tipo de vegetación, de uso del suelo, geológicos, etc.) así también deben ser los SIG, diseñados para resolver problemas específicos (catastros, administración de recursos naturales, planeación urbana, etc). Por esto, es indispensable comprender perfectamente las necesidades de los usuarios, para así poder aplicar los datos y las herramientas adecuadas.

Un sistema de información geográfica puede ser Manual (llamado algunas veces Analógico) o **Automatizado** (basado en la computadora). Los sistemas de información geográfica manuales usual-

mente comprenden muchos elementos, incluyendo mapas, hojas de material transparente usados para hacer sobreposiciones, fotografías aéreas y de terreno, reportes estadísticos y de campo. Este conjunto de datos son compilados y analizados con instrumentos como estereopares fotográficos, planímetros mecánicos y electrónicos, etc. Los sistemas manuales funcionaron muy bien hasta que los volúmenes de información y la necesidad de analizarlos con mayor rapidez y confiabilidad no permiten que sean manejados manualmente; es en estos casos cuando hay que cambiar el sistema manual por un sistema automatizado aprovechando las experiencias del sistema manual.

De los sistemas de información geográfica automatizados podemos distinguir dos clases. La primera usa datos basados en mapas, en formato vectorial, este tipo de sistemas tiene aplicaciones en ingeniería, análisis de rasgos lineales y redes, análisis de vecindad y en representaciones temáticas. La segunda clase utiliza datos basados en imágenes, en formato raster con aplicaciones en análisis de imágenes de percepción remota y para ciertos procedimientos en el manejo de áreas.

El software comercial para SIG muestra una muy clara tendencia a integrar ambas clases aprovechando las ventajas de cada una de ellas en una misma aplicación.

Un sistema de información geográfica tiene potencial para incrementar los conocimientos del mundo que nos rodea. Sin embargo, estos sistemas no disminuyen la necesidad de contar con datos confiables y de calidad, y mucho menos nos evitarán hacer el trabajo que nos corresponde para obtener información de utilidad, como mucha gente piensa. El trabajo que podemos hacer con un SIG es muy variado, pero depende claramente de la calidad de los datos que contiene y del uso al que se destine.

Es por eso que debemos de tener mucho cuidado en escoger nuestras fuentes de información y tener muy en claro los errores

en los que podemos incurrir cuando recopilamos y procesamos los datos espaciales y no espaciales.

Ahora los usuarios no deben únicamente entender las aplicaciones del sistema, sino que también deberán entender las características de las herramientas y del sistema mismo, para que puedan explotar todo su potencial.

## **I.2. BREVE HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA**

Los Sistemas de Información Geográfica han evolucionado gracias a la combinación de varias áreas que requieren manipular datos con referencia espacial. Muchos de estos sistemas han sido desarrollados por planificadores del uso de suelo, cartógrafos, administradores de recursos naturales y agencias de gobierno a nivel nacional, estatal, regional y urbano.

Los avances en las comunicaciones y en la tecnología de la computación ha facilitado la diseminación de ideas y conceptos en general sobre los fundamentos y requerimientos necesarios para la construcción de un Sistema de Información Geográfica automatizado. En la actualidad disciplinas y técnicas distintas convergen hacia los SIG: la percepción remota, el diseño auxiliado por computadora (CAD), los sistemas de información del terreno (LIS, Land Information Systems), el mapeo automatizado y los administradores de servicios públicos (AM/FM, Automated Mapping/Facility Management) entre otros.

A partir de los avances en computación, cartografía y fotogrametría, se ponen los fundamentos para que los sistemas de información geográfica automatizados hagan su aparición en los

años 60's. El marco conceptual dentro de cualquiera de los primeros sistemas de información geográfica involucraba la integración de muchas disciplinas individuales. Investigadores y administradores de recursos en distintas áreas realizaban el trabajo necesario para integrar datos de distintas fuentes, la manipulación de datos para el análisis temático, para poder ser capaz de proporcionar información para la planeación de recursos y el proceso de toma de decisiones.

Tres factores importantes ayudaron a la creación de los sistemas de información geográfica en los años 60's:

- El refinamiento en la técnica cartográfica
- El rápido desarrollo de los sistemas digitales de computación y
- La revolución cuantitativa en el análisis espacial.

En 1969 Ian McHarg's formalizo el concepto de "LAND SUITABILITY/CAPABILITY ANALYSIS (SCA)", que es una técnica en la cual un dato concerniente al uso del suelo en un lugar, será estudiado integralmente dentro de un sistema de información geográfica analógico o digital. Los programas SCA son usados para comparar y combinar distintos tipos de datos vía un modelo determinístico, en orden para producir un plano general. Si el modelo es aplicado cuidadosamente y los datos convenientes están disponibles, el mapa puede ser consistente con la existencia de las clases de uso de suelo y las limitaciones que son impuestas por las características naturales y culturales.

El interés por la administración de recursos fue un incentivo en el desarrollo de sistemas de procesamiento de datos espaciales en el gobierno de los Estados Unidos en las tres décadas pasadas.

Un sistema llamado STORET fue desarrollado por el Servicio de Sanidad Pública para almacenar la información espacial acerca de la calidad del agua (1964). Otro sistema llamado MIADS, fue

desarrollado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos para el análisis de alternativas de recreación e hidrología (1964). El Departamento de Censos también se involucró fuertemente en geocodificar y automatizar el procesamiento de datos espaciales y desarrolló el sistema DIME en este tiempo.

En esta época en el Laboratorio de Computación Gráfica y Análisis Espacial de la Universidad de Harvard, desarrollaron y pusieron en marcha una serie de programas de mapeo y análisis automatizado, entre los que se encuentra el SYMAP, diseñado para mapeo temático. Es un paquete cartográfico limitado y sus salidas, en impresora de matriz no satisficieron a los usuarios.

Años después aparece el paquete GIMMS, desarrollado por la Universidad de Edinburgo, que fue diseñado para la producción de mapas temáticos y gráficas a color de alta calidad; cuenta con una gran cantidad de fuentes de elementos gráficos y de texto, manipulación de datos, y salida a graficador.

Las universidades norteamericanas dejaron sorprendentemente el desarrollo de la cartografía temática asistida por computadora y se preocuparon más por sistemas de mapeo interactivo dejando en segundo término la calidad cartográfica. Las universidades europeas como Edinburgo, Nottingham, Bonn, Innsbruck y Karlsruhe pusieron mayor atención en paquetes para la producción de mapas temáticos de alta calidad.

A finales de los sesentas, la Universidad de Washington, en Seattle, realizó importantes contribuciones en las áreas de análisis de transportes y planeación y renovación urbana. Las aplicaciones en planeación urbana florecieron con el desarrollo de este género de herramientas; para 1968 treinta y cinco agencias de planeación urbana y regional en los Estados Unidos utilizaban sistemas automatizados.

El primer sistema en ser reconocido como un sistema de información geográfica fue el Sistema de Información Geográfica

de Canadá o CGIS (Canadian Geographic Information System); Oficialmente, el CGIS fue diseñado específicamente para la Agencia de Rehabilitación y Desarrollo Agrícola, en un programa conjunto con el gobierno canadiense. El propósito principal del CGIS era el análisis de los datos del Inventario Canadiense de Tierras, que fueron recogidos para encontrar tierras marginadas. Por lo tanto, en un amplio sentido, el primer sistema de información geográfica fue desarrollado para ayudar con un problema de medio ambiente como lo fue la rehabilitación y desarrollo de tierras agrícolas en Canadá. El CGIS fue puesto en marcha en 1964, un año después de la primera conferencia sobre Programas y Sistemas de Información para Planeación Urbana. En esta conferencia se estableció la Urban and Regional Information Systems Association (URISA).

En 1967 se pone en marcha el Sistema de Información de Uso del Suelo y Recursos Naturales de Nueva York y en 1969 se instala el Sistema de Información para la Administración de la Tierra en Minnesota. En estos años, los costos y las dificultades técnicas para aplicar un sistema de información geográfica permitieron que sólo los usuarios poderosos como lo son algunas agencias del gobierno federal y algunos estatales pudieran solventar el desarrollo de estos sistemas en los Estados Unidos.

En el reporte del Servicio de Vida Silvestre y Pesca del Departamento del Interior de los Estados Unidos (1977), se comparan las potencialidades operacionales de cincuenta y cuatro diferentes sistemas (USFWS 1977). Esta encuesta es representativa de muchos otros trabajos y publicaciones de los últimos años de los 70's, que proporcionan información acerca del medio ambiente de hardware, lenguajes de programación, documentación y características de los sistemas existentes. Esta encuesta lista muchos sistemas de información geográfica desarrollados por agencias federales y estatales, así como de universidades. Sin embargo, en la información contenida hay muy pocos sistemas de información geográfica comerciales.

Además del inicio del desarrollo de los SIG comerciales, en los 70's también hay desarrollos significativos en sistemas de procesamiento de imágenes y percepción remota, que frecuentemente tienen algunas funciones de los SIG. Se desarrollaron sistemas de procesamiento de imágenes, con algunos elementos de SIG, en el Laboratorio para Aplicaciones de Percepción Remota de la Universidad de Purdue.

El desarrollo de la tecnología y las aplicaciones de la percepción remota durante la década pasada y ésta fueron incentivos de muchos trabajos prácticos y teóricos en las áreas de correcciones y registros geométricos y por ende, geográficos.

El acoplamiento de los datos del mapa y de la imagen también conduce a trabajos de conversión de formatos de datos tipo raster a formatos vectoriales.

En los pasados 10 años se ha dado un crecimiento explosivo de la base tecnológica para estos sistemas, particularmente en las áreas de tecnología de procesadores, interfases gráficas, almacenamiento en medios ópticos, arquitecturas multiproceso, dispositivos de salida, sistemas operativos, dispositivos de incorporación gráfica, comunicaciones, interfases con el usuario, procesamiento de datos, sistemas de percepción remota, etc.

En resumen, el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica tiene todavía amplias perspectivas, en términos de conceptos fundamentales y de tecnología.

Una reciente tendencia en la evolución de la tecnología de los sistemas de información geográfica es la inclusión de la inteligencia artificial dentro del diseño y operación de los SIG.

## II. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

### II.1. RELACION DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA CON EL DESARROLLO DE OTRAS TECNOLOGIAS

Vivimos en un mundo básicamente espacial (y temporal) por naturaleza y estamos acostumbrados en nuestra rutina diaria a interactuar con complejos conceptos espaciales. Vivimos en un domicilio, trabajamos en otro y nos desenvolvemos en muchas áreas dispersas como comercios, instituciones y las casas de las amistades, a estos tenemos asociados direcciones, distancias, posiciones relativas y muchos otros conceptos espaciales que manejamos de forma intuitiva.

Es por eso que también, muchos procesos de importancia involucrados en la toma de decisiones, deben estar referidos espacialmente. De esta necesidad de analizar los fenómenos con referencia espacial surgen los Sistemas de Información Geográfica.

Investigadores y profesionales en Geografía y otras disciplinas, por muchos años tuvieron problemas para relacionar el análisis y manipulación de entidades en un marco de trabajo en el espacio-tiempo. El medio más común para almacenar y presentar esta información fue tradicionalmente el mapa.

Pero la incorporación de los sistemas de computación y el avance conceptual de otras áreas facilitaron el problema de almacenamiento, manipulación y análisis de grandes volúmenes de datos espaciales.

Siendo un área relativamente nueva, el desarrollo continua para hacer sistemas cada vez más eficientes y amigables para el usuario.

Las áreas donde se esta desarrollando fuertemente el manejo de datos espaciales son:

- Teoría de relaciones espaciales
- Agregación y generalización de datos
- Análisis de exploración de datos
- Consultas a la Base de Datos
- Mejoramiento en la entrada de datos
- Actualización de datos
- Análisis de algoritmos
- Ingeniería de Hardware y Software
- Sistemas amigables para el usuario
- Computación gráfica y procesamiento de imágenes
- Percepción remota y Fotogrametría
- Geometría computacional
- Desarrollo de sistemas administradores de base de datos
- Inteligencia artificial
- Sistemas expertos

Estos avances están siendo apoyados por institutos de investigación, firmas comerciales de desarrollo de sistemas y de toma de decisiones, agencias gubernamentales y estatales, universidades y programas de cooperación internacionales.

Desde el punto de vista computacional, existen cinco elementos esenciales que deben tener los Sistemas de Información Geográfica que son: Adquisición de Datos, Pre-procesamiento, Manejador de Datos, Manipulación y Análisis, y Generación de Productos. En términos generales se incluyen también la Administración del Sistema y el de Uso del Sistema en los cuales se incluyen capítulos importantes como el análisis de requerimientos de los usuarios, la promoción del sistema, obtención y administración de recursos humanos, la capacitación y otros a los cuales no nos referiremos en este trabajo.

La Adquisición de Datos se refiere al proceso de identificación y recopilación de los datos específicos que requiere la aplicación.

El Pre-procesamiento involucra la manipulación de los datos para que sean consistentes e introducidos al sistema.

El Manejador de Datos se encarga de las funciones de creación, acceso, actualización, borrado y recuperación de los datos contenidos en la base de datos.

La Manipulación y Análisis frecuentemente es confundida con el Sistema de Información Geográfica, dentro de este módulo del sistema se pueden ejecutar operaciones analíticas que trabajan con datos de la base de dato para derivar información nueva.

La Generación de Productos es la fase final, donde podemos crear las salidas gráficas y los reportes con los resultados del análisis, ya sea vía graficador, impresora o archivo.

Estos componentes básicos serán discutidos con mayor detalle en los siguientes capítulos.

### **Los datos en un SIG**

Es importante comprender los diferentes tipos de variables que pueden ser almacenados en cualquier sistema de información.

Las variables **Nominales** son aquellas que son descritas por el nombre, sin implicar un orden. Un ejemplo pueden ser las categorías de uso de suelo como parques, áreas sin cultivo, zonas residenciales, zonas comerciales, etc. Este tipo de variables son comunes en varias clases de mapas temáticos.

Las variables **Ordinales** son listas de clases discretas con un orden inherente. Por ejemplo los niveles de educación (primaria,

secundaria, preparatoria, licenciatura y postgrado). Estas clases discretas tienen una secuencia natural.

Las variables de **Intervalo** tienen una secuencia natural, pero además, la distancia entre los intervalos es la misma.

Las variables **Radiales** tienen la misma característica que las variables de intervalo pero además tienen un cero natural como punto de inicio.

Perteneciendo a alguna de las cuatro categorías anteriores, en los sistemas de información geográfica podemos hablar de dos clases de datos. Los **datos espaciales** que son aquellos objetos que tienen una ubicación sobre la Tierra y la segunda clase son los **datos no espaciales** o atributos, y que están lógicamente ligados a los datos espaciales.

En algunas aplicaciones el número de datos no espaciales puede ser mucho mayor que el de los datos espaciales. Esto es, un objeto espacial puede tener muchos atributos ligados.

## II.2. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA.

Existen en los sistemas de información geográfica requisitos que deben ser considerados en el diseño y puesta en marcha del sistema. Por su importancia deben considerarse entre otras cosas:

- a) La habilidad para manejar concurrentemente grandes volúmenes de datos de diferentes fuentes, con bases de datos heterogéneas indexadas espacialmente.

- b) La habilidad para hacer búsquedas de datos espaciales y de sus atributos ya sea con criterios espaciales, por clases de atributos o ambas.
- c) La eficiencia en el manejo de estas búsquedas para que el sistema sea interactivo.
- d) La flexibilidad de la configuración del sistema debe permitir al usuario adaptar el sistema a sus aplicaciones específicas.
- e) La habilidad del sistema para ayudar al usuario a distinguir los objetos espaciales haciendo uso de las bases de datos del sistema.

Muchos de los sistemas construidos no poseen la totalidad de estas características.

Existen principios generales que pueden ser aplicados para facilitar el diseño y puesta en marcha de un sistema de información geográfica:

- a) El primer principio, incluye la aplicación sistemática de las técnicas y los avances logrados en muchos campos de las ciencias de la computación como pueden ser la ingeniería de software, teoría de bases de datos, el estudio de algoritmos y de su complejidad, la inteligencia artificial, la computación gráfica y los lenguajes naturales de procesamiento, el procesamiento de imágenes de percepción remota, etc.
- b) El segundo principio se refiere a la integración de avances y procedimientos desarrollados por una gran variedad de disciplinas que se relacionan con los SIG's, por ejemplo geografía, demografía, ecología, economía, ingeniería, urbanismo, etc.
- c) El tercer principio se relaciona con la aplicación de los procedimientos necesarios para reducir los tiempos de las

búsquedas y respuesta de preguntas, particularmente evitando las estrategias de búsqueda simple y exhaustiva.

- d) El último principio se refiere a que la construcción de un sistema de información geográfica debe tener una interfase con el usuario eficiente para que él mismo pueda usar y modificar su aplicación.

### **II.3. PRINCIPALES APLICACIONES**

Muchas de las aplicaciones en este campo se han enfocado a sectores como el forestal, agrícola, de uso de suelo, catastral, de transporte, urbanismo, planeación, ingeniería civil, medio ambiente y militar, siendo estas aplicaciones muy variadas.

Por ejemplo, las aplicaciones en el sector forestal han ido en aumento. La tecnología de los SIG puede ser utilizada para la actualización y mantenimiento de un inventario forestal actualizado, para la planeación de algunas actividades forestales como, silvicultura, construcción de caminos, conservación de cuencas, reforestación, zonas de reserva ecológica, administración de recursos minerales y recreativos, sitios arqueológicos, clasificación de zonas susceptibles a incendios, etc.

Sistemas de este tipo están siendo utilizados por el U.S. National Forest Service y todas sus oficinas regionales, así como en el Ministerio de Recursos Naturales de Canadá.

Otro de tipo de aplicaciones muy común son los catastros de las grandes ciudades, para mantener actualizados el padrón de los contribuyentes y el Registro Público de la Propiedad.

Las aplicaciones a servicios como teléfono, electricidad y gas incluyen monitoreos de gasoductos, oleoductos y líneas de transmisión. Para inventario de equipo, como ubicación de postes, cepas, transformadores y centrales. Las aplicaciones para planeación incluyen pronósticos de demanda de servicio y necesidades de ubicación de nuevas instalaciones, optimizando los costos directos de instalación, el costo social y el impacto sobre el medio ambiente.

Existen aplicaciones en el transporte como la planeación de rutas de vehículos escolares, rutas de distribución de productos, rutas de transporte público o rutas de reparto postal con la finalidad de optimizar tiempos y minimizar costos.

Dada su capacidad para utilizar datos topográficos digitales, los SIG se ha convertido en una buena herramienta para proyectos de ingeniería civil, como por ejemplo, la ubicación y construcción de carreteras, puentes, presas, etc.

En los sectores agrícola y de medio ambiente son utilizados para clasificar tipos y calidades de suelos, tierras que pueden ser mejoradas con sistemas de riego, estimaciones de la producción agrícola y silvícola. Son utilizados para medir el impacto que produce la contaminación del aire, agua y suelos sobre la flora y fauna; la ubicación de zonas de riesgo y el monitoreo de la calidad del aire y el agua.

Existen aplicaciones para la explotación de recursos naturales tales como la minería y el petróleo.

Aplicaciones en planeación de infraestructura como ubicación de escuelas, clínicas y hospitales, delegaciones de policía, estaciones de bomberos, aeropuertos, puertos, corredores industriales, centros deportivos y recreativos, etc.

Se están empleado para diseminación de información censal con datos de población, vivienda, educación y económicos.

Hay aplicaciones también para análisis urbano, en los que se estudia el comportamiento de las grandes urbes.

También hay aplicaciones para actualización y producción cartográficas.

Estas son solo algunas de las aplicaciones que pueden hacerse con los sistemas de información geográfica. Para muchos investigadores y tomadores de decisiones los SIG se han convertido en la herramienta principal.

Como un ejemplo, se describe a continuación el sistema Cal/Real, desarrollado en el estado de California con la participación de muchas entidades públicas y privadas.

Los suscriptores del Cal/Real pueden conectarse con cualquier condado donde opere, usando una PC que emula una terminal-X por vía telefónica a un nodo local. En la requisición inicial, se pide información genérica del área. La información que entrega el sistema es la descriptiva de las propiedades en venta o renta en el área y un mapa de puntos. Entonces el cliente selecciona dos o tres opciones a lo que el sistema responde con un mapa de predios, información sobre el transporte, las escuelas y comercios. Conforme la búsqueda se cierra, aumenta la información con fotografías y videos de la casa y del barrio. Si el cliente está lejos y tiene interés, puede arreglarse una "visita" a través de video en vivo. El sistema colabora también en los aspectos financieros y crediticios. Tiene servicios especiales y más amplios para los clientes industriales o comerciales. Las transacciones de compra/venta de bienes raíces han aumentado y el tiempo que requerían estas operaciones se ha reducido a un tercio del que antes requerían.

### III. COMPONENTES BASICOS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

#### Escala y Precisión.

A continuación discutiremos de manera informal los conceptos de escala y precisión por la importancia que tienen en los SIG. Entendemos por escala la razón de la distancia medida en el mapa y la misma distancia medida en el terreno. El término precisión es un poco más difícil de definir pero para nuestros fines diremos que precisión es: a) El número de cifras significativas que utiliza un paquete; b) la calidad y/o la división más pequeña en la graduación o escala de un instrumento de medición; c) la reproducibilidad de una medición, o sea, el rango dentro del cual caen todas o la mayoría de las mediciones hechas.

La importancia de estos dos puntos reside en que en los sistemas de información geográfica, los mapas virtuales carecen de escala y es muy fácil olvidar que los mapas o las mediciones empleadas para crear el mapa si tienen una escala y una precisión bien definidas. Por ejemplo, si usamos cartografía 1:50,000 de INEGI como fuente, la precisión es de  $\pm 5$  metros. Si la incorporación se hace perfectamente, en el mejor de los casos, ésta será nuestra precisión, independientemente de la escala a la que vemos el mapa en pantalla o lo reproducimos en un gráficator.

#### Componentes de los Sistemas de Información Geográfica.

En la figura 1, se presenta el modelo de bloques de sistemas aplicado al caso particular de Sistemas de Información Geográfica.

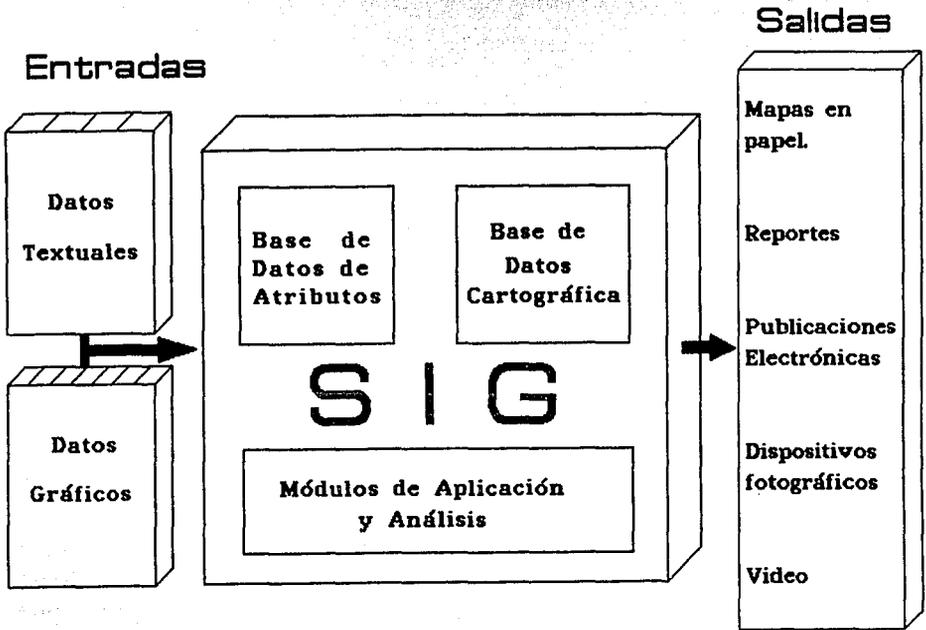


Figura 1.

### III.1. ADQUISICION DE DATOS.

La componente de Adquisición de Datos identifica la información que se requiere para llevar a cabo las tareas hacia las que está orientado el sistema así como las fuentes de esa información. Entre sus funciones están el definir, en conjunto con el usuario, el universo de información que debe contener el sistema, proceder a obtener la información de las distintas fuentes y establecer los mecanismos de recolección y actualización de la información.

Muchos SIG aceptan varios tipos de formatos de entrada. Aún así, preparar los datos es uno de los problemas operacionales más grandes y costosos en este campo.

Los datos que son introducidos a un SIG son adquiridos de varias maneras. Algunos datos vienen en medios convencionales y otros son digitales. Los primeros incluyen mapas, fotografías, fotomapas, e información no espacial en forma de listados y publicaciones. Otros datos vienen en formato digital. Estos incluyen datos espaciales como digitalizaciones, modelos digitales de terreno, imágenes de satélite, así como archivos provenientes de hojas de cálculo, bases de datos, procesadores de palabra, etc.

La información gráfica la podemos reducir a puntos, líneas y áreas. Podemos por conveniencia considerar también algunos símbolos gráficos especiales, ya incluidos en el software o fáciles de añadir, pero todos ellos pueden reducirse a los tres elementos básicos.

La información representada por medio de puntos es aquella información que es de naturaleza puntual como un pozo, un punto geodésico o banco de nivel, o bien aquellos que en la escala del mapa fuente aparecen como puntos y son de interés como podrían ser escuelas, hospitales, templos, bancos, oficinas gubernamentales, mercados, centros comerciales, etc.

Las líneas son empleadas para representar rasgos geográficos de naturaleza lineal como son tendidos eléctricos, los límites entre los cuerpos de agua y la tierra, otros que en la escala empleada es conveniente representar como líneas como pueden ser caminos, carreteras, vías férreas, arroyos, calles y por último aquellos rasgos que tienen sólo una existencia virtual como fronteras políticas, curvas de nivel, meridianos y paralelos geográficos.

Con las líneas es posible delimitar áreas que nos representan entidades geográficas naturales como lagos, cuencas, cuerpos de agua, islas o rasgos humanos como países, distritos, parcelas, jurisdicciones. Podemos representar como áreas, algunos fenómenos puntuales estadísticos como densidad de población, riesgos, lengua, etc.

Podríamos replicar los mapas convencionales en la computadora usando puntos, líneas y áreas. Sin embargo, la herramienta nos permite hacer mucho más que eso; en un SIG, debemos transferir al menos algunas de las funciones que hace quien lee un mapa a la computadora. Para lograrlo debemos dar a la computadora elementos de juicio para que esas funciones de interpretación puedan realizarse. Esto se logra dándole a los puntos, líneas y áreas elementos que permitan a la computadora realizar esas funciones. Así, un punto puede estar aislado (un pozo), estar sobre una línea (una torre de alta tensión) o estar dentro de un área (un pueblo en un estado). De manera análoga, una línea puede estar sobre otra (el río y la frontera coinciden), o la línea puede estar dentro de un área (carretera en el estado). Finalmente un área puede estar dentro de otra (un lago en el estado).

Como veremos posteriormente, la descripción del párrafo anterior nos conduce a asignarle lo que algunos llaman "inteligencia" y otros "topología" a los elementos gráficos que nos representan el rasgo geográfico. Un segmento de línea no es sólo una raya en el papel sino el cauce de un riachuelo desde la fuente hasta donde se une con otro, de A a B, en la cuenca del río X, con un caudal Y, en un cierto distrito de riego.

Por la importancia que revisten algunas clases de datos es conveniente discutirlos brevemente.

Un conjunto de datos singular está constituido por las redes. Pensemos en la red carretera, con ruta principal, caminos de terracería, supercarreteras, etc, en la red de transporte urbano, las redes de abastecimiento de servicios (agua, luz, teléfono,

etc.). Otras redes incluyen vías fluviales, vías ferreas, etc. a nivel local, regional o nacional. Con frecuencia el software de SIG cuenta con herramientas ad hoc para el manejo de redes.

Otro tipo de datos espaciales son los que forzosamente son descritos como campos continuos, donde teóricamente podemos calcular o medir un valor en cualquier posición. Ejemplos de esta clase de datos son descripciones de elevación, densidad de población, climatología, geología y prospección minera.

Finalmente, aunque lo mencionamos anteriormente, la división de la superficie de la Tierra en regiones discretas, relativamente homogéneas es una clase importante de datos espaciales. Un mapa político es el ejemplo más común de este tipo. Otro ejemplo similar sería subdividir la Tierra en coberturas por uso del suelo, indicando las fronteras de las diferentes clases o de las características dentro del área.

Cada tipo de dato pueden ser almacenado y presentado a los usuarios de varias formas. Tradicionalmente los productos cartográficos han proporcionado una manera fácil para entender, almacenar y comunicar varios tipos de datos espaciales. La tecnología de SIG permite representaciones nuevas. La fotografía aérea puede ser usada en combinación con sobreposiciones cartográficas para obtener los llamados espacio-mapas, de gran belleza y sumamente descriptivos.

Debemos establecer una norma mínima que debe satisfacer el conjunto de datos que se incorpore al SIG. En estas se incluyen las exigencias del usuario y de la plataforma tecnológica así como las limitaciones de las fuentes de información. En esta norma se incluyen algunos datos como son:

La fecha en que fue procesado el dato. Es un elemento auxiliar muy importante que nos indica el valor temporal de nuestro conjunto de datos; nos sirve para hacer comparaciones de

un punto específico a través del tiempo, nos indica cual es la información más reciente que tenemos y cuando actualizarla.

Otro elemento que debemos de tomar en cuenta es el criterio de observación y la fuente. Un mapa de vegetación que esta basado en el trabajo de campo tiene mayor valor que un mapa hipotético que supone una distribución de especies basado en el conocimiento de la latitud y las condiciones climáticas.

Otro elemento importante a considerar se refiere a la precisión, la escala y la resolución de los datos.

Es conveniente llevar una bitácora de la información donde se describan estos puntos para cada bloque, conjunto o remesa de datos. La bitácora puede incluirse como parte del sistema o manejarse paralelamente en una base de datos.

### **III.2. PRE-PROCESAMIENTO DE DATOS**

Frecuentemente, los datos requieren de un pre-procesamiento, manual o automatizado, antes de incorporar los datos. Por ejemplo, los tabulados necesitan ser introducidos a la base de datos del sistema, las fotografías aéreas necesitan georreferirse y corregirse geoméricamente, pasar por un proceso de escaneo o digitalización para convertir los datos a formato digital.

El escaneo de fotografías aéreas o de satélite no digitales, puede requerir una clasificación temática y una rectificación antes de que los datos sean compatibles con las coordenadas cartográficas empleadas en el SIG.

En las figuras 2 y 3 se muestran esquemáticamente las entradas al sistema. En la figura 2, los datos textuales y en la 3 los gráficos.

## ENTRADAS: Datos Textuales

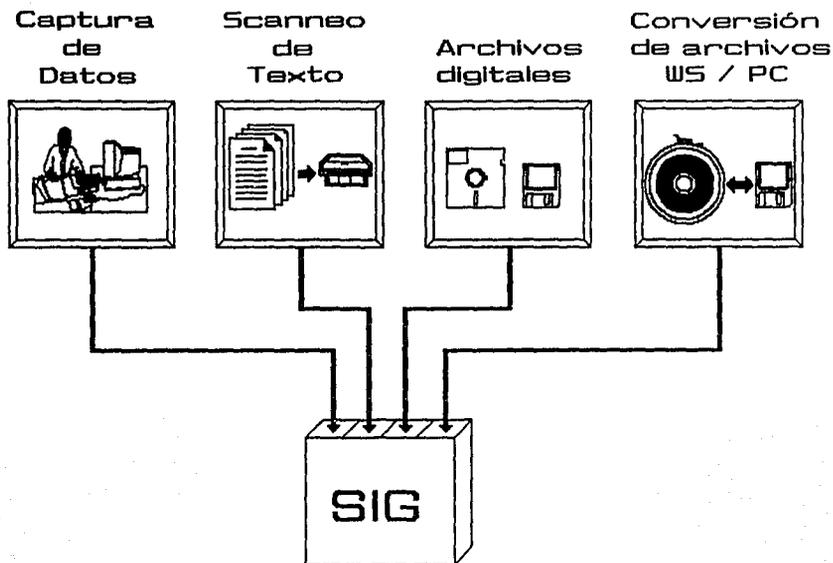


Figura 2.

Las propiedades geométricas de un conjunto de datos espaciales son muy importantes. Si queremos ser capaces de identificar el sistema coordinado y proyección usada en los datos, o ser capaces para recurrir a los medios para modificar el arreglo espacial de los datos originales para que corresponda a un arreglo deseado.

Los procedimientos de pre-procesamiento son usados para convertir un conjunto de datos a un formato conveniente para ser almacenados permanentemente dentro de la base de datos del sistema de información geográfica. A menudo, una gran proporción de datos que van a ser introducidos al SIG requiere algún tipo de procesamiento y manipulación previos para ajustarlos al tipo de datos compatible con el sistema. El resultado final de la fase

de pre-procesamiento es un conjunto consistente de capas de datos.

## ENTRADAS: Datos Gráficos

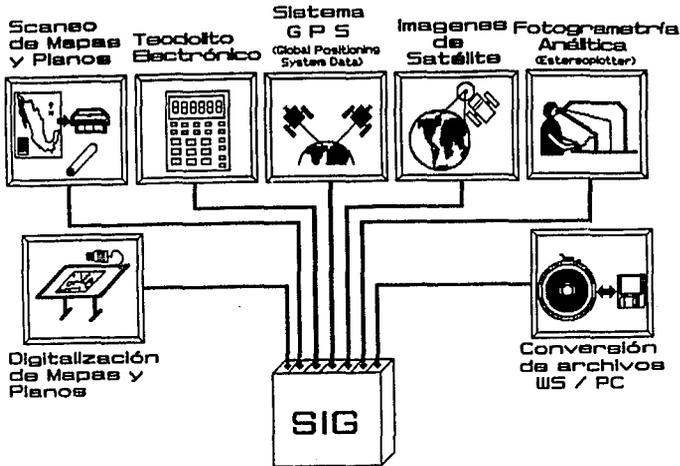


Figura 3.

Los procedimientos principales de pre-procesamiento, a criterio del autor, incluyen tanto los procesos de incorporación física de información a la computadora como al SIG; dadas las dificultades de incorporación a un SIG en particular, de la mayoría de los datos disponibles en el mercado en formato digital, en mi opinión, presentan tantos problemas como la captura directa a partir de mapas convencionales. A continuación se mencionan algunos de éstos:

- Conversión de Formatos.
- Reducción y Generalización de Datos.
- Detección y Edición de errores.

- Construcción de puntos en líneas y de puntos y líneas en polígonos.
- Unión de mapas adyacentes.
- Rectificación y Registro.
- Fotointerpretación.

### III.2.1. Conversión de Formatos

La conversión de formatos cubre muchos problemas diferentes, pero puede verse en términos de dos familias: conversión entre diferentes estructuras de datos digitales y conversión de medios no digitales de datos a un formato digital.

En el primero, hay que modificar la estructura original de los datos para hacerla compatible con otra. La segunda involucra conversión del material fuente como mapas en papel o convencionales, fotografías y tablas o publicaciones a un formato compatible usado por la computadora.

#### Conversión de Estructuras de Datos

Una causa por la que hay que cambiar de estructura de datos es porque usualmente los conjuntos de datos son recopilados para algún proyecto específico y estos se definen para una estructura creada específicamente para esa aplicación; para darles otro uso es necesario adecuarlos, además de transportarlos de una plataforma a otra que puede ser diferente.

Otro tipo de problema radica en la conversión de datos raster que vienen de digitalizar fotografías o de las imágenes de satélite, que están volviéndose muy populares, y que deben georeferirse y ocasionalmente vectorizarse ya que muchos de los SIG están basados en estructuras vectoriales.

Las formas más simples de conversión son entre miembros de una familia de estructuras (vector o raster). Por ejemplo, los conjuntos de datos raster. Este es el tipo de dato producido por el scanner multiespectral que es un sensor muy común instalado en aviones o satélites del tipo LANDSAT, así como por los escaners para digitalización de información en medios convencionales. Los datos producidos por estos sistemas son codificados a través de un arreglo de valores de brillantez para cada banda espectral en el sensor. Estos sistemas generan conjuntos de datos que son comparables con cualquier otra colección multivariada de datos raster. Los problemas de conversión incluyen la incorporación a la plataforma (el raster se debe adecuar tanto a las capacidades gráficas como a las restricciones de memoria y manipulación), y los problemas generados por las distintas escalas en X y Y de los sensores, el recorrido del vehículo durante el escaneo, por no mencionar toda la problemática que no es tema de esta tesis sino de procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones.

Los problemas con los diferentes formatos vector son mucho más numerosos y de mayor gravedad y no todos tienen solución.

Como ejemplo consideremos tres estructuras. La primera, es una vectorización que reproduce fielmente el dibujo del mapa sin ningún otro elemento. La única consulta que puede responder (si es que tiene referencias geográficas) es la posición del punto seleccionado. La segunda al igual que la primera reproduce el mapa, pero en esta, hay una simple liga entre el trazo de la carretera o río o cualquier otro rasgo a una base de datos, de tal manera que puedo consultar el nombre del río o el número de la carretera. En la tercera, además del dibujo y la liga sencilla, cada rasgo estará en la base de datos no sólo como un todo sino también como la colección de sus elementos más simples, que por sí mismos, constituyen también un rasgo. Esto es, la carretera ya no sólo es la carretera "Panamericana" sino el tramo entre el pueblo A y el B, dentro del estado X, el río es la frontera entre dos jurisdicciones, además es afluente de la

cuenca H, etc. En otras palabras, el contenido de la información conlleva todo cuanto sea mecanizable de lo que un ser humano hace al ver e interpretar un mapa, pero con mucha más información que la que se puede representar en un mapa convencional, (las bases de datos pueden ser muy grandes y los dibujos se saturan).

Pasar de la tercera a la segunda estructura, o de la segunda a la primera de nuestro ejemplo anterior, es fácil. Pasar de la primera a la segunda o de la segunda a la tercera, implica que la información debe complementarse (o iniciar el trabajo desde cero). Pasar de la primera estructura a la tercera es (casi) imposible.

Veamos un ejemplo muy sencillo. El problema entre algunas estructuras de datos es ¿cómo se leen los datos? Algunos sistemas requieren duplicar la información para la construcción de polígonos; los segmentos de la frontera entre dos polígonos se guardan como elementos en cada uno de los dos polígonos, otros sistemas sólo guardan una vez los segmentos de la frontera (añaden automáticamente quién está a la derecha y quién a la izquierda).

Hasta aquí hemos visto los problemas dependientes de la información misma. Mencionaremos ahora otros problemas pertinentes. Todos conocemos las dificultades de cambiar de plataforma, leer datos en distintos tipos de unidades de I/O, o cambiar de sistema operativo o de versión. La transferencia de la información de bases de datos nos es familiar; se hace a través de tablas, archivos ASCII, etc., soluciones que también se aplican en los SIG. Para el intercambio de información vectorial, existen y se emplean muchos estándares entre los que se encuentran: ASCII, DIME, DLG, DXF, IGES, TIGER y muchos otros. Aún satisfaciendo todos los puntos anteriores, para la transferencia de información de un SIG a otro, se requiere que la fuente de información documente fiel, amplia, honesta y completamente todos y cada uno de los detalles de la información que entrega o vende. Quien recibe o compra la información, debe

solicitar esta documentación y establecer canales de comunicación con el proveedor, para resolver conjuntamente y sobre la marcha los problemas que se presenten.

Otros problemas importantes surgen cuando intentamos convertir estructuras de diferentes familias como es el caso de la conversión vector-raster y raster-vector. La geometría y el tamaño de la celda son los elementos determinantes para los algoritmos de transformación. Las normas y estándares para estas conversiones están actualmente siendo desarrolladas por muchas instituciones gubernamentales, académicas y privadas.

### Conversión de Medios de datos

Mucha información valiosa y disponible no está en formato adecuado para manipularse y almacenarse en la computadora. Incluye mapas de muchos tipos y escalas, gráficos, tablas, textos e imágenes (basadas en procesos fotográficos o generados por instrumentos no fotográficos). Convertir este material a un formato compatible para los sistemas de información geográfica puede ser muy costoso y consumir mucho tiempo. De acuerdo al Grupo de Trabajo en Tecnología de Intercambio del US Geological Survey:

"La digitalización de datos cartográficos convencionales es quizá la fase que más recursos consume para construir una base de datos cartográfica digital o para utilizarse en un sistema de información geográfica"

La manera más común para convertir mapas y otros tipos de gráficos a formato digital es usar una tableta digitalizadora.

Para trabajos con poco volumen de información es un medio relativamente económico de incorporación. Pero tiene desventajas

como las limitaciones en la precisión (depende de la habilidad del operador), el material del mapa y las condiciones ambientales como temperatura y humedad, con distorsiones de menos del 0.2% utilizando materiales tipo película plástica a más del 3% usando papel. Estas consideraciones pueden ser importantes dependiendo del grado de precisión que requiere la aplicación.

Los sistemas de digitalización por Scanner también llamados barredor óptico son mucho más costosos que las tabletas digitalizadoras pero, tienen mayor precisión. Generan una estructura de datos raster; los archivos raster son editados interactivamente para extraer los elementos gráficos a un conjunto de datos original; el siguiente proceso es convertir los datos raster a formato vector. Los datos vector son estructurados para construir cualquier elemento o rasgo asignandoles las relaciones topológicas (es decir, contención y adyacencia), que son requeridas para el conjunto de datos producto. Finalmente, los datos son verificados interactivamente para garantizar los requerimientos de calidad.

### III.2.2. Generalización y Reducción de Datos

Todos los mapas están a una escala menor (que uno) que los fenómenos que representan, por tanto, la información contenida debe restringirse a lo que la precisión del mapa nos permite, para obtener representaciones gráficas adecuadas y estéticas. A este proceso se le conoce como generalización.

La generalización es una herramienta que utilizamos al crear un mapa de principio a fin, cuando definimos los rasgos que han de aparecer en el mapa producto, o los gráficos con los que representamos esos rasgos.

Es frecuente en los SIG producir mapas a escalas diferentes a la escala del material fuente. Cambiar la escala del mapa producto a otra mayor generalmente nos conduce a errores de

representación y confusiones con la precisión del mapa, que no mejora aunque aparente hacerlo, por lo que en general, no debe hacerse. Si cambiamos la escala a otra menor, es imprescindible reducir el volumen de información tanto para que nuestros mapas sean legibles como para optimizar los recursos del equipo, si hemos de conservar la densidad de información por unidad de área en el papel. No existen recetas para resolver todos los problemas que este cambio de escala nos impone. Debemos considerar, sin embargo, que si el producto final en papel es por ejemplo, a la mitad de la escala del producto fuente, el número de puntos representados debe reducirse a la cuarta parte, los símbolos empleados deben igualmente escalarse o sustituirse por otros más pequeños, los rasgos de menor importancia pueden o deben desaparecer, y la complejidad de las poligonales abiertas o cerradas simplificarse. Todos estos procesos deben obedecer tanto a la claridad (y estética) de la presentación requerida como conservar la consistencia con el producto fuente para satisfacer las necesidades del usuario.

Si queremos generalizar un mapa debemos empezar por reducir el volumen de información empleando los recursos que nos proporciona la base de datos alfanumérica. La base de datos puede permitirnos, dependiendo de como fue creada, agregar (por columnas), agrupar (por renglones) y eliminar (por relevancia), reclasificar y sumarizar, etc. De este proceso se desprenden guías para la modificación de los gráficos empleados (simbología especial, características de línea, tamaños de texto, etc.), la cual se hace cambiando directamente en las tablas de simbología los elementos a emplear. Resta aún simplificar el dibujo. Todo el detalle original que no sea necesario debe ser eliminado para mejorar la velocidad de despliegue, mejorar las salidas y para reducir el tamaño de la base de datos gráfica. Esto se logra borrando rasgos irrelevantes en la nueva escala y haciendo menos complejos los elementos que se conservan en la nueva representación. Esta tarea puede realizarse manualmente, semiautomáticamente o automáticamente.

Las dificultades implícitas en este proceso pueden ser mayores que la creación de un producto enteramente nuevo. Una vez más reiteramos la importancia y trascendencia del análisis de requerimientos del usuario y la planeación detallada del sistema y sus productos.

Por ejemplo, pensemos en un conjunto de datos que tiene registros de vegetación por especie y que nuestros requerimientos pueden ser satisfechos por un simple registro por grupos de especie (pinos, cipreses, cedros y oyameles quedan como coníferas).

Para un dato vector, consideramos los puntos, conectados por segmentos de línea recta, que describen una costa. En este caso, un procedimiento de generalización puede ser simplemente eliminar todos los puntos que se encuentren a una distancia menor que una distancia dada del punto que va a representar a los dos.

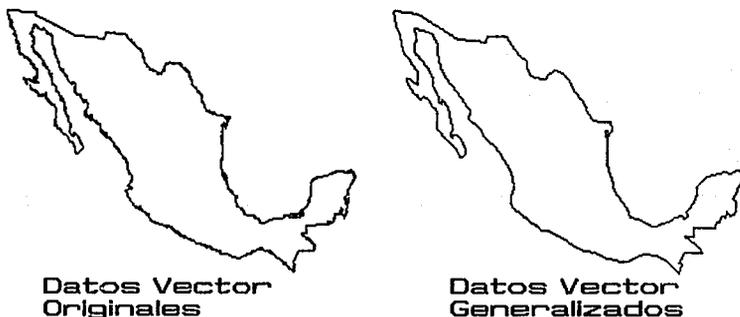


Figura 4. Generalización.

En el ejemplo de la figura 4, el número total de puntos se reduce por un factor de dos y el proceso simplifica el nivel de detalle en el conjunto de datos.

Un acercamiento más sofisticado puede involucrar el modelado del comportamiento de un número modesto de puntos sucesivos por

un algoritmo numérico. Por ejemplo, una curva polinomial de orden específico puede ser ajustada por mínimos cuadrados a una secuencia de datos puntuales, y un número menor de puntos a lo largo del camino registrado por la polinomial ajustada en su sitio.

Existen también procesos de generalización para datos raster; estos generalmente están basados en los valores promedios de los atributos de parejas de vecinos.

### III.2.3. Detección de Errores y Edición

En cualquier sistema de información, se proporcionan facilidades para detección y corrección de errores en la base de datos. Diferentes tipos de error son comunes en distintas fuentes de datos. Por ejemplo, podemos ilustrar algunos errores en el proceso de digitalización como son polígonos no cerrados, polígonos traslapados con otro, polígonos con huecos entre sus límites, etc. (ver figura 5). Los polígonos son áreas que por definición son fronteras cerradas. Si un objeto gráfico ha sido codificado como un polígono el sistema debe ser capaz de detectar si el polígono no está cerrado.

En algunos sistemas, las fronteras entre polígonos adyacentes tienen que ser digitalizadas dos veces, una vez para cada polígono sobre cualquiera de los dos lados que tiene el vector. Estos sistemas provocan "traslapes de polígonos" y "huecos entre polígonos". Problemas similares ocurren cuando tenemos una cobertura de un área de interés formada por varios mapas en lo que puede quedar una cuña de traslape o de vacío entre dos mapas adyacentes; también hay problemas para hacer que los rasgos de los mapas coincidan a ambos lados de la unión.

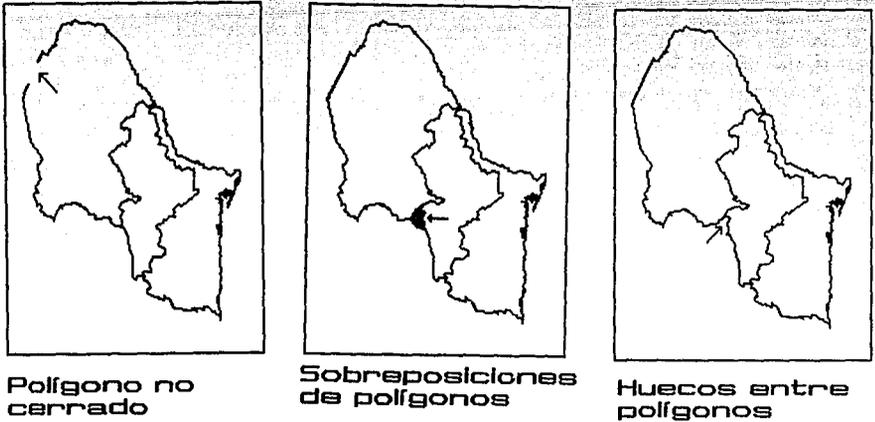


Figura 5. Algunos tipos de errores.

Errores de varios tipos pueden aparecer en los atributos de un polígono. Un atributo puede ser erróneo o puede ser inapropiado en un contexto específico. Este tipo de errores son relativamente frecuentes en problemas de codificación y transcripción de valores a las bases de datos no espaciales. En el uso práctico de un sistema de información geográfica, donde son incorporados a las bases de datos una gran cantidad de atributos, el desarrollo de rutinas interactivas capaces de detectar y corregir errores es vital.

#### III.2.4. Construcción

La construcción es el proceso de construir objetos más complejos a partir de objetos elementales (puntos, líneas y áreas). Basados en los datos adquiridos durante la digitalización, los vectores son construidos por la conexión apropiada de puntos, y los polígonos son construidos por la liga apropiada de vectores. Durante este proceso, los valores de los atributos no espaciales pueden ser integrados.

Algunos sistemas hacen esta construcción durante la digitalización, pero la mayoría ejecutan la construcción hasta después de haber concluido la digitalización. Un componente importante en el proceso de construcción de estos últimos, es la identificación de objetos que deben estar cerrados. Por ejemplo, durante la digitalización podemos tener dos líneas que deberían estar unidas, a menos de un milímetro de distancia. Podemos especificar una tolerancia de un milímetro para que el sistema "ajuste" las dos líneas, pero hará lo mismo con todos los nodos finales que estén dentro del valor de tolerancia especificado. Este proceso es muy delicado y si seleccionamos mal la tolerancia, puede resultar desastroso su utilización. Algunos sistemas llaman a este proceso "spaghetti" porque, si se elige mal la tolerancia, la digitalización puede parecer un plato de espagueti. Este procedimiento es frecuente en sistemas basados en un tipo de estructura de datos vector llamada arco-nodo.

Este proceso puede ser considerado para desarrollar una estructura topológica a partir de los datos crudos de entrada.

### **III.2.5. Unión de Mapas Adyacentes**

Frecuentemente, una región de interés no está contenida completamente en una sola hoja de mapa o una sola fotografía aérea. Problemas similares ocurren con los datos digitales. En estos casos debemos ser capaces de extraer información a partir de cada hoja de mapa y procesar la información para que la unión entre las hojas del mapa no contenga traslapes, huecos y que los rasgos en ambos lados sean continuos para formar un solo conjunto de datos.

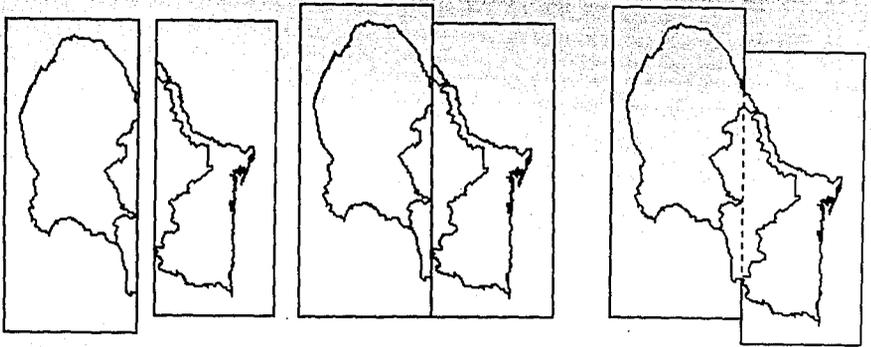


Figura 6. Mapas adyacentes.

Frecuentemente cuando dos hojas de mapa son digitalizadas o escaneadas por separado, las fronteras no están alineadas apropiadamente. Esta distorsión puede deberse a múltiples causas. Cuando los mapas son impresos existen errores que no son apreciables a simple vista, el tamaño físico de un mapa puede cambiar con la temperatura y humedad, se producen errores en los márgenes causados durante la georreferencia de las hojas en el proceso de digitalización, extrapolaciones y redondeos numéricos, errores en los algoritmos de georreferencia, errores de precisión en la tableta digitalizadora, por la mala colocación de los mapas sobre la tableta, errores de los digitalizadores, etc.

Existen dos formas básicas para corregir estos errores entre las hojas de los mapas. En la primera, se hace un análisis para ajustar manualmente la posición de puntos y vectores para darle continuidad al conjunto de datos, esto se hace dependiendo de qué tan distorsionados están los datos, por que sí la distorsión es considerable puede haber un problema más grave en cuanto a precisión y confiabilidad de los datos cuando unimos las hojas de los mapas manualmente.

La segunda opción es utilizando medios automatizados que reduzcan el efecto del error. Generalmente es cambiar alguno de

los parámetros de la georreferencia para así ajustar las hojas del mapa.

### III.2.6. Rectificación y Registro

La rectificación y el registro son herramientas usadas para modificar el arreglo de los objetos espaciales en un conjunto de datos a otro arreglo espacial. Su propósito es el de modificar su relación geométrica, sin cambios de contenido substanciales al dato mismo.

El Registro es el proceso utilizado para relacionar algunos de los puntos sobre un mapa con su posición geográfica sobre la Tierra, en algún sistema de referencia. Definidos los puntos de control (esquinas del mapa, intersecciones de retículas o gradículas, bancos geodésicos, etc.) sobre el mapa, se les asignan las coordenadas geográficas correspondientes, con lo que el sistema de manera automática distorsiona o modifica el dibujo en su totalidad, lograndose con esto la rectificación del mapa. A este proceso le llamamos frecuentemente georreferencia.

Hay muchos paquetes que no cuentan con estos recursos dificultando o imposibilitando la incorporación de datos georeferidos. Con la proyección Universal Transversa de Mercator, esto es relativamente fácil porque la malla de puntos de referencia esta basada en líneas rectas. Esto es mucho más difícil de hacer manualmente con latitud y longitud ya que las líneas de referencia son curvas.

Los mapas frecuentemente están distorsionados por efectos de humedad, procesos de impresión y existencia de dobleces o estiramientos. No siempre podemos trabajar con materiales de dibujo estables como el mylar, por lo que, parte de los trabajos del registro es eliminar la distorsión del medio sobre el que nuestro mapa fuente esta preparado.

Otro factor importante es la proyección de los puntos de control del mapa. Los puntos de control pueden estar representados como latitud longitud pero el sistema coordinado de la base de datos es un sistema plano. En los sistemas poderosos el geoprocesamiento, de los puntos de control pueden ser reproyectados. Estos Sistemas de información geográfica reproyectan los puntos de control y hacen la transformación de coordenadas durante la digitalización. Sin embargo, las claves para tener alta calidad a partir del proceso de registro de un mapa son la precisión de los puntos de control, la calidad del mapa cartográfico original y la experiencia del operador.

La Rectificación incluye la manipulación del conjunto de datos crudos de manera que el arreglo espacial de objetos corresponda a un sistema de coordenadas específico, en una proyección geográfica específica. Hay casos muy frecuentes en el que los datos fuente están en una proyección dada y necesitamos que la salida sea el mapa en otra proyección. Por medio de los procesos de rectificación podremos hacer los cambios de proyección.

Existen muchas proyecciones geográficas. En nuestro país las más comunes son la Proyección Cónica Conforme de Lambert y la Proyección (cilíndrica) Universal Transversa de Mercator (UTM).

El sistema UTM divide la superficie de la Tierra en zonas que son de 6 grados de Longitud. Cada zona es numerada a partir de los 180° en dirección Este (México está entre las zonas 11 y 16). A partir del Ecuador hacia el norte tenemos bandas transversales de 4° de Latitud (México está entre la D y la I). Al meridiano central de cada una de estas zonas se le asigna arbitrariamente el valor 500,000 metros y al Ecuador el valor 0 metros. De esta manera queda definido un sistema coordinado ortogonal de fácil manejo. Esta descripción es la empleada en México y puede tener pequeñas variantes con respecto a las de otros países.

Existen muchas otras proyecciones geográficas entre las cuales podemos mencionar las Proyecciones Azimutales, el mapa es

construido por un plano tangente ubicado en un punto sobre la superficie de la Tierra. En este tipo de proyecciones las distorsiones son mínimas en la vecindad inmediata al punto tangente. Estos mapas son muy comunes en navegación aérea y radio transmisión, con el destino o la posición origen en el punto tangente.

Las Proyecciones Cónicas, están basadas en un cono ubicado sobre la Tierra, orientado de tal manera que la intersección del cono con la Tierra forme uno o dos pequeños círculos.

Proyecciones Policónicas incluyen el uso de una serie de conos, usando cada uno en una pequeña fracción de la superficie del globo. Por convención la orientación del eje de los conos es similar al eje de rotación de la Tierra.

Proyecciones cilíndricas se basan en la ubicación de un cilindro sobre la Tierra. El cilindro es tangente a la esfera, que con la intersección forma un gran círculo. La orientación más común, es la que tiene la intersección en el Ecuador.

Las proyecciones son necesarias en cartografía ya que representar una superficie esférica (la Tierra) sobre una superficie plana (el papel) siempre representa un problema que se resuelve por medio de las proyecciones. Las proyecciones no pueden realizarse sin inducir deformaciones. Cada proyección tiene una cierta especialización ya que si conserva la escala distorsiona las formas y las áreas, si conserva la forma distorsiona la dirección, el área y la escala, etc. Algunas proyecciones tienen usos muy específicos (por ejemplo, la Proyección Espacial Oblicua de Mercator definida por y para la órbita del LANDSAT.

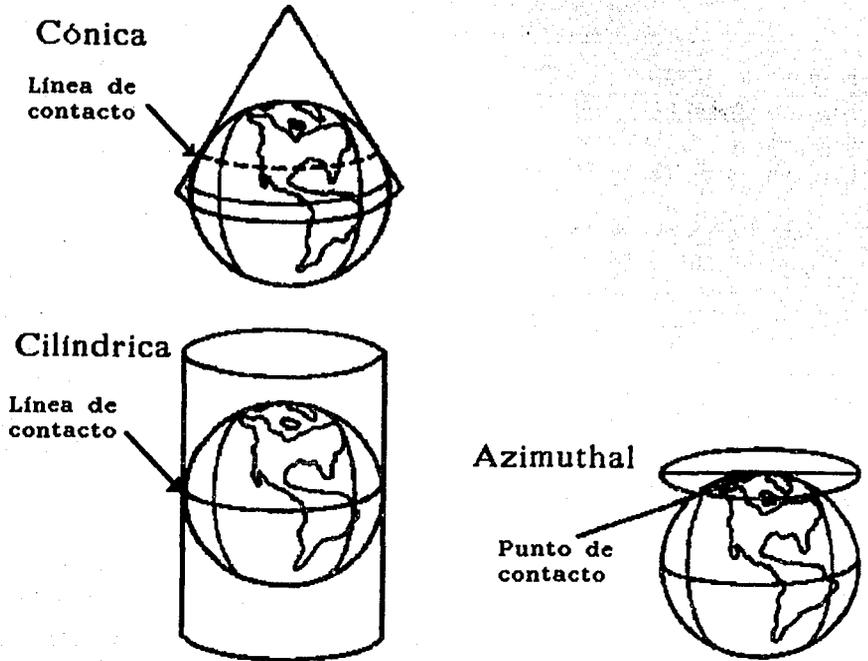


Figura 7. Proyecciones.

### III.2.7. Fotointerpretación

Otro componente del pre-procesamiento en un sistema de información geográfica es la fotointerpretación, que es el proceso de extraer información útil a partir de fotografías aéreas.

Las fotografías aéreas pueden usarse como fuente de información básica o bien usarse para la actualización de la cartografía ya existente. Se incorpora escaneandola o digitalizando los rasgos de interés. Es necesario georeferirla.

Las labores del fotointerprete para el reconocimiento de los rasgos de interés se basan en las formas, el tamaño, el color y tono fotográfico, los patrones, las sombras, la localización topográfica y la textura. Las herramientas fotogramétricas permiten georeferir las fotografías o mosaicos fotográficos.

Las imágenes de satélite han promovido el desarrollo de la disciplina de la Percepción Remota, que se ha convertido en una ciencia por sí misma. Las imágenes de satélite, una vez procesadas con las técnicas de percepción remota, son una fuente de información que puede incorporarse directamente a los sistemas de información geográfica, ya para actualización de información o como fuente fundamental. La imagen de satélite es ideal para estudiar cambios en el tiempo, ya que, por ejemplo, el satélite LANDSAT pasa cada 18 días sobre el mismo punto en la Tierra.

Uno de los productos más interesantes y bellos de la aplicación de SIG y fotografía aérea o imágenes de satélite son las llamadas "Espacio-Cartas" donde sobre la imagen se sobreponen los rasgos puntuales y vectoriales de interés dejando que la imagen nos proporcione la información contextual o de fondo.

Las disciplinas de SIG (Sistemas de Información Geográfica), RP (Percepción Remota), AM/FM (Mapeo Automatizado/Administración de Servicios Municipales), LIS (Sistemas de Información de Tierras), GPS (Sistema de Posicionamiento Global), Fotogrametría, CAD (Diseño Asistido por Computadora), Cartografía Automatizada y otras, convergen con el paso del tiempo y las fronteras entre ellas tienden a desaparecer rápidamente, pese a sus distintos orígenes, tanto por compartir las tecnologías de cómputo y comunicaciones como por auxiliarse o invadirse mutuamente.

### III.3. MANEJADOR DE DATOS

En la figura 8 se presenta un esquema de las bases de datos y los módulos de análisis y aplicación.

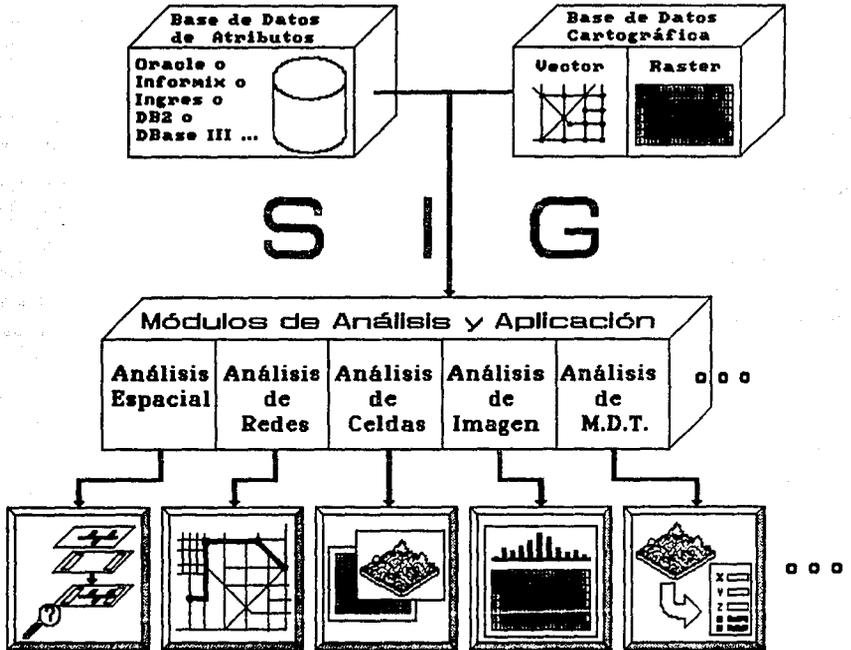


Figura 8.

#### III.3.1. Manejador de Datos No Espacial

Una base de Datos puede ser definida como una colección de datos interrelacionados, almacenados en conjunto sin redundancias innecesarias, cuya finalidad es la de servir a una o más aplicaciones, en la que los datos deben de almacenarse de modo que resulten independientes de los programas que los utilicen.

Otra definición más sencilla nos dice que es la colección estructurada de información con un propósito definido.

Un sistema administrador de la base de datos es el software que permite a uno o más usuarios, trabajar eficientemente con los datos. Los componentes esenciales del sistema deben proporcionar los medios para definir el contenido de una base de datos, insertar nuevos datos, borrar datos viejos, preguntar acerca del contenido de la base de datos y modificar el contenido de la base de datos.

El primer paso en la administración de los datos debe ser la definición del contenido de las bases de datos. Los tipos de información requerida incluyen:

- Definición del formato de los datos. El valor de un dato específico puede ser almacenado como un número entero, como un número de punto flotante y como una cadena de caracteres o en formatos predefinidos como el de la fecha.
- Definición de los datos contenidos. Los campos de una base de datos son nombrados. Usualmente los nombres son una ayuda para identificar el contenido de un campo (por ejemplo MUNICIPIO, POBLACION o SUPERFICIE).
- Valores Restringidos. Muchos sistemas permiten al usuario poner restricciones sobre valores de un dato y son usados para validar la entrada de datos nuevos. Por ejemplo si tenemos campos como FECHA y HORA que pueda restringir el acceso accidental de un "febrero 31". Otros valores pueden tener restricciones dependiendo la aplicación (por ejemplo aceptar valores negativos en las coordenadas de un punto), así como también aceptar datos por omisión o "default".

Hay un número importante de funciones que deben proporcionar los sistemas administradores de bases de datos como son:

- Seguridad. Esto se refiere a que si un usuario no tiene los conocimientos o la autorización apropiada, no tendrá la posibilidad de modificar o ver el contenido de una base de datos.

- Integridad. Se refiere a que todos los datos son revisados o validados antes de ser introducidos a los campos para así poder mantener una consistencia lógica en la estructura de la base de datos.
- Sincronización. Cuando tenemos multiples usuarios esto es de vital importancia para evitar inconsistencias.
- Independencia física de los datos. El almacenamiento y manipulación del hardware no deberá ser importante para el usuario. Bajo circunstancias perfectas, el hardware puede ser cambiado sin que los usuarios tengan conocimiento del cambio. Esta independencia nos permite escribir software para desarrollar sistemas sin tener que estar al día con todos los detalles del almacenamiento físico de los datos. Esta independencia nos permite cambiar el hardware con el cambio de necesidades y tecnología, sin reescribir el software de manipulación de datos.
- Minimización de Redundancia. Es deseable que las bases de datos eviten la redundancia. Cuando un material es almacenado redundantemente en una base de datos, la actualización puede ser muy compleja, ya que debemos modificar la misma información almacenada en varios sitios. Si un dato no es cambiado idénticamente en cada uno de estos sitios, la base de datos se corrompe. En la base de datos se pretende eliminar esta redundancia, sin embargo, en muchas bases de datos se admite cierta redundancia con el objeto de reducir los tiempos de acceso y simplificar los métodos de direccionamiento. Este tipo de redundancia puede ser de utilidad en caso de tener que reconstruir una base de datos debido a un daño accidental, se conoce como Redundancia Controlada.

La mayoría de los sistemas de información geográfica están basados en manejadores de base de datos relacional.

### III.3.2. Administrador de la base de datos espacial

Los manejadores de base de datos espaciales deben poseer las siguientes cualidades:

- Eficiencia. El almacenamiento, recuperación, borrado y actualización de grandes conjuntos de datos es un proceso generalmente costoso. Estas son las funciones de administración esenciales para cualquier base de datos y deben de llevarse a cabo eficientemente, en cualquier dispositivo de almacenamiento físico (discos fijos o removibles, cintas magnéticas, o los recientes discos ópticos) o localización de la base de datos (si se almacena en una computadora local, o hay que acceder a través de una red).
- Capacidad de manejo de múltiples usuarios y múltiples bases de datos.
- Minimizar la redundancia de datos.
- Independencia, seguridad e integridad de los datos.

Hasta aquí, estas funciones son similares a las funciones de las bases de datos no espaciales. Pero los problemas de almacenamiento, manipulación y recuperación son más grandes debido a los grandes volúmenes de datos.

Una de las operaciones más costosas son las búsquedas en la base de datos. Algunos de los medios para minimizar el costo de las búsquedas incluyen:

- Paginación. En la paginación la base de datos espacial es subdividida en regiones que pueden no tener el mismo tamaño. Con ésta técnica, las operaciones de la base de datos no necesitan realizarse con la base de datos completa sino que trabajará con un pequeño subconjunto de datos o página. Por ejemplo, si tenemos una región cubierta por varios mapas es

más fácil buscar la característica en el mapa correspondiente que si tuvieramos que buscarla en un mapa compuesto por todos los mapas.

- Recuperación dentro de una región de interés. En este caso el usuario especifica la ventana de interés para el actual conjunto de preguntas. Si partes de la base de datos pueden ser ignoradas a partir de consideraciones, el sistema puede ser mucho más ágil.
- Centroide como una llave de búsqueda. Si la posición del centroide de un objeto es almacenado en la base de datos, la velocidad de las operaciones tales como la búsqueda de objetos puede ser mejorada. El centroide, es un simple parámetro de descripción de un objeto y no puede caracterizar completamente al objeto para todas las aplicaciones. Sin embargo, indexar clases de objetos por la posición de su centroide puede proporcionar una gran ayuda cuando se hagan búsquedas en las grandes bases de datos espaciales.
- Codificación Topológica. Muchas bases de datos espaciales codifican explícitamente información acerca de las relaciones espaciales entre características. La estructura de archivo DIME, por ejemplo, tiene componentes específicos que indican que manzana es bordeada por segmentos de calle. Desde que estas relaciones son almacenadas explícitamente, algunos tipos de operaciones pueden ser rápidamente ejecutados, en comparación con la estructura de datos donde se requieren recursos de búsqueda intensiva para revelar las relaciones de adyacencia y contención.

Estas técnicas son frecuentemente desarrolladas e implementadas para un medio ambiente operacional específico.

### III.3.3. Liga entre las bases de datos.

Para que un SIG pueda funcionar correctamente necesita, forzosamente, que sus bases de datos, las no espaciales o alfanuméricas y las espaciales o cartográficas estén ligadas.

Algunos elementos de la base de datos espacial deben estar ligados a un registro de una o más bases de datos alfanuméricas y viceversa. Los elementos de liga de las bases son registros idénticos en las dos o más bases de datos (recuerde que la "base de datos cartográfica" no es en realidad una base de datos convencional). Algunos paquetes permiten la presencia de múltiples llaves o "agarraderas (handles)" que permiten sobre una sola posición geográfica tener distintos elementos gráficos con sus correspondientes ligas a las bases de datos alfanuméricas. En otros paquetes el problema se resuelve empleando capas de información donde la llave es única por capa. Esta multiplicidad permite resolver problemas como por ejemplo, en un punto podemos tener simultáneamente un poste, un transformador, la red de alta tensión, la de baja tensión y las acometidas a dos o tres consumidores; Podemos hacer consultas diversas sobre un mismo punto, tales como ¿poste metálico o de concreto?, ¿marca y número de serie del transformador?, ¿nombres de los consumidores?, ¿carga de la red?.

Esta liga es creada generalmente durante la construcción. Para los elementos complejos, por ejemplo, durante la construcción de los polígonos que representan los límites de los estados se calcula la posición del centroide y se crea un registro con la posición X,Y del centroide. Este registro es la llave a la que se le asocian todas las características de esa área. También la liga puede ser creada durante la digitalización, por medio de una clave de elemento que está asociada a la clase de elemento gráfico empleado y a un nombre, como en el caso de vías ferreas, tipos de carretera para las que se usan elementos gráficos distintivos.

De esta forma podemos hacer búsquedas en la base de datos espacial y desplegar todos los atributos que tenga ligados en la base de datos alfanumérica. También podemos realizar búsquedas en las bases de datos alfanuméricas y pedir el despliegue de los elementos geográficos asociados al resultado.

#### III.4. MANIPULACION Y ANALISIS

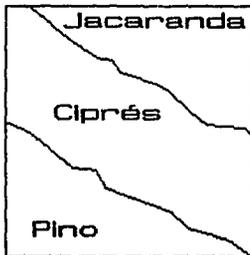
Las operaciones de manipulación y análisis de datos que se incluyen en la mayoría de los sistemas de información geográfica, además de las funciones propias del manejador de la base de datos alfanumérica, son:

- Reclasificación y Agregación de Atributos.
- Operaciones Geométricas.
  - Rotación, Traslación y Escalamiento
  - Rectificación y Registro
- Operaciones Booleanas.
- Determinación de Centroide.
- Conversión de Estructuras de Datos.
- Operaciones Espaciales.
  - Operaciones de Conectividad y Vecindad
- Mediciones.
  - Distancias y Direcciones
  - Cálculo de áreas y perímetros
- Análisis Estadístico
  - Estadística descriptiva
  - Regresión, Correlación y Tabulaciones cruzadas
- Modelado

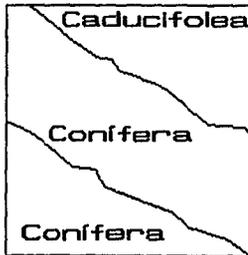
### III.4.1. Reclasificación y Agregación

Frecuentemente, el dato original que está disponible para un análisis no es totalmente bueno para el trabajo. Dos de los problemas más comunes son:

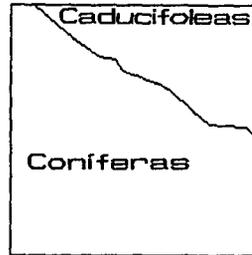
- Las categorías de información en el conjunto de datos necesitan ser modificadas para hacerlas adecuadas para el uso proyectado. Esto, frecuentemente se origina con las variables nominales y ordinales, de tal manera que los atributos mismos requieren modificaciones.
- Los datos no son de la resolución correcta; efectivamente, la base de datos espacial tiene una resolución no satisfactoria. Esta situación puede ser un problema para las estructuras de datos raster y vector, en donde, por las especificaciones originales para la colección y el desarrollo de la base de datos, no se hizo la adquisición con las características espaciales requeridas para los pasos posteriores del procesamiento.



a) Mapa de Especies



b) Mapa original recodificado por clases



c) Mapa eliminando límites redundantes

Figura 9. Agregación de Atributos.

En el primer mapa tenemos especies de árboles, en el segundo mapa se recodificó el mapa original por clases (coníferas y caducifolias) y en el tercero vemos un mapa con las fronteras redundantes eliminadas.

La figura 10 muestra un ejemplo de las operaciones de sobreposición.

Aquí tenemos dos mapas de entrada uno con clasificación de suelos y el otro con pendientes. Cuando sobreponemos dos capas de datos, podemos utilizar una matriz como herramienta para describir la operación. Como un ejemplo, tenemos un terreno y queremos ver si un vehículo en particular puede viajar a través del terreno, basandonos en el tipo de suelo y la pendiente del terreno. Construimos una matriz donde las columnas son el tipo de suelo y los renglones son los tipos de pendiente. La primera es una variable nominal y la segunda es una variable ordinal. El resultado de la matriz lo podemos representar en un mapa que muestra los lugares convenientes para circular con nuestro vehículo.

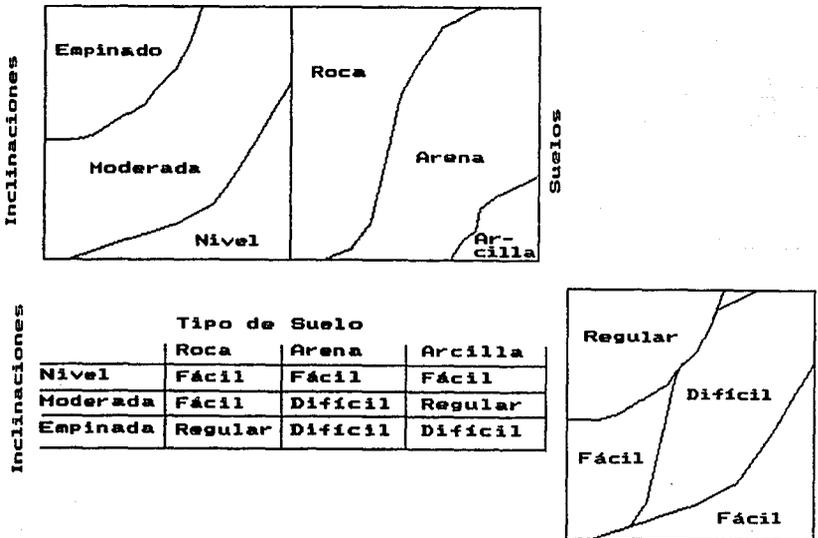


Figura 10.

Este simple análisis puede hacerse por medio de un algoritmo secuencial simple, que lea el valor del primer elemento del arreglo de suelos y el primer elemento del arreglo de niveles, los valores entran en una rutina que deriva el resultado del tipo de condiciones y el valor derivado es el primer elemento de un arreglo de salida.

En un sistema con estructura vector el análisis se basa en un algoritmo de intersección de polígonos, en donde nuevos polígonos son creados y las fronteras redundantes son eliminadas.

En el caso de las estructuras vector, se requieren operaciones geométricas relativamente complejas para determinar la intersección de polígonos. Este proceso geométrico no es necesario en la estructura raster.

#### **III.4.2. Operaciones Geométricas sobre Datos Espaciales**

Esta familia de operaciones es importante en las fases de pre-procesamiento y análisis de datos.

Como ya vimos, la rectificación es el proceso de convertir las posiciones espaciales de los objetos en un conjunto de datos en una proyección específica.

Estas operaciones son importantes cuando queremos que una proyección tenga deformaciones mínimas en distancias o en formas. Un ejemplo específico de la utilización de operaciones geométricas, es simular la vista en perspectiva desde un punto específico de un área geográfica, simulando la observación desde un avión.

Este tipo de operaciones, pueden ser utilizados para corregir problemas en el dispositivo de salida, tales como las distorsiones geométricas significativas por razón de escalas diferentes en los ejes o para crear distorsiones con fines de facilitar la

observación del fenómeno de interés, como en el caso de la perspectiva donde las alturas se exageran entre tres y diez veces para producir en el observador una percepción similar a la natural.

### III.4.3. Determinación del Centroide

El centroide es un punto al cual le podemos asociar la posición de una línea o de un polígono. Puede ser definido físicamente como el centro de masa de un objeto de dos o tres dimensiones. Los distintos paquetes emplean algoritmos que no siempre producen el centroide, sin embargo, por extensión le damos el nombre de centroide al punto que se emplea para asociar las características del rasgo lineal o superficial de interés.

Para un polígono de dos dimensiones definido en una estructura de datos vector, podemos promediar la posición de todos los elementos de áreas infinitesimales dentro del polígono y así determinar las coordenadas de la posición del centroide del área. Para un objeto definido como raster podemos promediar las coordenadas centrales de todos los elementos raster que hacen un polígono implícitamente definido y podemos así llegar al centroide del objeto.

En muchos sistemas después de calcular el centroide de un objeto espacial, la posición es almacenada en la base de datos como una llave de búsqueda. Con el centroide como llave de localización y un algoritmo para determinar la proximidad, podemos buscar rápidamente objetos que son relativamente cercanos a posiciones específicas.

Así, podemos usar el conjunto de centroides como un índice espacial para objetos en la base de datos.

#### **III.4.4. Conversión de Estructuras de Datos**

La conversión de estructuras de datos incluye procedimientos para cambiar información existente en una base de datos a una estructura distinta. Esto se requiere frecuentemente en la fase de pre-procesamiento, para permitir que varios conjuntos de datos puedan ser incorporados en una base de datos que tiene una estructura de datos interna predeterminada para ciertos fines.

Al mismo tiempo, puede haber casos donde el dato debe estar en una estructura particular para correr una función analítica específica. De esta manera, debemos tener acceso a funciones de conversión durante el análisis. Podemos agregar la necesidad de tener este tipo de herramientas cuando generamos productos de salida.

#### **III.4.5. Operaciones Espaciales**

El análisis espacial incluye operaciones que consideran el arreglo espacial de la información en una o más capas de datos. Estas pueden dividirse en dos familias: de conectividad y de vecindad.

##### **Operaciones de Conectividad**

Una de las funciones clásicas de los sistemas de información geográfica es la capacidad de identificar la "Conectividad" entre los nodos de una red. Esta función tiene una amplia variedad de aplicaciones incluyendo por ejemplo, el análisis de rutas de distribución en una ciudad, zonas de influencia de escuelas en zonas rurales, de acuerdo a los tiempos de traslado entre la casa y la escuela para los niños.

En la selección de un sitio, puede ser importante que se localice cerca de ciertas vías de comunicación y evitar que se localice cerca de otros sitios. Por ejemplo, un hospital debe estar relativamente cerca de vías principales de transporte, ya que para la gente debe ser fácil llegar a él, pero a su vez, debe estar lejos de fuentes de ruido y de contaminación.

Las aplicaciones generales en redes incluyen: rutas óptimas de transporte y funciones de flujo e hidrología. Un ejemplo del problema de análisis de redes es evaluar rutas alternas para vehículos de emergencia, basado en la combinación de la longitud total de la ruta, más la anticipación de congestión en las calles dependiendo del horario, etc. Este es un problema complejo en los sistemas de análisis y usualmente no están incorporados en los sistemas de información geográfica de propósito general. En algunos sistemas comerciales, este tipo de aplicaciones están en paquetes de software por separado del módulo principal, y tienen una interfase con el sistema de información geográfica.

### Operaciones de Vecindad

Hay una gran variedad de operaciones diferentes que están basadas en características de vecindad. En el conjunto de datos vector, frecuentemente almacenamos información acerca de objetos cercanos, tales como polígonos que son adyacentes mutuamente. De esta manera, si necesitamos conocer qué polígonos son adyacentes a otro polígono, línea o punto específico, podemos buscar a través de los archivos de la estructura de datos en forma directa.

Por ejemplo, este tipo de operaciones nos permite examinar varios tipos de uso de suelos que rodean una parcela para un cliente que desea comprar el predio.

En un conjunto de datos raster usado para almacenar diferentes tipos de variables, podemos hacer la misma aproximación. Podemos examinar los atributos de los pixeles que rodean el conjunto de uno o más pixeles específicos.

Estas funciones de vecindad son utilizadas en los filtros de paso bajo y de paso alto del procesamiento de imágenes de satélite. Otro tipo de aplicaciones similar, está en su utilización para determinar las características de un conjunto de datos a lo largo de una línea específica, etc.

Los análisis espaciales sistematizan las tareas de interpretación de la información geográfica y debe recalcarse su importancia ya que, el fin último de los SIG es precisamente realizar estas tareas o ayudar al usuario a realizarlas. Son muchos y muy variados los análisis espaciales que pueden realizarse, los aquí mencionados son apenas una pequeña muestra que no hace justicia a la importancia del tema, ya que cada SIG que se diseña e implementa posee su propio conjunto de análisis espacial a realizar.

#### III.4.6. Mediciones

Una gran variedad de herramientas de medición son necesarias en un sistema de información geográfica.

Con los datos basados en raster, la precisión de una medición esta limitada al tamaño de la celda raster (LANDSAT-MSS un pixel es de 90x90 m, LANDSAT-TM es de 60x60 m, en el SPOT es de 30x30 m y el SPOT-Pancromático 10x10 m); los sistemas vector están limitados por la precisión (asociada a la escala del material fuente) de la localización de los nodos almacenados.

La medición de distancias es de gran valor (en toda circunstancia). Los componentes del software deben disponer de utilerías para el cálculo de distancias que están determinados por longitudes de línea y arco entre punto y punto, así como también para el cálculo de perímetros. En las estructuras de datos vector, la región seleccionada es frecuentemente un polígono (o la unión o intersección de un conjunto de polígonos) y el área puede ser determinada a partir de las coordenadas de los nodos apropiados. Con la estructura de datos raster, las áreas poligonales están implícitas en los datos, así como la colección de píxeles conectados localmente que cubren un conjunto específico de valores de un atributo. De esta manera una operación que puede ser encontrar el perímetro de un área, requiere determinar los límites de la región para contar de alguna manera los píxeles contenidos.

Cuando calculamos la distancia entre áreas, sea un dato basado en modelos raster o vector, tiene al menos dos diferentes interpretaciones de distancia. La distancia requerida puede ser la distancia más cercana entre las fronteras de polígonos o entre la posición representativa para cada polígono (por ejemplo el centroide). El primero puede ser apropiado para la planeación de canales de irrigación entre un estanque y el campo mientras que el segundo puede ser mejor para estimar tiempos promedio de viaje entre ciudades.

En una base de datos raster, la distancia entre píxeles se calcula ordinariamente entre los puntos centrales de los píxeles.

Los cálculos de áreas pueden ser necesarios para algunas aplicaciones, por ejemplo, determinar el área de una delegación, para cálculos de densidad de población o de servicios, para cálculos de áreas de uso de suelo, etc.

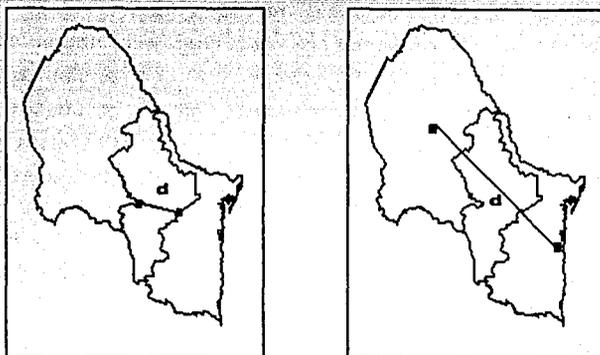


Figura 11.

En tres dimensiones, los cálculos de volumen pueden requerirse para aplicaciones de ingeniería civil, hidrología, geología, etc.

La determinación de la dirección tiene un gran número de usos. Las regiones a donde se dirige el humo de una chimenea deben ser identificados en un estudio de contaminación del aire. Los cálculos de dirección también tienen aplicaciones en planeación de rutas, en donde la determinación de distancias y las direcciones del tránsito de las calles entre el punto de partida y el punto de llegada, nos darán parámetros para proporcionar las instrucciones de navegación necesarias.

Otra forma de medición involucra el conteo de objetos específicos en una región. Algunas aplicaciones requieren una búsqueda exhaustiva a través de la base de datos para determinar todas las ocurrencias de una clase de objetos.

#### III.4.7. Análisis Estadístico

Hay una gran variedad de técnicas estadísticas que son comunes en los sistemas de información geográfica modernos. Se garantizó la calidad durante el pre-procesamiento, se sumalizó un conjunto

de datos para un reporte en el manejador de datos, se derivaron nuevos datos durante el análisis, todo esto con el apoyo o auxilio de distintos procedimientos estadísticos. Estos incluyen:

**Estadística Descriptiva.** La Media, la Mediana y la Varianza de los valores de atributos en una capa de datos, son frecuentemente necesarios para variables continuas. Por ejemplo, podemos necesitar conocer la elevación media de un área específica, o la varianza de la densidad de población de las delegaciones, etc.

**Histogramas o Conteo de Frecuencias.** El histograma de un conjunto de datos nos proporciona la distribución de valores de un atributo en una región. Los histogramas y conteos de frecuencia pueden ser extremadamente valiosos como herramienta de proyección de datos y puede ayudarnos a formular hipótesis durante el análisis. Además, los histogramas son usados para examinar y presentar todo tipo de variables.

**Valores Extremos.** Localizar los valores máximo y mínimo de un atributo en un área específica se hace frecuentemente. Los valores extremos son utilizados durante el pre-procesamiento para asegurar que los valores que van a introducirse a la base de datos son consistentes y nos ayuda a detectar algunos tipos de errores de codificación o transcripción.

**Correlación y Tablas Cruzadas.** En un análisis de correlación, podemos comparar la distribución de atributos en dos o más capas de datos. Usualmente calculamos el coeficiente de correlación o las ecuaciones de regresión lineal cuando trabajamos con variables de intervalo o de radio para prueba de hipótesis. Para variables ordinales o nominales, comparar las tablas cruzadas de atributos de dos capas de datos es decisivo para determinar la distribución común de atributos.

Cuando las capacidades estadísticas de un sistema de información son inadecuadas para el análisis de un problema, es importante que el sistema sea capaz de crear un archivo de salida intermedio para que los datos sean transferidos a un paquete especializado de análisis estadístico como puede ser el SPSS, BIOMED, MINITAB, etc. Es importante que el SIG sea capaz de exportar e importar datos en formatos estándar.

#### III.4.8. Modelado

El diseñador de un sistema de información geográfica nunca podrá anticipar todos los problemas, aunque debe poner el mayor empeño en tratar de hacerlo. Conforme el usuario adquiere experiencia en el sistema, el interés en las funciones analíticas complejas crece. Habrá modelos analíticos que son únicos de una organización o quizá, los detalles de un procedimiento analítico para una aplicación sean propiedad de una compañía. Sobre esto y otros casos, debemos tener medios para sacar los datos de un SIG e introducirlos en otros modelos numéricos para análisis. Además, debemos de tener los medios para que los resultados de ese análisis o manipulación externos sean reintroducidos al SIG para su despliegue, almacenamiento y manipulación.

Las funciones aritméticas y booleanas nos ayudan a desarrollar una gran cantidad de modelos de aplicación. Todos los SIG deben de contar con estas funciones ya que son necesarias para el desarrollo de aplicaciones.

Cuando al usuario se le proporcionan subrutinas para que pueda especificar sus funciones numéricas, el sistema gana una tremenda flexibilidad y potencial de expansión.

Hay que hacer algunas consideraciones cuando queremos extraer los datos del sistema para ser usados en otro software. Un componente clave del problema es la habilidad para extraer un subconjunto específico de la base de datos. Se deben tener

herramientas para delimitar los datos de interés tanto de la base de datos espacial como de los atributos deseados. Otro componente clave es la capacidad para determinar una organización y formato para exportar e importar los datos específicos.

Son pocos los tipos de formatos raster, por lo que la mayoría de los sistemas de información geográfica poseen funciones para exportar un raster univariado. Estos SIG proporcionan funciones para especificar el tamaño de la celda raster y el valor codificado (por ejemplo, formato de punto flotante, o tamaño de palabra para enteros sin signo) que son claves importantes para la flexibilidad. Sin embargo, los formatos vector varían mucho más y esto hace más difícil desarrollar rutinas para exportar o importar archivos vector a los múltiples formatos utilizados.

Cuando estas funciones están disponibles, es muy importante tener la documentación precisa acerca de los formatos detallados para la exportación e importación de datos, así como la documentación de todas sus opciones disponibles.

Siempre habrá usuarios que se vean forzados a desarrollar su propio software para algunos tipos de análisis especializado. Cuando los formatos de datos internos de un SIG son especificados claramente y cuando son apropiados para el análisis del problema, es posible escribir la operaciones directamente sobre la base de datos del SIG.

Mientras esto parece particularmente eficiente, se abre un camino de serios problemas para el manejador de datos, que van de la corrupción de la base de datos a la falta de respaldos de protección adecuados y a la pérdida de vigencia. Cuando accedamos directamente la base de datos de un SIG se recomienda que solo se consulten los datos, pero que no se escriba en ella. De esta manera, podemos derivar capas de datos que pueden ser examinados en un procedimiento por separado y únicamente después de pasar las pruebas necesarias, los datos obtenidos son incorporados a la base de datos general.

### III.5. GENERACION DE PRODUCTOS

Un sistema de información geográfica debe incluir software para el despliegue de mapas y gráficos así como información tabular en distintos medios de salida.

Estos medios de salida pueden ser vía monitor, un archivo de salida, una salida de impresora (de matriz o laser) o por graficador o plotter (de plumas o electrostático) o en algún tipo de película fotográfica (como transparencias y negativos).

En la figura 12 se presenta un esquema de las posibles salidas del sistema.

## SALIDAS

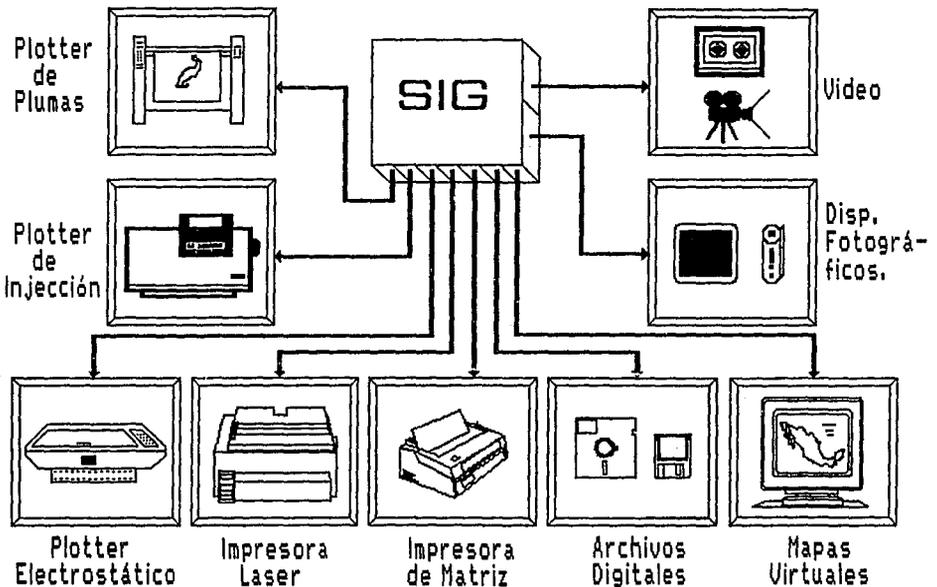


Figura 12.

Podemos definir un mapa como un modelo a escala de dos dimensiones de una parte de la superficie terrestre. Este modelo es una representación sistemática de la Tierra, generalmente utilizando símbolos que representan ciertos objetos y fenómenos. Los mapas son un camino efectivo de presentación de mucha información acerca de los objetos y su ubicación así como la relación espacial entre ellos.

A continuación describimos algunos tipos de mapa más comunes.

Mapas Temáticos se concentran sobre las variaciones espaciales de un solo fenómeno (como la lluvia) o la relación entre fenómenos (por ejemplo las diferentes clases de uso de suelo). Los mapas temáticos describen la estructura de una distribución dada, esto es, el carácter de un todo que consiste en la interrelación de las partes. Los mapas temáticos pueden usarse para caracterizar una gran variedad de fenómenos.

Mapas a Color o Coropletas que son usados típicamente para comunicar magnitudes relativas a variables por rangos o nominales, y en particular para representar intangibles. Este tipo de mapas se utiliza comúnmente con datos censales, como densidad de población o el promedio anual de ingresos per capita, etc. En estos mapas, los distintos tonos, colores y patrones de sombreado son usados para transmitir los diferentes valores asignados para cada área poligonal predefinida.

Cuando construimos mapas coropletos, los tonos, colores o patrones usados para indicar los valores de la variable dentro de las regiones, deben ser seleccionados con cuidado para facilitar la interpretación. Este tipo de mapas son un producto muy común de los sistemas de información geográfica.

Mapas de Contorno son usados para representar cantidades por línea de igual valor (que son llamadas líneas de contorno), y enfatiza gradientes entre valores. Los mapas de contorno más comunes son los mapas topográficos, que están basados en líneas

de igual elevación (llamadas curvas de nivel) que nos muestran las características generales del terreno.

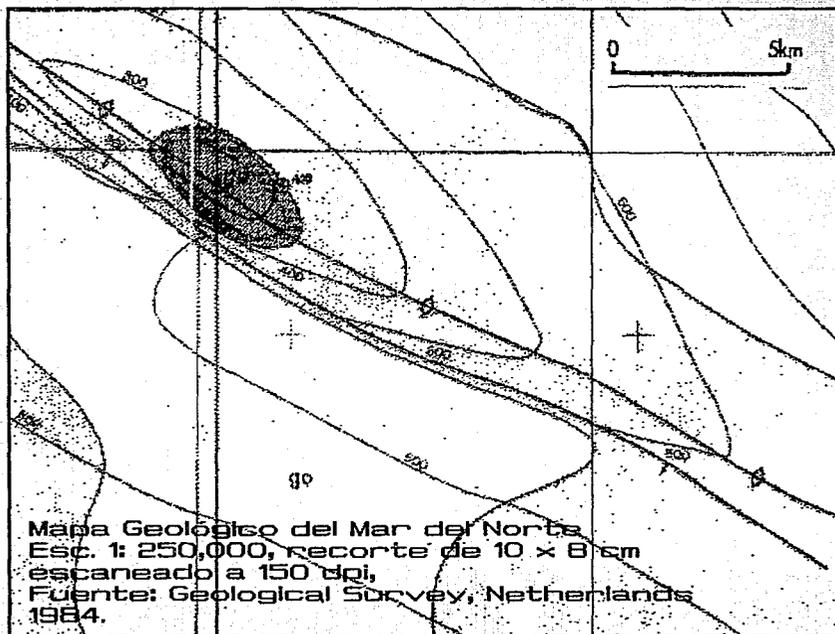
Mapas de Punto representan la distribución espacial por variación de números de puntos uniformes. Cada punto de un tamaño específico representa la misma cantidad de un valor dado (por ejemplo, en un mapa de densidad de establecimientos por delegación, un punto puede representar uno, dos o "n" establecimientos). Este tipo de mapas son más frecuentes en los sistemas de cartografía computarizada que en los sistemas de información geográfica. Hay otro tipo de mapas similares pero estos utilizan símbolos de diferente tamaño para indicar los valores en el mapa.

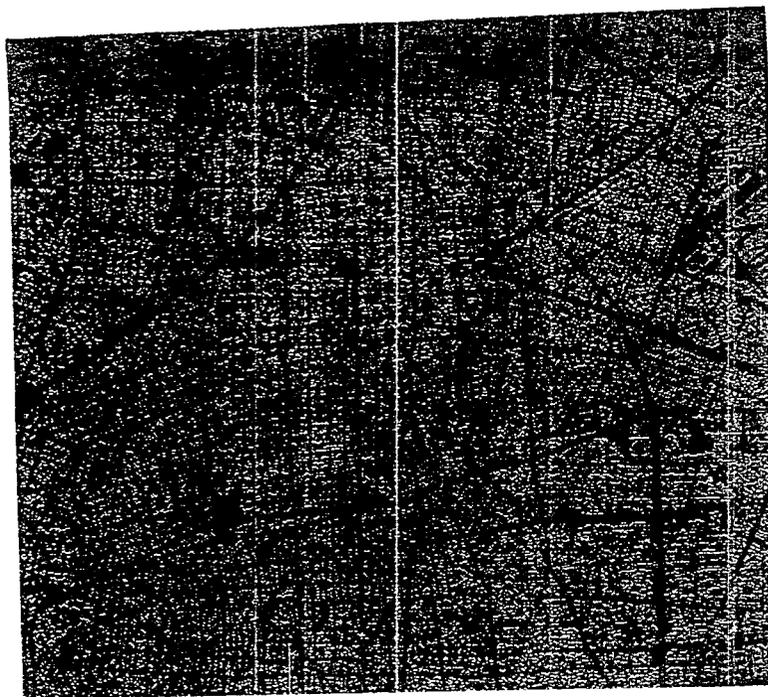
Mapas de Línea son usados para mostrar la dirección y magnitud del potencial o flujos actuales. Estos son acompañados por la orientación y otras características de línea, como el ancho, el color, etc. Un ejemplo de estos mapas puede ser la descripción de rutas de transporte urbano de la ciudad, donde encontramos orígenes y destinos, así como volúmenes de personas transportadas. Otro ejemplo son los mapas carreteros turísticos.

Los valores asociados generalmente son los valores que alimentan a los sistemas de análisis de redes o de flujo.

Mapas Animados. La animación de mapas hace posible efectuar presentaciones de investigaciones o estudios de una forma fácil y estética. Por ejemplo, de esta manera se pueden explicar fácil y rápidamente fenómenos como el crecimiento de una ciudad a través del tiempo.

Ahora bien, de algunos sistemas de información geográfica no sólo podemos obtener mapas, sino que también nos permiten obtener distintos tipos de gráficas (barra, pastel, histogramas), así como reportes tabulares de las variables que están en las bases de datos o de los resultados numéricos de los análisis estadísticos.





Corte de una  
Imagen de  
Satélite "SPOT"  
Delegación  
Cuauhtemoc  
Abril 1990..

Rangos de  
Clasificación.

---

0-64
65-71
72-77
78-82
83-87
88-91
92-95
96-99
100-102
103-106
107-110
111-115
116-121
122-131
132-242
243-255

---

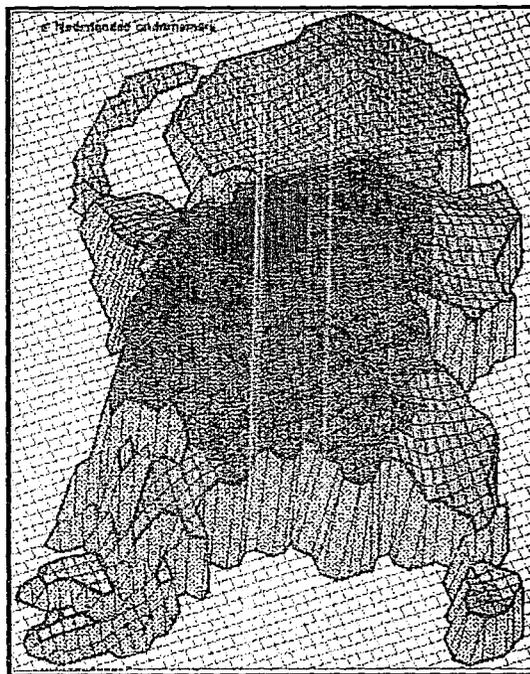


Corte de una  
Imagen de  
Satélite "SPOT"  
Delegación  
Cuauhtemoc  
Abril 1990..

Rangos de  
Clasificación.

	0-64
	65-71
	72-77
	78-82
	83-87
	88-91
	92-95
	96-99
	100-102
	103-106
	107-110
	111-115
	116-121
	122-131
	132-242
	243-255

Modelaje  
Tridimensional del  
Terreno (Holanda)  
Análisis de  
preferencias  
en ubicación  
industrial. 1984





Existe una gran variedad de aplicaciones para los sistemas de información geográfica y muchas de estas aplicaciones se basan en la necesidad de contar con una gran variedad de productos de salida, como los mostrados en las figuras anteriores.

#### IV. MODELOS DE DATOS ESPACIALES

Existen varios caminos para organizar los datos dentro de cualquier sistema de información. La elección de una estructura de datos espacial en particular es una de las primeras decisiones importantes en el diseño de los sistemas de información geográfica.

Como se mencionó anteriormente, existen dos tipos de modelos de datos que son los más utilizados, estos son los modelos vector y los modelos raster. Los modelos raster y vector aparentemente son excluyentes, sin embargo, recientemente se están surgiendo en el mercado modelos híbridos que contienen características de ambos.

##### IV.1. MODELOS DE DATOS VECTOR

Existen muchos tipos de estructuras de datos vector, las más comunes en los sistemas de información geográfica son:

- Estructura de Polígonos Completos
- Estructura Topológica
- Estructura DIME (Dual Independent Map Encoding)
- Estructura Arco-Nodo
- Estructura Relacional
- Estructura POLYVRT

##### IV.1.1. Modelos de Polígonos Completos

En una estructura de polígonos completos, cada capa en la base de datos es dividida en un conjunto de polígonos (ver figura 1). Cada polígono es codificado en la base de datos como una secuencia de posiciones que define los límites de cada área cerrada en un sistema de coordenadas específico. Cada polígono

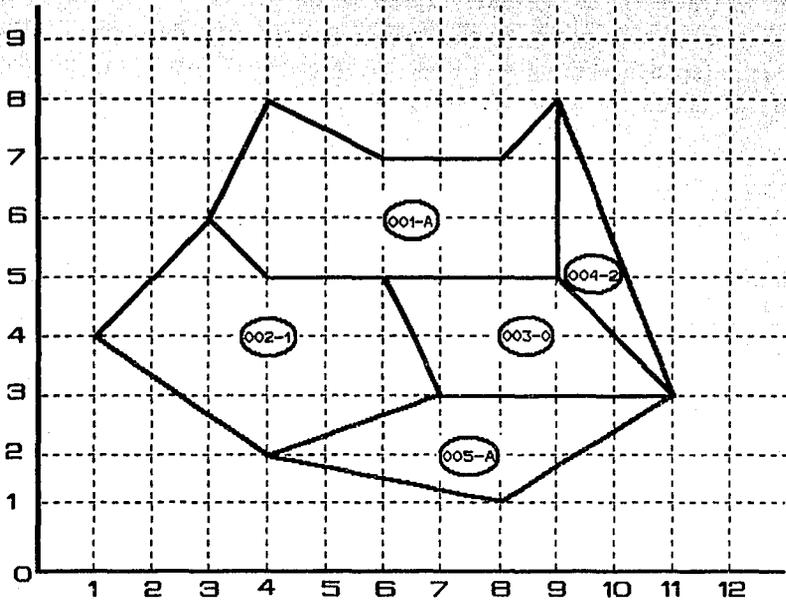
es almacenado como un rasgo independiente. Los atributos de los polígonos, como por ejemplo, el tipo de suelo o la población, pueden ser almacenados con la lista de coordenadas.

Para conservar cada polígono como una entidad separada, la organización topológica de los polígonos no se guarda.

Por topología nos referimos a las relaciones entre diferentes objetos espaciales, en otras palabras, la "inteligencia" del sistema; un rasgo en un sistema "inteligente" sabe que rasgos tiene al norte o al sur, que rasgos contiene y que rasgos no, quienes son sus vecinos, que fronteras comparten, etc.

En una estructura de polígonos completos, los segmentos de línea que definen un polígono es guardada dos veces, como la frontera de un polígono y como la frontera del polígono vecino.

Similarmente, los puntos que son compartidos por varios polígonos, donde convergen tres o más fronteras, tales como el de la posición (6,5) en el ejemplo de la figura 1, deben ser almacenados varias veces en la base de datos. Con esta organización, editar y actualizar la base de datos sin afectar la estructura de datos puede ser muy difícil. Los paquetes con esta estructura usualmente facilitan la digitalización de fronteras, que no se hace dos veces, y el manejo de las áreas como unidades.



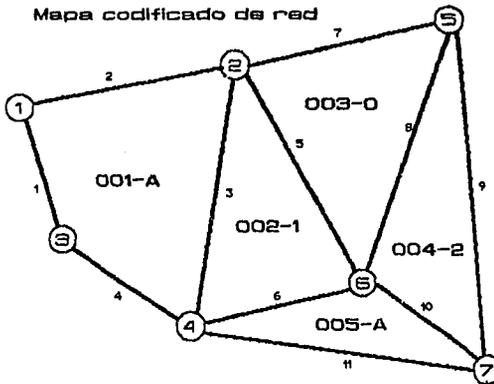
Polígonos:

001-A	002-1	003-0	004-2	005-A
( 3,6 )	( 1,4 )	( 6,5 )	( 9,5 )	( 4,2 )
( 4,8 )	( 3,6 )	( 9,5 )	( 9,8 )	( 7,3 )
( 6,7 )	( 4,5 )	( 11,3 )	( 11,3 )	( 11,3 )
( 8,7 )	( 6,5 )	( 7,3 )		( 8,1 )
( 9,8 )	( 7,3 )			
( 9,5 )	( 4,2 )			
( 6,5 )				
( 4,5 )				

Figura 1. Estructura de Polígono Completo. Los nodos que definen cada polígono son almacenados separadamente

#### IV.1.2. Modelos Topológicos

El método más popular para manipular las relaciones espaciales entre entidades, es grabar explícitamente, la información de adyacencia y se conoce como Modelo Topológico de datos. Un ejemplo simple podemos verlo en la figura 2. Aquí la entidad lógica es un segmento de línea recta.



Segmentos	Polígono a la Derecha	Polígono a la Izquierda	Nodo 1	Nodo2
1	001-A	0	3	1
2	001-A	0	1	2
3	002-1	001-A	2	4
4	001-A	0	4	3
5	003-0	002-1	2	6
6	005-A	002-1	6	4
7	003-0	0	2	5
8	004-2	003-0	5	6
9	0	004-2	5	7
10	004-2	005-A	7	6
11	005-A	0	7	4

Nodo	X	Y
1	121	507
2	321	547
3	161	387
4	281	308
5	521	587
6	441	347
7	561	264

Archivo de Nodos y coordenadas X,Y

Archivo de Polígonos y Codificación Topológica de Red

Figura 2. Modelo de Datos Topológico.

Un segmento de línea inicia o finaliza en la intersección con otra línea. Cada segmento de línea individual es guardado junto con las coordenadas de sus dos puntos finales. Además, el identificador o nombre de polígono sobre uno u otro lado de la línea es guardado. Por este camino, las más elementales relaciones espaciales son explícitamente conservadas y pueden ser usadas para el análisis. Además, esta información topológica permite la definición de tipos de entidades espaciales como puntos, líneas y polígonos para ser almacenados de manera no redundante. Esto es particularmente ventajoso para polígonos adyacentes. Por ejemplo, en la figura 2 se muestra que cada segmento de línea es guardado una sola vez. La información de adyacencia para los polígonos individuales se definen por todos los segmentos de línea individuales que comprenden al polígono, que "saben" que son la frontera entre el polígono 001-A a la izquierda y el polígono 002-1 a la derecha, recorriendo cada polígono en el sentido de las manecillas del reloj.

#### **IV.1.3. Estructura DIME**

El modelo DIME (Dual Independent Map Encoding) es por mucho el modelo más conocido que es construido con el concepto topológico.

Esta estructura fue desarrollada para uso del U.S. Bureau of the Census. Fue diseñado para incorporar información topológica acerca de áreas urbanas para su utilización en análisis demográfico. Aunque los archivos DIME generalmente no corresponden a la organización interna de la base de datos de los paquetes para SIG, son de uso común como un formato de archivo de datos, además de ser un formato definido para intercambio de datos entre diferentes sistemas.

El elemento básico de una estructura de archivos DIME es una línea definida por los puntos extremos o nodos; la línea puede ser una poligonal y no es necesariamente una recta. En un

archivo DIME, cada calle, río, vía férrea, límite municipal, etc., es representado como una serie de segmentos de línea recta. (ver figura 3).

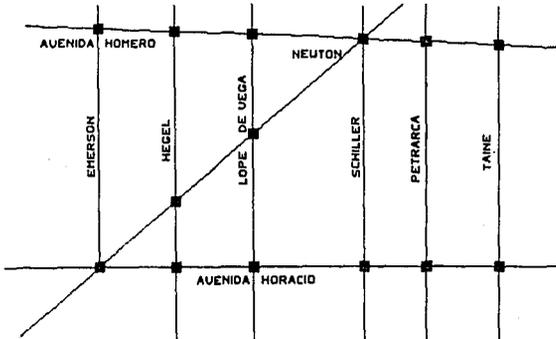
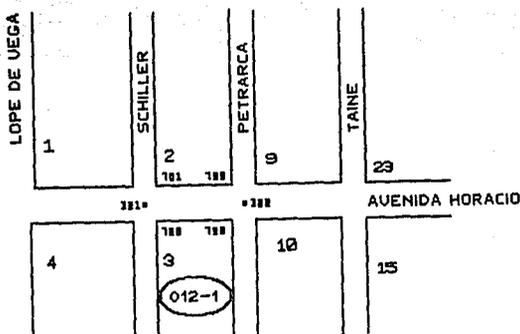


Figura 3. Elementos gráficos de un archivo DIME.

Como se muestra en la figura 4 cada registro de segmento de línea DIME contiene identificadores de "Census Tract" (el equivalente en México sería un Area Geoestadística Básica o AGEB), manzanas y hasta lotes, para los polígonos de cada lado de la red.

El modelo DIME significa una ampliación del modelo topológico básico, ya que asigna explícitamente una dirección a cada segmento de línea por guardar un Nodo Origen y un Nodo Destino. El resultado es graficado directamente para poder ser usado como una verificación automática de segmentos faltantes y otros errores en el archivo al seguir los segmentos de línea que comprenden el límite de cada polígono nombrado en el archivo. Este camino alrededor de cada polígono se termina cuando el identificador del nodo final del segmento de línea actual se identifica como el nodo origen del polígono, vía una búsqueda en el archivo. Si un registro de segmento de línea no puede encontrarse para completar la cadena alrededor de un polígono, el segmento de línea está perdido o el identificador del nodo es incorrecto.



Nombre de la Calle : HORACIO  
 Tipo de Calle : AVENIDA  
 Numeración Izquierda : 701 - 799  
 Numeración Derecha : 700 - 798  
 Manzana a la izquierda: 2  
 AGEB a la izquierda : 012-1  
 Manzana a la derecha : 3  
 AGEB a la derecha : 012-1  
 Nodo inicial : 321  
 Coordenadas X - Y : 185000 - 282000  
 Nodo final : 322  
 Coordenadas X - Y : 186000 - 284000

Figura 4. Ejemplo de un registro de un archivo DIME.

El principal problema con el modelo DIME, es que los segmentos de línea individuales no se encuentran en ningún orden particular, y para recuperar un segmento de línea en particular se debe ejecutar una exhaustiva búsqueda secuencial en todo el archivo.

#### IV.1.4. Estructura Arco-Nodo

En una estructura de datos Arco-Nodo, los objetos en la base de datos son estructurados jerárquicamente. En este sistema, los puntos son el componente básico (ver figura 5).

Los Arcos son segmentos de línea individuales que son definidos por una serie de pares de coordenadas X-Y. Los Nodos son el final de los arcos y los puntos de intersección entre arcos. Los Polígonos son áreas limitadas completamente por un conjunto de arcos. De esta manera, los nodos son compartidos por arcos y polígonos contiguos. Muchos sistemas de información geográfica comerciales usan formatos con la estructura de datos Arco-Nodo.

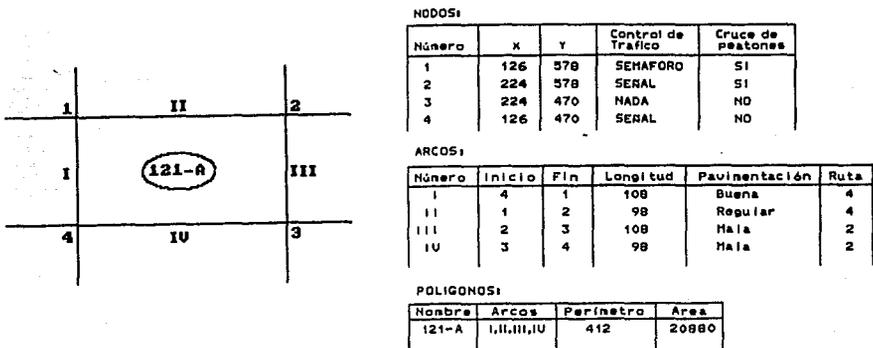


Figura 5. Estructura de datos Arco-Nodo.

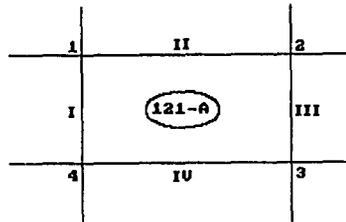
La estructura de Arco-Nodo nos permite codificar la geometría del dato sin redundancias.

#### IV.1.5. Estructura Relacional

Es una estructura similar a la estructura Arco-Nodo, la diferencia es que en la estructura de Arco-Nodo los valores de los atributos del dato son almacenados siempre con la información

topológica. En una estructura de datos relacional, la información de los atributos es guardada separadamente. El dato topológico en una estructura relacional está organizado de la misma manera que en la estructura Arco-Nodo. La principal diferencia radica en los valores de los atributos. Estos son almacenados en tablas relacionales (como en un sistema administrador de base de datos relacional). Estas tablas son directas, esto es, un renglón en una tabla, representa un registro de dato simple y las columnas representan los diferentes campos o atributos.

Una de las tablas relacionales mantiene la trayectoria de los atributos de los puntos o nodos en la base de datos espacial (ver figura 6).



#### NODOS:

Número	X	Y
1	126	578
2	224	578
3	224	470
4	126	470

Número	Control de Trafico	Cruce de peatones
1	SEMAFORO	SI
2	SEÑAL	SI
3	NADA	NO
4	SEÑAL	NO

#### ARCOS:

Número	Inicio	Fin
I	4	1
II	1	2
III	2	3
IV	3	4

Número	Longitud	Pavimentación	Ruta
I	108	Buena	4
II	98	Regular	4
III	108	Mala	2
IV	98	Mala	2

#### POLIGONOS:

Nombre	Arcos
121-A	I,II,III,IV

Nombre	Perímetro	Area
121-A	412	20880

Figura 6. Estructura de Datos Relacional.

En la figura 6 se muestra una tabla de apuntadores de los nodos, el tipo de control de tráfico que existe en el nodo y si tiene o no señalado el paso de peatones en la intersección de la calle.

Hay que notar que la forma de almacenar los datos es comparable directamente con el formato de Arco-Nodo. La principal diferencia es que en la estructura relacional, los atributos del dato se mantienen separadamente de la información topológica.

#### IV.1.6. Estructura POLYVRT (POLYgon conVerTER)

La estructura POLYVRT fue desarrollada por Peucker y Chrisman e implantada en el Laboratorio para Computación Gráfica de la Universidad de Harvard, a finales de los 70's.

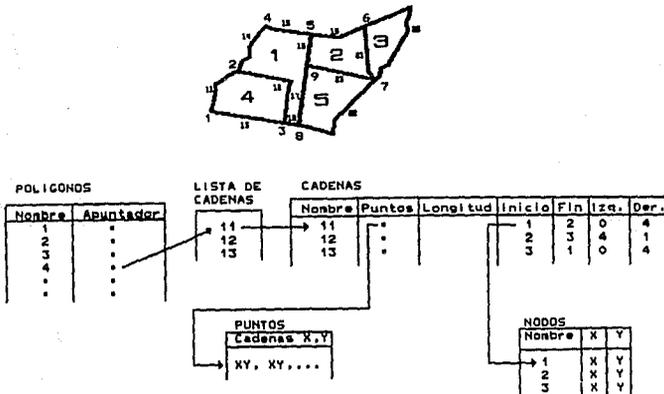


Figura 7. Estructura de Datos POLYVRT.

Este modelo supera las principales ineficiencias de recuperación de las estructuras topológicas simples, por almacenar explícita y separadamente cada tipo de entidad en una estructura de datos jerárquica (ver figura 7).

Para hacer una distinción entre tipos de entidades lógicas y topológicamente significativas, una cadena es denotada como la entidad de línea básica. Una cadena es definida como una secuencia de segmentos de línea recta. Un nodo es definido como el punto de intersección entre dos cadenas o como los puntos extremos de una cadena.

La información de las coordenadas de los puntos que definen cada cadena no son almacenados como parte del registro de la cadena. En su lugar, se guarda un apuntador de inicio de información dentro de un archivo de puntos por separado. Similarmente, se guardan los apuntadores en archivos de polígonos, como las cadenas individuales que lo definen.

Hay que notar que los registros de cadena individual, contienen la misma información explícita de dirección y topología usada dentro de la estructura DIME, como los nodos de inicio y fin así como también los polígonos adyacentes. Si una cadena define un límite externo de un área entera, por ejemplo el de la cadena 13 en la figura 7, el área externa se denomina como el "Polígono 0".

Esta estructura proporciona ventajas sobre el DIME en la recuperación y la manipulación. Primero, la estructura jerárquica permite recuperaciones selectivas de únicamente una clase de datos específica. La segunda ventaja de el modelo POLYVRT es que las preguntas concernientes a la adyacencia de polígonos necesitan únicamente ocuparse del polígono y la parte de cadena del dato. Únicamente las cadenas individuales que limitan el polígono de interés son recuperadas. Las definiciones de coordenadas no son recuperadas hasta que son explícitamente necesarias para operaciones de graficación o cálculos de

distancia. El número de líneas o registros de cadena en una base de datos POLYVRT depende únicamente del número de polígonos presentes en el dato y no del detalle de sus límites.

La mayor desventaja es que si un apuntador es incorrecto, puede ser extremadamente difícil su detección y corrección.

#### IV.2. MODELOS DE DATOS RASTER

Una de las estructuras de datos más simple es la estructura de datos raster u organización celular de datos espaciales.

En una estructura raster, el valor para un parámetro de interés, elevación del terreno en metros, clases de uso de suelo de una lista específica, etc., es asignado en cada celda de un arreglo (frecuentemente regular) sobre el espacio. Por ejemplo en la figura 8, la elevación en metros sobre el nivel medio del mar ha sido codificada sobre una retícula regular. El dato original es de un mapa topográfico del que tenemos que extraer las curvas de nivel. El arreglo raster de elevación es derivado de esas curvas de nivel.

La dimensión horizontal de un raster simple, a lo largo de los renglones del arreglo, es frecuentemente orientado paralelo a la dirección Este-Oeste por conveniencia. Siguiendo la práctica convencional en procesamiento de imágenes, los elementos raster en esta dirección, a lo largo de los renglones del arreglo, son llamados algunas veces **muestras** y numerados desde el margen izquierdo. Las posiciones en la dirección vertical, alineados con las columnas del arreglo, son frecuentemente numerados desde el límite superior. El origen del raster es la esquina superior izquierda. Esta posición es considerada (1,1) en algunos sistemas y posición (0,0) en otros.

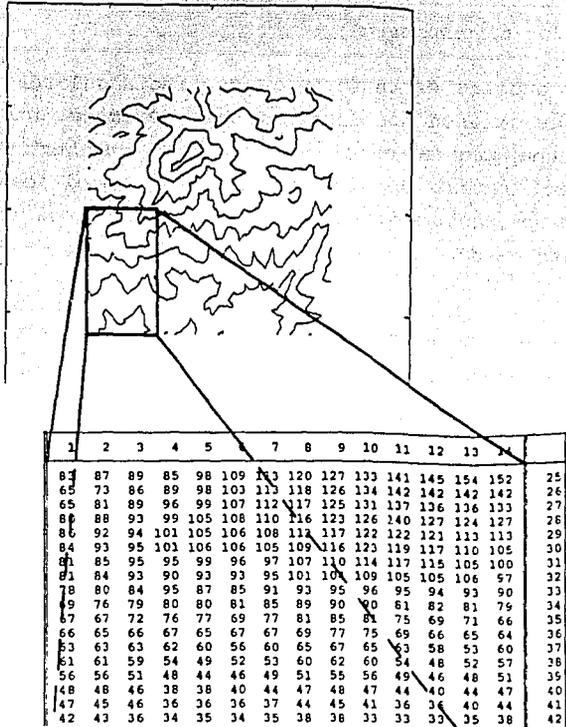


Figura 8. Estructura de datos raster.

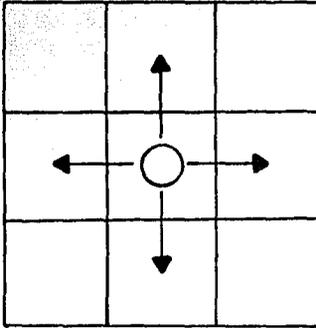
Hay que notar que el sistema de referencia para celdas en un raster es diferente de la mayoría de los sistemas de georeferencia tradicionales, tales como longitud-latitud, en el que un punto específico sobre la superficie de la Tierra (como el punto donde cruzan el primer meridiano y el Ecuador) es el origen. Esto es diferente para el sistema UTM donde se utiliza un sistema coordinado similar a un sistema cartesiano convencional. A menudo, los tamaños de las celdas en el raster son constantes (no necesariamente iguales) en las direcciones de renglones y columnas, en otras palabras, las celdas en el raster son

rectangulares. En este caso, es natural almacenar el dato en un arreglo de dos dimensiones.

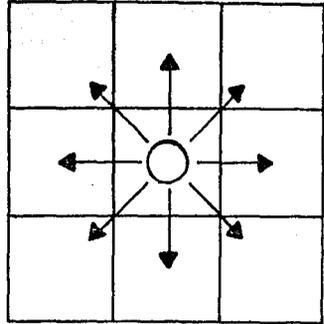
Mientras que las estructuras raster rectangulares simples son muy populares, tienen dos limitaciones. Primero, una estructura raster en una escala particular, tienen un límite finito de precisión (el tamaño de la celda), para especificar un lugar. Para ubicar un punto sólo podemos seleccionar una u otra celda pero no entre celdas.

Segundo, las ocho celdas contiguas no están igualmente espaciadas. Considerando el centro de la celda en la figura 9a, las celdas de arriba y abajo, derecha e izquierda están a una unidad de distancia del centro de la celda, mientras que las celdas sobre las diagonales están a  $2^{1/2}$  unidades de distancia del centro. Para buscar a través de los datos, si incluimos únicamente las celdas a una unidad de la celda de interés, estaremos trabajando en una vecindad de "4-conectados" (figura 8a), y todas las celdas son equidistantes a sus vecinas. Si incluimos elementos sobre las diagonales, estaremos trabajando con una vecindad de "8-conectados" (figura 9b), y ahora las celdas no están igualmente espaciadas. En este caso, algunas celdas vecinas comparten una orilla, pero otras comparten únicamente un vértice. En estos casos todas las celdas tienen vecinos del mismo tamaño y el mismo número de vecinos por lo que podemos decir que son "vecinos espaciales similares".

Otra alternativa es que cada celda tenga una organización y un tamaño diferente. Aunque este tipo de organización es razonablemente cierta para muchos fenómenos geográficos (por ejemplo, las áreas urbanas tienen distintos tamaños y conexiones), estas no son un modelo de datos usual en los sistemas de información geográfica basados en modelos raster.



9a. 4-conectados



9b. 8-conectados

Las figuras geométricas que cubren completamente una superficie son llamadas mallas o "tessellations" (en inglés).

El conjunto de datos raster usado en la práctica puede ser muy grande. Por ejemplo, la serie de satélites LANDSAT que son uno de los estándares para obtener imágenes raster, tienen coberturas de aproximadamente 30,000 Km<sup>2</sup> con un tamaño de pixel nominal de 30 metros, lo que correspondería aproximadamente a 35 millones de celdas o pixeles (pixel es una contracción de "picture element").

Existen algoritmos para compactar los datos, algunos de estos algoritmos son reversibles, es decir, que podemos recuperar exactamente el conjunto de datos original. Otros minimizan el volumen del almacenamiento de datos, pero pierden una pequeña y controlada cantidad de la información original. El primer mecanismo de compactación es llamado "RUN LENGHT ENCODING", y el segundo es llamado "CHAIN CODES". Por ejemplo, en la técnica de "RUN LENGHT ENCODING" tenemos unos datos originales como:

1 1 1 1 3 3 3 2 2 2 1 1 1 3 3 3 3 3 3    Dato original

(4 1) (3 3) (3 2) (3 1) (7 3)                    Resultado

En este caso los datos originales son remplazados por un par de datos, el primer número es un contador que nos indica cuantas repeticiones hay del segundo número que es el valor del dato. Así tenemos, que en nuestro ejemplo tenemos cuatro 1's, tres 3's, tres 2's, tres 1's y siete 3's. En este caso tenemos que los datos originales son 20 elementos y los datos compactados son 10 elementos, para un factor de compactación de 50%, aunque la eficiencia de este mecanismo varía dependiendo el conjunto de datos.

La utilización del "CHAIN CODES" considera que un mapa es un conjunto de objetos referenciados espacialmente puestos sobre un fondo. Se toma un punto inicial sobre la orilla del objeto de interés (por ejemplo un embalse) y se almacenan secuencialmente las direcciones cardinales que hay que seguir para recorrer la orilla del objeto.

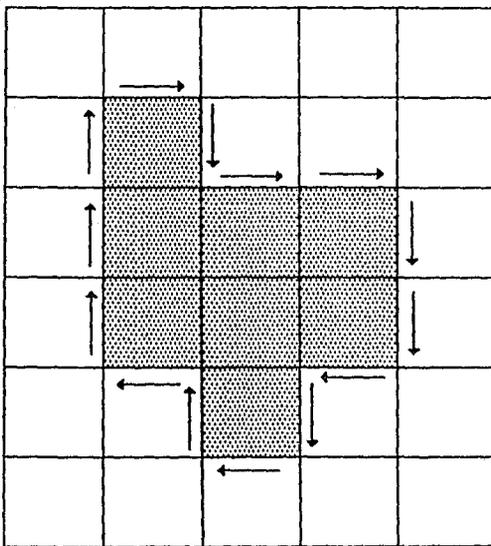
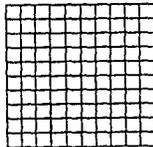


Figura 10. Representación de la técnica "CHAIN CODE"

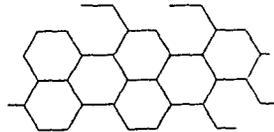
Esto puede ser un medio eficiente de almacenar áreas, cuando el mapa está dividido en áreas pertenecientes a pocas clases, ya que cada objeto espacial es guardado como una entidad separada en la base de datos. Sin embargo, algunos tipos de procesamiento requerirán reconstruir el arreglo raster completo, que con esta técnica de compactación resulta casi imposible.

#### IV.2.1. Modelos de Mallas Regulares

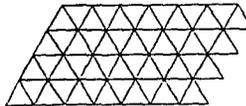
Los rasgos o primitivos individuales vienen a ser la unidad de datos básica para que la información espacial sea guardada explícitamente en modelos vector. Con los modelos de malla, la unidad de datos básica es una celda donde la información de la entidad es guardada explícitamente.



Rectangular



Hexagonal



Triangular

Figura 11. Mallas regulares planas.

Las celdas deben ser una figura geométrica con la que pueda cubrirse todo el plano repitiendo la figura. En la práctica se emplean mallas rectangulares, triangulares y hexagonales. Cada

una de estas formas tiene diferentes características funcionales que están basadas en las diferentes geometrías de los polígonos elementales.

La malla regular cuadrada ha sido la más ampliamente usada principalmente por dos razones.

- 1) Es compatible con los arreglos de estructuras de datos contruidos en FORTRAN.
- 2) Es compatible con un gran número de distintos tipos de dispositivos de hardware usados para captura y salida de datos espaciales.

Algunos dispositivos de entrada y salida gráficas que procesan datos en forma de una malla rectangular son los scanners raster, los monitores para manejo gráfico, y los dispositivos de procesamiento remoto como el LANDSAT-MSS, que están diseñados para el manejo de grandes volúmenes de información a una gran velocidad.

Una característica de las mallas triangulares regulares (o irregulares), es que no todos los triángulos tienen la misma orientación. Esto hace que muchos procedimientos que involucran operaciones de comparación de áreas de celdas simples, sean una tarea más difícil que en las otras dos. Sin embargo, presenta ventajas en los modelos puntuales de terreno y otros tipos de datos de la superficie, donde se asigna un valor Z en cada vértice de la malla triangular regular (o irregular). También, con estas fases triangulares se puede hacer la asignación de valores de pendiente y dirección. Sin embargo, las mallas regulares triangulares son raramente usadas para la representación de este tipo de datos, se usan las mallas triangulares irregulares con mayor frecuencia.

La principal ventaja de las mallas regulares hexagonales es que todas las celdas vecinas de una celda dada son equidistantes desde la celda central. La simetría radial de este modelo tiene

ventajas en funciones de búsqueda y recuperación radial. Esto es diferente de la malla cuadrada donde los vecinos diagonales no tienen la misma distancia que la de los vecinos que están en las cuatro direcciones cardinales desde un punto central.

En términos de procesamiento eficiente de los procedimientos generales, tales como cálculos de área y centroides, o tareas de manipulación espacial como sobreposiciones y ventaneo, los algoritmos creados inicialmente para operar sobre mallas cuadradas, pueden ser fácilmente modificados para trabajar en mallas triangulares o hexagonales.

#### IV.2.2. Modelos de Mallas Anidadas

Las mallas rectangulares y triangulares se pueden subdividir en celdas más pequeñas con la misma forma como se muestra en la figura 12. La diferencia más notable entre las mallas rectangulares, triangulares y hexagonales en el plano es que únicamente la malla rectangular puede ser subdividida recursivamente en áreas de la misma forma y orientación. Las mallas triangulares pueden ser subdivididas en otros triángulos, pero los cambios de orientación pueden causar problemas. Los hexágonos no pueden ser subdivididos en otros hexágonos, aunque la forma básica es aproximada, los lados del hexágono son desiguales.

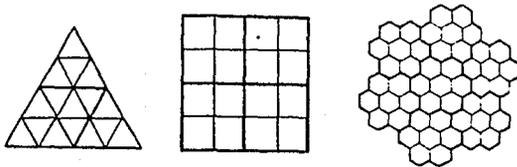


Figura 12. Los árboles de mallas regulares son recursivamente subdivididos

Son muchas y muy importantes las ventajas de una malla regular y recursiva sobre el plano como un modelo de datos espacial. Actualmente este tipo de modelo de datos está recibiendo mucha atención de las ciencias de la computación, para aumentar el rango de aplicaciones de los datos espaciales.

El modelo de este tipo más estudiado y utilizado es el QUADTREE, basado en la descomposición recursiva de una malla.

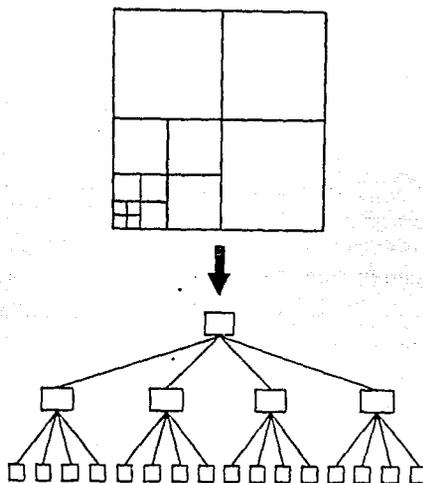


Figura 13. El modelo de Datos Quadtree.

La información de las mallas se guarda en estructuras de tipo árbol. Se ha intentado emplear todos los tipos de árboles posibles como base de los modelos de datos espaciales de malla.

La estructura de la malla rectangular es la misma que el conocido modelo computacional de los quadtrees. Las ventajas de un modelo de quadtree para analizar fenómenos geográficos se auna a las ventajas de un modelo estándar básico de cómputo que incluye:

1. La subdivisión recursiva del espacio resulta funcional en las estructuras de árbol regulares y balanceados de grado 4. Esto es un modelo de datos jerárquico o árbol en donde cada nodo tiene cuatro hijos. Las técnicas de almacenamiento y búsqueda son uno de los temas más investigados y mejor conocidos en las ciencias de la computación. Estas técnicas están bien documentadas para la integración de árboles como estructuras de archivo, incluyendo técnicas de compactación y esquemas de direccionamiento eficiente.
2. En términos cartográficos, son esquemas de escala variable y compatibles con el sistema de coordenadas cartesiano convencional. La forma en que se construyen los cambios de escala, requiere simplemente recuperar el dato almacenado de un nivel más bajo o más alto en el árbol. El dato almacenado en múltiples escalas también puede ser usado para resolver problemas de generalización automatizada de mapas. Sin embargo, el volumen de almacenamiento se incrementa.
3. La subdivisión recursiva facilita la distribución física del almacenamiento y da grandes facilidades para operaciones de revisión rápida.

Estas características son muy ventajosas para el manejo de bases de datos muy grandes.

### Areas Quadrees

El concepto quadtree y todos los algoritmos pueden extenderse a múltiples dimensiones. El oct-tree (el factor de rama es 8) o quadtree tridimensional es probablemente el más conocido de estos. Los quadtrees individuales, representando diferentes clases de datos, pueden también ser registrados espacialmente para formar múltiples capas, como puede ser el "anidamiento" de

tablas en una base de datos. Esto es conocido como "Bosque" de quadrees.

La descomposición recursiva basada en las mallas hexagonales o sep-tree (el factor de la rama es 7) conservan el problema de que los hexágonos no pueden ser subdivididos exactamente en hexágonos más pequeños; sin embargo, una solución poco elegante se muestra en la figura 12. Análogamente, las unidades de alto nivel de resolución formados por la agregación de hexágonos puede únicamente aproximarse a un hexágono (ver figura 12). Algunos algoritmos para sep-trees han sido desarrollados por Gibson y Lucas (1982). Este trabajo capitaliza la simetría radial de las mallas hexagonales basandose en procedimientos de base 7 sobre un esquema de direccionamiento en base 7, que es llamado "Generalized Balanced Ternary" o GBT (ver figura 14). Vectores, medidas de distancia y muchos otros procedimientos pueden ser ejecutados directamente sobre el GBT, direccionado sin conversión.

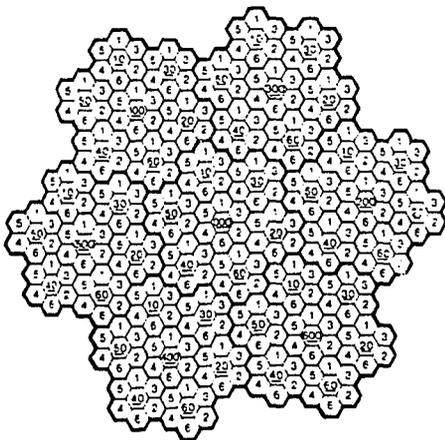


Figura 14. Una malla hexagonal anidada, con un esquema jerárquico de indexación en base 7

La descomposición recursiva basada en las mallas triangulares es otra alternativa. Este modelo es llamado un quadtree triangular ya que cada triángulo es subdividido en cuatro triángulos pequeños, produciendo un árbol de con un factor de rama 4. Por otra parte, este modelo conserva todas las ventajas asociadas con la estructura jerárquica. Aunque un esquema análogo de direccionamiento directo para las mallas rectangulares y hexagonales es fácilmente derivado; tal esquema no puede tener ninguna ventaja extra, dejando una recuperación directa de elementos de dato individual.

Generalmente, muchos trabajos desarrollados sobre modelos de datos de tipo quadtree y algoritmos asociados, se han basado en el clásico almacenamiento de árbol y las técnicas de cruzamiento basadas en apuntadores. Una alternativa es el uso de técnicas de direccionamiento directo, que a sido explorado por una gran cantidad de investigadores. Para distinguir éstos de los de acceso basado en apuntadores, han sido calificados como quadtrees lineales. El término se deriva del hecho de utilizar estructuras de direccionamiento directo; el dato puede estar físicamente organizado de manera lineal, es decir, como una lista.

### Quadtrees Puntuales

Los quadtrees puntuales están basados en la subdivisión de la posición de datos de los puntos ordenados, en vez de una descomposición espacial regular. Un punto quadtree toma un dato puntual como la raíz y divide el área en cuadrantes basados en este punto (ver figura 15).

Esto se hace recursivamente para cada punto, resultando en un árbol de grado 4. Ya que el arreglo de datos puntuales en un árbol es determinado por la posición relativa entre los puntos, se produce una descomposición regular de datos, en vez de una

descomposición regular de áreas. Estos son utilizados en aplicaciones que incluyen operaciones de búsqueda y proximidad de vecindades.

Una desventaja de los quadrees puntuales es que la forma del árbol es altamente dependiente del orden en que los puntos son agregados. Por lo tanto, agregar y borrar es imposible excepto que sean hojas del árbol.

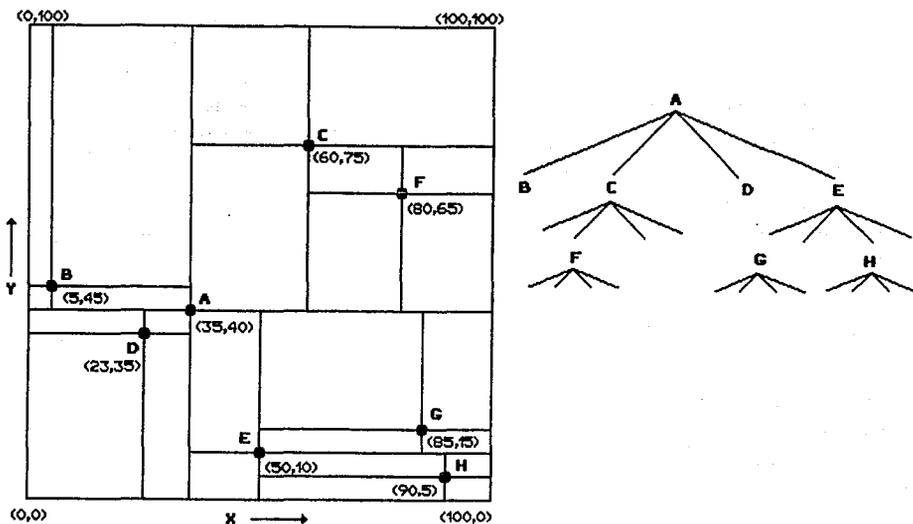


Figura 15. Modelo de datos Quadtree puntual.

El problema con las dimensiones múltiples es que el factor de rama de cualquier tipo de estructura quadtree llega a ser muy larga (es decir,  $2k$  para  $k$  dimensiones) lo que requiere mucho más espacio de almacenamiento.

El árbol  $k$ -d de Bentley es un adelanto sobre los quadtree puntuales, evitando un factor de rama largo. El árbol  $k$ -d divide el área en dos partes en vez de cuatro para cada punto, produciendo un árbol de grado 2 (ver figura 16). La dirección de

esta división es rotada entre las coordenadas para niveles sucesivos del árbol. Esto es, en el caso de 2 dimensiones, el dato espacial debe ser dividido en la dirección "X" en niveles pares y en dirección "Y" en niveles impares.

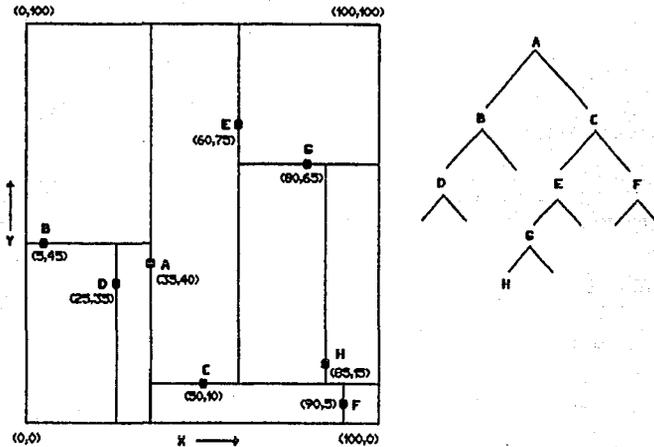


Figura 16. El modelo de datos árbol k-d.

#### IV.2.3. Mallas Irregulares

Hay algunos casos en que una malla irregular tiene ventajas. Los tipos de árbol más comúnmente usados para aplicaciones de datos geográficos son el cuadrado, el triángulo y las mallas poligonales variables (de Thiessen o Voronoi).

La ventaja básica de una malla irregular es que la necesidad de datos redundantes es eliminada y la estructura de la malla se puede hacer a la medida de la distribución en el área de los datos.

Este esquema es un modelo de resolución variable en el sentido que el tamaño y densidad de los polígonos elementales varía en el espacio.

Una malla regular puede ser ajustada para reflejar la densidad de las ocurrencias de datos dentro de cada área del espacio. Esto es, cada celda puede ser definida para contener el mismo número de ocurrencias. El resultado es que las celdas llegan a ser grandes cuando los datos están dispersos y pequeñas cuando los datos son densos.

El hecho que el tamaño, forma y orientación de las celdas es un reflejo del tamaño, forma y orientación de los elementos mismos, es también muy útil para la inspección visual y varios tipos de análisis.

Quizá la malla irregular más frecuentemente utilizada en los modelos de datos espaciales es la Red Triangular Irregular, (Triangular Irregular Network) o TIN, en donde, para un modelo digital de elevaciones, cada vértice de la malla triangular tiene un valor de elevación (ver figura 17). Los TIN son un método estándar para representación de datos de elevación de terreno para análisis de superficie, degradación de colinas y aplicaciones hidrológicas. Hay tres razones principales para utilizar los TIN; Primero, el evitar el problema del punto silla de montar (saddle point problem), que algunas veces se origina cuando dibujamos planos basados en una malla rectangular. Segundo, las facilidades para el cálculo de pendientes y otros parámetros específicos del terreno. Tercero, los datos son normalmente guardados como puntos distribuidos irregularmente en el espacio, se recogen cuatro tipos de puntos (p) significativos: picos, pasos, pozos y puntos de cambio de pendiente.

El mayor problema asociado con las redes irregulares triangulares es que hay muchas triangulaciones diferentes posibles que pueden ser generadas desde el mismo conjunto de puntos. Existen también muchos algoritmos de triangulación

diferentes. Un algoritmo de triangulación puede requerir también mayor tiempo que el de la subdivisión de un conjunto de puntos regularmente espaciados. Sin embargo, la economía en el número total de puntos que deben incorporarse y la precisión del modelo hacen que el TIN sea atractivo.

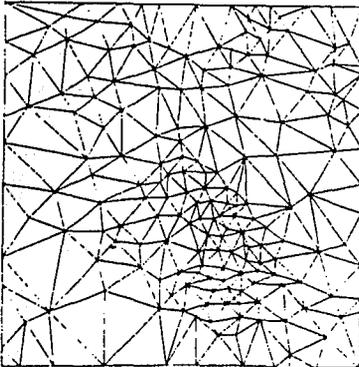


Figura 17. Una red triangular irregular (TIN).

### Polígonos de Thiessen

Los polígonos de Thiessen, también conocidos como diagramas de Voronoi son construidos creando una red mínima de conexión entre todos los puntos de interés (cada punto se une a todos los puntos cercanos que lo rodean), bisectando el lado de cada unión, se define una malla mínima poligonal irregular, donde los polígonos tienen un número variable de lados, donde cada punto de interés queda como "centroide". En otras palabras, para cualquier punto X,Y contenido en un polígono de Thiessen, el "centroide" de ese polígono es el punto de interés más cercano.

Los polígonos de Thiessen son usados para cálculos de eficiencia en los análisis de rangos de adyacencia y proximidad, que se requieren para estudios de ubicación de servicios y estudios de mercadeo. Se emplean mucho para producir mapas coropletos, donde la variable es puntual y se requiere asignarle un área.

Muchas mallas poligonales irregulares son adaptadas para un conjunto particular de datos o procedimientos analíticos, son inapropiadas para la mayoría de las tareas de manipulación y análisis espacial en general. Por ejemplo, sobreponer dos mallas irregulares es extremadamente difícil. Generar mallas irregulares es también una tarea compleja y que consume mucho tiempo. Estos dos factores hacen que las mallas irregulares no sean convenientes como modelo de base de datos, excepto en algunas aplicaciones especializadas.

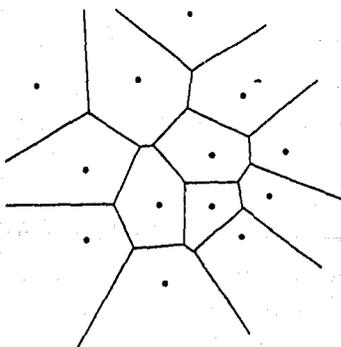


Figura 18. Un ejemplo de polígonos de Thiessen.

#### IV.2.4. Comparaciones entre estructuras de datos

Una estructura de almacenamiento de datos puede o no incorporar información topológica, que describe no únicamente la posición de un objeto, sino también las relaciones espaciales con respecto a los objetos vecinos. La información topológica es fundamental para muchos tipos de análisis, incluyendo detección automática de errores, ventaneo para análisis y representación gráfica, aplicaciones de redes, operaciones de proximidad, sobreposiciones de polígonos y otros procedimientos de intersección. Sin embargo, si nuestra aplicación no requiere este tipo de información detallada acerca de las relaciones entre objetos espaciales, el tratamiento explícito de la topología puede complicar significativamente las tareas de creación y actualización de la base de datos. Por ejemplo, una lista de vectores sin estructura puede adecuarse a algún tipo de rutina de despligue de datos.

Algunos tipos de información topológica están implícitos en los datos espaciales. En un archivo con estructura de datos raster simple, por ejemplo, hay una organización espacial específica para los datos, que no tiene huecos en la estructura de la base de datos. La regularidad en el arreglo proporciona un sistema de direccionamiento implícito. Esto permite un rápido acceso de posiciones específicas en la base de datos.

La información topológica en estructuras vector es frecuentemente codificada explícitamente en la base de datos. Los segmentos de línea dentro de los archivos DIME, por ejemplo, tienen identificadores y códigos para el polígono a ambos lados. Cuando necesitamos relaciones topológicas que no están explícitamente codificadas en estructuras de datos vector, generarlas implica una tarea costosa y consumidora de tiempo. Por ejemplo, en algunos sistemas operacionales, la entrada de datos a partir de procesos de digitalización de mapas no requiere que el operador relacione explícitamente varios segmentos de línea a polígonos que usan estos segmentos como parte de sus

límites. Sino que el operador al finalizar la digitalización crea un proceso que liga los puntos, líneas y polígonos dentro de una estructura de base de datos topológica.

Las tradicionales ventajas y desventajas de las estructuras de datos raster contra las vector, son básicamente en el volumen de datos y almacenamiento eficiente, la eficiencia en la recuperación y manipulación de datos (o procesamiento), la precisión de los datos y las facilidades para el despliegue de datos.

Hacer comparaciones del volumen de datos entre los sistemas raster y vector es totalmente dependiente del contenido de la base de datos, así como de consideraciones de exactitud y precisión. Algunos piensan que es inapropiado hacer la comparación del volumen de datos, ya que las características de los modelos son distintas. Por ejemplo, un conjunto de datos de elevación es usualmente almacenado como un arreglo celular raster, mientras que como segmentos de línea se almacenan las líneas de elevación constante (es decir, las líneas de contorno) en un modelo vector. Estas son diferencias fundamentales en la forma de ver la información espacial: el raster es cuasi continuo, el vector es claramente discreto; la representación raster puede ser considerada más densa que la vector porque más valores únicos se almacenan. Las comparaciones de eficiencia del procesamiento son difíciles de realizar en los sistemas modernos.

Muchos investigadores sugieren que los sistemas de información geográfica modernos deben permitir almacenar, manejar, recuperar y desplegar ambos tipos de datos, raster y vector, así como también, convertir los datos de una estructura a otra. Esta opción está siendo cada vez más favorecida en los recientes desarrollos de conversión de raster/vector y viceversa.

El Quadtree, es un medio sofisticado de trabajar con datos raster, que puede proporcionar un significativo progreso en el desempeño sobre los métodos más simples de almacenamiento raster.

A cambio de aumentar la complejidad del software para almacenar y recuperar los datos, se gana gran rapidez en las búsquedas y operaciones.

Un gran número de investigadores, así como de firmas comerciales, están desarrollando sistemas de información geográfica basados en modelos de datos Quadtree.

El funcionamiento de una base de datos arco-nodo pura, varía con la aplicación. Cuando recuperamos una entidad geométrica (punto, línea o polígono), también recuperamos todos los atributos relacionados. Esto puede significar problemas de rendimiento durante el proceso de recuperación de datos.

La estructura de datos relacional es potencialmente más eficiente en las búsquedas por almacenar dos tipos de información separadamente, una con las entidades geométricas y otra con los atributos relacionados, es por eso que permite el acceso a través de cada entidad geométrica o de los atributos relacionados, sin que la otra parte tenga que estar presente.

En suma, todos los modelos de datos tienen ventajas y desventajas inherentes al modelo mismo.

El componente lógico básico de un modelo vector es una entidad espacial (un área, un punto o una línea), que puede ser identificable sobre el terreno o creada en el contexto de una aplicación particular. Estos pueden incluir lagos, ríos, caminos, fronteras, etc. La organización espacial de estos objetos es explícitamente almacenada como atributos de estos objetos. La principal desventaja de los modelos de datos de tipo vector, es que las relaciones espaciales deben ser explícitamente grabadas, por lo que el número de relaciones espaciales potenciales que puede tener una aplicación en particular debe ser anticipado.

Por el contrario, el componente lógico básico de un modelo de malla es una posición en el espacio. La existencia de un objeto

dato en la posición es explícitamente almacenado como un atributo de la celda. La principal desventaja de los modelos de datos raster y de mallas, es que tienden a no ser muy compactos en su almacenamiento, aunque existen una gran cantidad de técnicas de compactación. Otra desventaja, es que los algoritmos disponibles, aunque poderosos, son locales y poco útiles para problemas puntuales y lineales, problema que podrá superarse al incrementarse el uso de modelos de datos raster y de mallas en máquinas de mayor capacidad y velocidad.

Desde esta perspectiva, uno puede claramente ver que ningún tipo de modelo de datos es, intrínsecamente, una mejor representación del espacio. Las ventajas de la representación y algoritmos dependen de cada tipo de dato y aplicación, aunque teóricamente, ambos tienen la capacidad de adaptarse a cualquier tipo de datos o procedimientos.

## V. SOFTWARE Y HARDWARE PARA SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

Un factor importante en el diseño de un sistema de información geográfica es el elegir el Software y Hardware que se adapten mejor a nuestras necesidades y a los recursos económicos con los que se cuenta, que en el caso de México tiene gran importancia, dado que el costo del equipo y paquetería necesarios para integrar un sistema de información geográfica puede ser elevado.

Los usuarios de estos sistemas deben dar una gran importancia a la elaboración de pruebas de calidad técnica, soporte técnico, programas de capacitación y costo del software y hardware antes de adquirir uno de estos.

Algunos de los aspectos importantes que se deben calificar son: el tipo de interfase con el usuario, el administrador de la base de datos, las facilidades de manipulación y análisis, la calidad en la generación de productos y en la presentación de datos, la facilidad para aprender a manejarlo. Además, se debe investigar y preguntar tanto al proveedor como a sus otros clientes sobre la infraestructura de soporte técnico y sus programas de capacitación, así como también se deben conocer los requerimientos mínimos de hardware para que el paquete trabaje óptimamente.

En México, los paquetes han sido introducidos recientemente, por lo que algunos proveedores tienen carencia de personal calificado para ofrecer al usuario el servicio que le permita la instalación y operación adecuada del producto. Esto puede causar retrasos significativos en el programa de implantación del sistema, por lo que es muy importante conocer el tipo de servicio de soporte técnico que brinda el proveedor.

En el mercado comercial de Estados Unidos y Canadá, en 1993, para sistemas de información geográfica existen cerca de 200 paquetes con todo tipo características y precios, desde paquetes

que corren en una computadora XT con monitor monocromático y una hoja de cálculo para la parte de manejo de datos, hasta paquetes que corren en estaciones de trabajo gráficas que pueden manejar además imágenes raster y tienen bases de datos relacionales tipo SQL. En México, algunas compañías han establecido representantes, otras distribuidores y se han formado algunas firmas locales.

Las fuentes principales para las características de los paquetes que se presentan fueron las ediciones 1991-92 y 1993 del International GIS Sourcebook, añadiendo el autor los nombres de los distribuidores en México. Esta lista no es, ni pretende ser exhaustiva. Sabemos que existen algunos paquetes mexicanos que, desafortunadamente no se han logrado documentar hasta ahora.

Sobre el precio de los paquetes para SIG hemos observado que existen tres rangos, aquellos que cuestan menos de mil dólares, otros alrededor de seis mil dólares y finalmente arriba de veintemil dólares, los primeros corren en PC y los últimos en estaciones de trabajo, casi siempre. Algunas universidades cuentan con paquetería que se distribuye en el ambiente académico en condiciones diferentes a las comerciales. También, la mayoría de los proveedores comerciales ofrecen descuentos sustanciales o convenios a las instituciones de educación e investigación. Por último, debo señalar que en los EEUU se estima que, el costo de implementar y operar un SIG, es entre diez y mil veces el valor del software y el hardware empleados.

También la experiencia nos ha demostrado que una vez definido el problema a resolver, es posible y recomendable seleccionar el software adecuado o accesible y por último, seleccionar una plataforma para dicho software.

En las siguientes páginas se presentan algunos de los paquetes para SIG, así como sus características principales, disponibles en el mercado mexicano.

**ARC/INFO**

- Producido por: Environmental System Research Institute, Inc. (ESRI)
- Distribuido por: GEOCENTRO
- Requerimientos Mínimos de Hardware:
  - PC 80286
    - Coprocador Matemático
    - Disco Duro de 40 Mbytes
    - 640 kbytes en RAM
  - Estación de Trabajo Gráfica:
    - APOLLO, DEC, DG, HP, IBM, INTERGRAPH, PRIME, SUN, VAX, TEKTRONIX.
- Estructuras de Datos que maneja:
  - RASTER, VECTOR TOPOLOGICO, VECTOR NO TOPOLOGICO, QUADTREE, TIN.
- Incluye: Referencia geográfica (lat/long).  
Cambios de proyección de mapas.  
Paquete para digitalización de mapas.
- Interfase con un Sistema Manejador de Base de Datos (DBMS) INFO, ORACLE, INGRES, INFORMIX, SYBASE, DB2, SQL, Dbase III y IV.
- Salidas Cartográficas:
  - Mapas Raster, Mapas Vector, Perspectiva 3-Dimensiones, Sobreposición georeferenciada.
- Dispositivos de Entrada:
  - Tableta Digitalizadora, mouse, lápiz óptico, entrada de scanner
- Dispositivos de Salida:
  - Plotter de plumas, plotter de inyección de tinta, plotter electrostático, impresora laser, impresora de matriz de puntos, salida para dispositivos filmicos para mapas de alta calidad.
- Se maneja a base de un lenguaje de comandos y permite la creación de macros de instrucciones. Cuenta con programas de importación y exportación de datos a formatos estándar.

**GENAMAP**

- Producido por: Genasys II, Inc.
- Distribuido por: Control Data de México, S.A. de C.V.
- Requerimientos Mínimos de Hardware:
  - PC 80386
    - Tarjeta gráfica
    - Monitor de alta resolución
    - 2 Mbytes en RAM
  - Estación de Trabajo Gráfica:
    - CDC-4320, APOLLO, HP9000, IBM RS-6000, WANG, SILICON GRAPHICS, SPARC.
- Estructuras de Datos que maneja:
  - RASTER, VECTOR TOPOLOGICO, VECTOR NO TOPOLOGICO, TIN.
- Incluye: Referencia Geográfica (lat/long).
  - Cambios de proyección de mapas.
  - Paquete para digitalización de mapas.
- Interfase con un Sistema Manejador de Base de Datos (DBMS)
  - ORACLE, INGRES, INFORMIX, HP ALLBASE, SQL400, DB2.
- Salidas Cartográficas:
  - Mapas Raster, Mapas Vector, Perspectiva 3-Dimensiones, Sobreposición georeferenciada.
- Dispositivos de Entrada:
  - Tableta Digitalizadora, mouse, entrada de scanner.
- Dispositivos de Salida:
  - Plotter de plumas, plotter de inyección de tinta, plotter electrostático, impresora laser, impresora de matriz de puntos.
- Se maneja a base de un lenguaje de comandos y permite la creación de macros de instrucciones.
- Cuenta con programas de importación y exportación de datos a formatos estándar.

**GEO/SQL**

- Producido por: Generation 5 technology, Inc.
- Distribuido por: GDS S.A. de C.V.
- Requerimientos Míminos de Hardware:
  - PC 80386 y mayores con DOS
  - Estación de Trabajo Gráfica: SUN, SPARC.
- Estructuras de Datos que maneja:  
VECTOR TOPOLOGICO, VECTOR NO TOPOLOGICO.
- Incluye: Referencia Geográfica (lat/long).  
Cambios de proyección de mapas.  
Paquete para digitalización de mapas.
- Interfase con un Sistema Manejador de Base de Datos (DBMS)  
ORACLE, ANSI, SQL89, Rbase y otras.
- Salidas Cartográficas:  
Mapas Vector, Perspectiva 3-Dimensiones, Sobreposición georeferenciada.
- Dispositivos de Entrada:  
Tableta Digitalizadora, mouse, lápiz óptico, entrada de scanner
- Dispositivos de Salida:  
Plotter de plumas, plotter de inyección de tinta, plotter electrostático, impresora laser, impresora de matriz de puntos.
- Se maneja a base de un lenguaje de comandos y permite la creación de macros de instrucciones.
- Cuenta con programas de importación y exportación de datos a formatos estándar.

**INFOCAD**

- Producido por: Digital Matrix Services, Inc.
- Distribuido por: Alta Dirección S.A. de C.V.
- Requerimientos Mínimos de Hardware:
  - Estación de Trabajo Gráfica:  
DEC, DATA GENERAL, IBM, SUN.
- Estructuras de Datos que maneja:  
RASTER, VECTOR TOPOLOGICO, VECTOR NO TOPOLOGICO.
- Incluye: Referencia Geográfica (lat/long).  
Cambios de proyección de mapas.  
Paquete para digitalización de mapas.
- Interfase con un Sistema Manejador de Base de Datos (DBMS)  
ORACLE, INFORMIX y otras.
- Salidas Cartográficas:  
Mapas Raster, Mapas Vector, Sobreposición georeferenciada.
- Dispositivos de Entrada:  
Tableta Digitalizadora, mouse, entrada de scanner
- Dispositivos de Salida:  
Plotter de plumas, plotter de inyección de tinta, plotter electrostático, impresora laser, impresora de matriz de puntos.
- Se maneja a base de menús.
- Cuenta con programas de importación y exportación de datos a formatos estándar.

**MAPINFO**

- Producido por: Mapinfo Corp.
  - Distribuido por: SECO S.A. de C.V.
  - Requerimientos Mínimos de Hardware:
    - PC XT o mayores compatible con 640 KBytes en RAM
    - Macintosh \*
    - Estación de Trabajo Gráfica: SUN, Intergraph \*\*.
  - Estructuras de Datos que maneja:  
VECTOR NO TOPOLOGICO.
  - Incluye: Referencia Geográfica (lat/long).  
Paquete para digitalización de mapas.
  - Interfase con un Sistema Manejador de Base de Datos (DBMS)  
Dbase III, FOXBASE.
  - Salidas Cartográficas:  
Mapas Vector.
  - Dispositivos de Entrada:  
Tableta Digitalizadora, mouse.
  - Dispositivos de Salida:  
Plotter de plumas, plotter de inyección de tinta, plotter electrostático, impresora laser, impresora de matriz de puntos.
  - Se maneja a base de menús.
  - Cuenta con programas de importación y exportación de datos a formatos estándar.
- \* Se desconocen las características particulares.  
\*\* Anunciado recientemente.

**MGE**

- Producido por: Intergraph Corp.
- Distribuido por: Intergraph de México, S.A. de C.V.
- Requerimientos Mínimos de Hardware:
  - Estación de Trabajo Gráfica: INTERGRAPH.
- Estructuras de Datos que maneja:  
RASTER, VECTOR TOPOLOGICO, VECTOR NO TOPOLOGICO, TIN.
- Incluye: Referencia Geográfica (lat/long).  
Cambios de proyección de mapas.  
Paquete para digitalización de mapas.  
Interfase con paquetería Intergraph (Ingeniería)
- Interfase con un Sistema Manejador de Base de Datos (DBMS)  
ORACLE, INGRES, INFORMIX, DB2.
- Salidas Cartográficas:  
Mapas Raster, Mapas Vector, Perspectiva 3-Dimensiones,  
Sobreposición georeferenciada.
- Dispositivos de Entrada:  
Tableta Digitalizadora, mouse, entrada de scanner, entrada  
de stereoplotter.
- Dispositivos de Salida:  
Plotter de plumas, plotter de inyección de tinta, plotter  
electrostático, impresora laser, impresora de matriz de  
puntos, salida a dispositivos filmicos para mapas de muy  
alta calidad.
- Se maneja a base menús con iconos, tiene un lenguaje de  
comandos y permite la creación de macros de instrucciones.
- Cuenta con programas de importación y exportación de datos a  
formatos estándar.

**MICROMAP**

- Producido y Distribuido por: MICROMAP

Este producto fue desarrollado en México

- Requerimientos Mínimos de Hardware:

- PC 286 o mayores compatible  
640 KBytes en RAM  
Monitor VGA

- Estructuras de Datos que maneja:  
VECTOR NO TOPOLOGICO.

- Incluye: Referencia Geográfica (lat/long).  
Cambios de proyección de mapas.  
Paquete para digitalización de mapas.

- Interfase con un Sistema Manejador de Base de Datos (DBMS)  
Tiene una base de datos propia y no tiene conexión con  
ninguna base de datos comercial.

- Salidas Cartográficas:  
Mapas Vector.

- Dispositivos de Entrada:  
Tableta Digitalizadora, mouse.

- Dispositivos de Salida:  
Plotter de plumas, impresora de matriz de puntos.

- Se maneja a base de menús y un lenguaje de consulta con el  
que se pueden crear macros.

**SPANS**

- Producido por: TYDAC Technologies Corp.
- Distribuido por: Intellimap S.A. de C.V.
- Requerimientos Mínimos de Hardware:
  - PC 386
    - Coprocesador matemático
    - 4 MBytes en RAM
    - 60 Mbytes en disco duro
    - Monitor VGA
  - Estación de Trabajo Gráfica: IBM RS-6000
- Estructuras de Datos que maneja:  
RASTER, VECTOR TOPOLOGICO, QUADTREE, TIN.
- Incluye: Referencia Geográfica (lat/long).  
Cambios de proyección de mapas.  
Paquete para digitalización de mapas.
- Interfase con un Sistema Manejador de Base de Datos (DBMS)  
OS/2 DBMS, SQL interface, ORACLE, Dbase IV.
- Salidas Cartográficas:  
Mapas Raster, Mapas Vector, Perspectiva 3-Dimensiones,  
Sobreposición georeferenciada.
- Dispositivos de Entrada:  
Tableta Digitalizadora, mouse, entrada de scanner.
- Dispositivos de Salida:  
Plotter de plumas, plotter de inyección de tinta, plotter  
electrostático, impresora laser, impresora de matriz de  
puntos.
- Se maneja a base menús, tiene un lenguaje de comandos y  
permite la creación de macros de instrucciones.
- Cuenta con programas de importación y exportación de datos a  
formatos estándar.

**TERRASOFT**

- Producido por: Digital Resource Systems (Canada) Ltd.
- Distribuido por: GIS S.A. de C.V.
- Requerimientos Mínimos de Hardware:
  - PC XT o mayores compatible con 640 KBytes en RAM
- Estructuras de Datos que maneja:  
RASTER, VECTOR TOPOLOGICO, VECTOR NO TOPOLOGICO.
- Incluye: Referencia Geográfica (lat/long).  
Cambios de proyección de mapas  
Paquete para digitalización de mapas.
- Interfase con un Sistema Manejador de Base de Datos (DBMS)  
Dbase III,IV, Rbase, ORACLE.
- Salidas Cartográficas:  
Mapas Raster, Mapas Vector, Perspectiva 3-dimensiones,  
Sobreposición georeferenciada.
- Dispositivos de Entrada:  
Tableta Digitalizadora, mouse.
- Dispositivos de Salida:  
Plotter de plumas, plotter de inyección de tinta, plotter  
electrostático, impresora laser, impresora de matriz de  
puntos.
- Se maneja a base de menús y tiene un lenguaje de comandos en  
el que pueden construir macros de instrucciones.
- Cuenta con programas de importación y exportación de datos a  
formatos estándar.

A continuación se presenta una lista de los paquetes que se pueden conseguir en Estados Unidos y Canadá, y la compañía que lo produce.

- 3DTM, M. Sinn Engineering Services Inc.
- AGIS, Delta Data Systems Inc.
- ALK-GIAP, Landesvermessungsamt.
- ALLIANCE Geoconcept, Icare International.
- ALPER GIS, Alper Systems Ltd.
- A-BASE, Brighter Images, Inc.
- ACDS, ACDS Graphic Systems Inc.
- ADDMAPS, Cobham Digital Services Ltd.
- ATLAS DRAW, Strategic Mapping, Inc.
- ATLAS GIS, Strategic Mapping, Inc.
- ATLAS GRAPHICS, Strategic Mapping, Inc.
- ATLAS MAPMAKER, Strategic Mapping, Inc.
- ATLAS/AGIS, Delta Data Systems, Inc.
- ATOM, GeoSpectra Corporation.
- AUDRE, AUDRE Inc.
- Autoroute Plus, Nextbase Ltd.
- CableCad, Enghouse Systems Ltd.
- CADCore/Hybrid, Hitachi America, Ltd.
- CADKEY, CADKEY Inc.
- Cartographer, Mercator Software Systems.
- CDM: Geo Info. Mngr., Camp, Dresser & McKee.
- CDM: Map Manager, Camp, Dresser & McKee.
- Census Windows: Tiger Tools, Geovision Inc.
- COGO, CLM/Systems Inc.
- CPS-3, Radian Corp.
- CRIES-GIS, Michigan State University.
- DIGI-CAD, Air-Land Surveys Inc.
- EARTH ONE, C. H. Guernsey.
- EARTH/INFO, Earth Info Sciences.
- EASI/FACE, PCI Remote Sasing Corp.
- EIFM, Geographic Systems Corp.
- ERDAS, ERDAS Inc.
- FMS/AC, Facility Mapping Systems Inc.
- GDS, McDonnell Douglas.
- GIS 200, Environmental Research Inst. of Michigan
- Geographic Facilities Information System, IBM Corp.
- Geographic Road Network Data Base (GRNDB), Division of Government Research.
- GIFM, Geographic Systems Corp.
- GIS CAD, Daniel Geophysical

- GIS Plus, Caliper Corp.
- GIS/AMS, GeoVision Systems Inc.
- GRASS, U.S. Army COE, Construction Engineering.
- GWN/GIS, GWN Systems Inc.
- CHAINS, Hunter GIS Inc.
- IDRISI, Clark Graduate School of Geography.
- IBM AIX geoGPG/6000, IBM Corp.
- INFO-MAP, Claymore Services Ltd.
- INFORMAP, Synercom Technology Inc.
- InSite USA, CACI Marketing Systems.
- KDMS, Kork Systems Inc.
- LAND, Geographic Systems Corp.
- LANDTRAK, GeoBased Systems.
- MacGIS, University of Oregon
- MacGIS, CLEARs-Cornell University.
- MACMAP, KLIK
- Manatron, Manatron Inc.
- Map and Image Processing System (MIPS), MicroImages.
- MapBox/Dragon, Decision Images Inc.
- MapGrafix, ComGrafix Inc.
- MAPII: Map Processor, John Wiley & Sons
- MapPower, Map Power Corp.
- MARS, Montage Information Systems Inc.
- MICROIMAGE Product Family, Terra-Mar Resource Info Servs Inc
- MIMS, Computer Mapping Company.
- MOSS, Autometric Inc.
- Nucor, Nucor Computing Resources Inc.
- PAMAP GIS, Pamap Graphics Ltd.
- QUIKMap, ESL Environmental Services Ltd.
- STRINGS, GeoBased Systems.
- STRIPES, Geodetix Inc.
- Survey System, C & G Software Systems Inc.
- System 600, International Imaging Systems.
- System 9, Computervision.
- TIGRIS, Intergraph Corp.
- Topologic, Geometria Software Laboratories Co.
- UltiMap, UltiMap Corp.
- USEMAP 4.2, Waldeck Geosoftware.
- Vortext, Aangstrom Precision Corp.
- WIFM, Geographic System Corp.
- Windows/on the World, Geovision Inc.
- XMap, DeLorne Mapping Company.

Estos son la mayoría de los paquetes que se encuentran en el mercado de Estados Unidos y Canadá, pero constantemente están apareciendo nuevos paquetes, algunos producidos por Universidades otros son paquetes desarrollados por instituciones para resolver problemas específicos y otros más por nuevas compañías que van a competir en el mercado.

## VI. SISTEMA DE INFORMACION URBANA DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO.

### VI.1. INTRODUCCION.

El Colegio de México es una institución de investigación y enseñanza en ciencias sociales, en él se encuentran: el Centro de Estudios de Asia y Africa (CEAA), el Centro de Estudios Económicos (CEE), el Centro de Estudios Históricos (CEH), el Centro de Estudios Internacionales (CEI), el Centro de Estudios Lingüísticos (CEL), el Centro de Estudios Sicológicos (CES), el Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano (CEDDU), este último dedicado a estudios urbanos y demográficos, y la Unidad de Cómputo (UC), donde se inició el Laboratorio de Cartografía Automatizada y Análisis Espacial.

Un grupo de investigadores del Laboratorio de Cartografía Automatizada y Análisis Espacial de la UC y del CEDDU identificaron la necesidad de establecer un sistema de información geográfica para el área metropolitana de la ciudad de México denominado Sistema de Información Urbana (SIU), ya que la capacidad de estos sistemas para incorporar el espacio como una dimensión analítica más, los convierte en herramientas muy valiosas para el análisis urbano y la planificación, que ayudará a los investigadores de la institución.

Siendo la ciudad de México la segunda área metropolitana más grande del mundo, éste sistema representa un primer esfuerzo en la construcción de un Sistema de Información Geográfica para el estudio de su estructura espacial.

Estos estudios tradicionalmente han sido diseñados y desarrollados en instituciones gubernamentales por ejemplo, el Departamento del Distrito Federal (DDF), ha trabajado durante los últimos diez años en un sistema de información a nivel predio con fines catastrales; el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), trabaja con sistemas para manejar la

información censal; aunque el tipo de información y las capacidades de manipulación de datos necesarios para la investigación urbana coinciden en algunos casos con aplicaciones establecidas para propósitos de planeación y toma de decisiones, existen casos en que los investigadores requieren datos específicos y funciones que usualmente no son incorporadas en las aplicaciones gubernamentales, por lo que, se hizo necesaria la existencia de un sistema enfocado a las necesidades de los investigadores.

El área considerada para el proyecto esta formada por las 16 delegaciones del Distrito Federal y por 21 municipios conurbados del Estado de México, definidos por una investigación previa del CEDDU. El área será estudiada en dos niveles de agregación espacial, uno a nivel Delegación y Municipio y el otro a nivel Area Geoestadística Básica (AGEB) por Delegación o Municipio.

La integración de un sistema que contenga información correspondiente a dos entidades con estatus políticos y formas de gobierno diferentes, es una de las cuestiones más importantes de este sistema, porque los sistemas gubernamentales actúan sólo sobre sus entidades, manejando la información de distintas maneras.

El área de estudio tiene una población de alrededor de 15 millones de habitantes según resultados preliminares del Censo General de Población y Vivienda de 1990, contiene cerca de 50,000 manzanas y alrededor de 3,000 AGEB's, constituyendo uno de los primeros retos a vencer ya que el volumen y manipulación de los datos implica la necesidad de utilizar software y hardware avanzados y por supuesto costosos, o implementar técnicas no convencionales. Otro de los grandes problemas a los que se enfrenta el sistema es la identificación y adquisición de información, ya que los datos no son diseminados sistemáticamente ni al nivel de agregación deseado. Por último, dadas las complejas características de la metrópoli, se requieren emplear métodos de análisis espacial no convencionales, que los paquetes

disponibles no tienen y por lo tanto tendrán que ser desarrollados e incorporados al sistema.

## VI.2. DISEÑO DEL SISTEMA.

El Sistema de Información Urbana de la zona metropolitana de la ciudad de México (SIU) fue concebido como un conjunto de subsistemas principales donde se almacenen los datos básicos, y desde los cuales se tiene acceso a las funciones de manipulación de información y a las capacidades de mapeo y graficación.

Como primer paso, se definió el marco conceptual de trabajo para el diseño de los subsistemas, en el cual se identificarán tres dimensiones: el Espacio, el Tiempo y el Contenido. (Figura 1.)

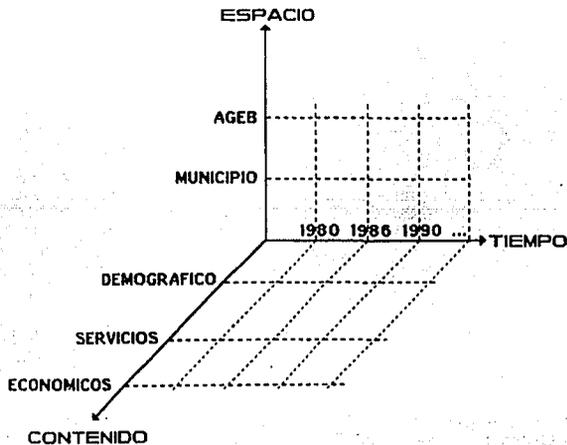


Figura 1. La Dimensión Espacial

### VI.3. LA DIMENSION ESPACIAL

Para el Distrito Federal y los 21 municipios conurbados del Estado de México, los niveles de agregación espacial que se eligieron para el sistema son: la Delegación o Municipio según sea el caso y las Areas Geoestadísticas Básicas (AGEB) definidas por el INEGI.

A los investigadores y planificadores urbanos, el nivel de delegación o municipio para algunos estudios resultaba de poco valor; si consideramos que una delegación cubre hasta 288 km<sup>2</sup> o tiene una población superior al millón y medio de habitantes. De ahí, la necesidad de incorporar un nivel de agregación más bajo como lo es el nivel de AGEB.

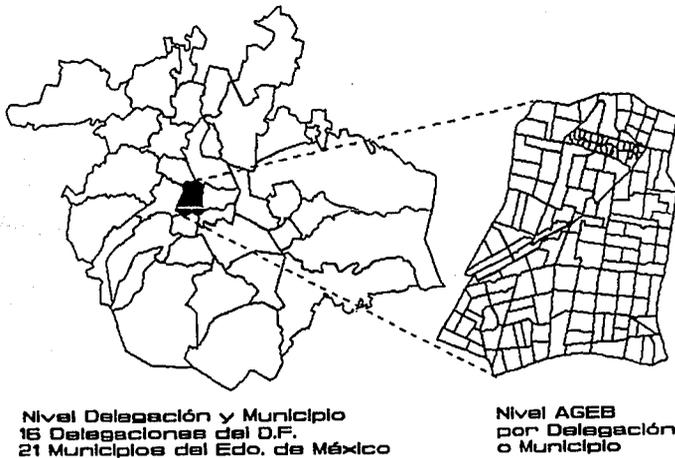


Figura 2. Area de Estudio.

El INEGI define una AGEB de la siguiente manera:

"Una AGEB se define como el área que constituye la unidad mínima de agragación a emplear en la cartografía censal. Estas divisiones deben ser homogéneas en cuanto a sus características sociales, económicas y geográficas, las cuales son susceptibles de ser procesadas estadísticamente con mayor confiabilidad.

Obedeciendo la necesidad de respetar los criterios de homogeneidad para cada una de las AGEB, estas se dividen en rurales y urbanas .

Una AGEB urbana es el área integrada por una superficie edificada y/o urbanizada con uso de suelo no agropecuario o forestal y que partiendo de un núcleo, presenta continuidad física en todas direcciones hasta ser interrumpida en forma notoria por terreno de uso no urbano. Sus límites están dados en base a detalles geográficos o de infraestructura en el terreno (tales como avenidas principales, calles, canales, vías de ferrocarril, ríos, etc.). Los parámetros que se consideran para asignar una o más AGEB urbanas en una localidad son:

- Que se trate de un conjunto convencional de manzanas cuyo número oscile entre 25 y 50 encontrándose perfectamente delimitadas.
- Cuento con una población igual o mayor de 2,500 habitantes.
- Sea cabecera municipal aún sin cumplir con los parámetros anteriores.
- Uso de suelo habitacional, industrial, servicios, comercial, recreativos, etc.

Una AGEB rural se define como el área en el cual se localizan viviendas aisladas caracterizadas por un uso de suelo de tipo agropecuario o forestal, completando con pequeñas actividades comerciales, con escasa infraestructura vial y de servicios, los

límites de las AGEB están constituidas por elementos perdurables y de fácil identificación en el terreno (tales como carreteras, brechas, vías de ferrocarril, canales, etc.). Los parámetros que se tienen en cuenta para asignar claves de AGEB rural son:

- Conjunto de localidades con una población menor a 2,500 habitantes cada una de ellas.
- Su extensión es de 5,000 a 10,000 hectáreas dependiendo de su actividad agrícola y/o ganadera, de la concentración de la población rural y de las condiciones geográficas y de comunicación existentes.
- El uso del suelo sea forestal, agrícola, ganadero, etc. o incluso pertenecientes a áreas naturales; desiertos, marismas, pantanos, estuarios, etc.

Este tipo de divisiones se conoce como marco geoestadístico censal."

Como podemos observar, la misma definición de AGEB nos está proporcionando información sobre la estructura urbana de la zona metropolitana, es por eso que este nivel es muy importante para el sistema. La definición anterior la emplea el INEGI sin rigidez, adoptando en áreas difíciles una definición más laxa.

Un punto importante en relación a este nivel, es que por primera vez el INEGI planea la disseminación de información del Censo General de Población y Vivienda de 1990 a nivel AGEB.

Otro de los niveles que se consideraron para el sistema, fue el nivel de manzana. Sin embargo, este nivel está considerado a largo plazo, porque a este nivel la disponibilidad de información es casi nula, además de que los recursos actuales de equipo y humanos no permitirían la integración al sistema ya que se tendrían problemas de volumen de información y actualización de la misma.

Otras unidades de análisis espacial, además de las áreas, podrán ser representadas a través de puntos (por ejemplo, escuelas, hospitales, mercados, museos, oficinas, etc.) y líneas (calles, rutas de transporte, vías, etc.); también en un futuro, se proporcionará al sistema de capacidades para el estudio de estructuras espaciales de vecindad y de redes.

#### VI.4. LA DIMENSION TIEMPO

Este aspecto es considerado esencial para el sistema ya que las comparaciones temporales son necesarias para varios tipos de estudios relacionados por ejemplo, con el crecimiento urbano, los cambios en los patrones de distribución y la evolución de la estructura urbana.

Sin embargo, la disponibilidad de datos significa un serio dolor de cabeza para la definición de los cortes temporales contenidos en el sistema.

El problema se debe a que las estadísticas para el área, son producidas de manera irregular; así vemos que los censos de población y vivienda se efectúan cada diez años, los censos económicos cada cinco años y otras estadísticas producidas por diferentes fuentes relacionadas con la educación, ingreso, empleo, infraestructura urbana y de servicios, etc., son elaboradas con distinta periodicidad y con una disponibilidad muy irregular.

Ante estos problemas de disponibilidad de información, se decidió incorporar los datos con una referencia explícita de la fecha de recabación de la información y de su fuente, lo que permitirá al usuario decidir sobre los criterios de comparación de datos en el tiempo.

Otro problema lo tenemos en la parte geográfica, ya que el INEGI actualiza su marco geoestadístico antes de cada levantamiento censal, por ejemplo, para el censo de 1990 el INEGI consideró 27 municipios conurbados contra los 21 que en 1986 consideraban los investigadores de El Colegio de México. También las áreas geoestadísticas básicas son actualizadas antes de cada levantamiento censal conforme a los criterios para asignación de nuevas AGEB descritos anteriormente. Esto implica que el número de AGEB's por delegación o municipio puede aumentar en cada levantamiento (el número de AGEB puede aumentar pero no disminuir). Una AGEB puede subdividirse en dos o más áreas nuevas. Las nuevas AGEB no afectan los límites de las AGEB colindantes. (ver figura 3)

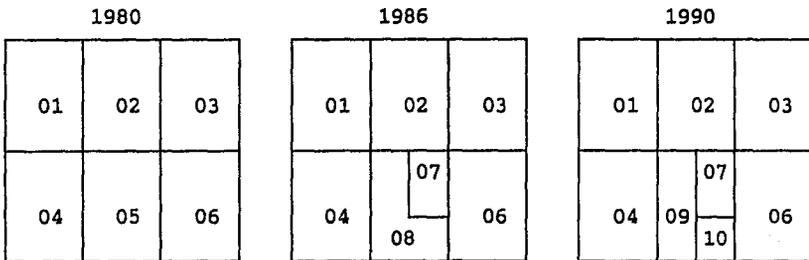


Figura 3. Ejemplo de creación de nuevas AGEBs.

Los datos publicados son referidos al marco geoestadístico con el que se hace el levantamiento. Por lo que se tienen que guardar los diferentes marcos geoestadísticos para cada colección de datos, con la fecha explícita de la fecha de actualización o de levantamiento.

## VI.5. LA DIMENSION CONTENIDO

La dimensión de contenido fue uno de los aspectos más importantes de resolver, ya que la cantidad de datos que pueden ser incorporados al sistema es enorme. Sin embargo, en el diseño se establece un claro criterio para que la selección de datos responda a las necesidades específicas del investigador.

Primeramente, el contenido se organizó de manera temática donde se identificaron diez grandes temas que se usaron como base para la clasificación de las variables urbanas de interés. Estos temas son: DEMOGRAFIA, SERVICIOS, COMUNICACIONES, VIVIENDA, ECONOMICOS, ADMINISTRACION PUBLICA, USO DEL SUELO, POLITICOS, ECOLOGIA, SOCIAL. En cada uno de estos temas pueden existir N variables.

El número de variables por tema puede ser muy grande y se podrían tener problemas de manejo de datos, ya que, generalmente un investigador no manipula más de 15 variables simultáneamente. A los investigadores no les interesa manejar todo el universo de variables, únicamente quieren manipular las variables que le son útiles y el tener todas las variables de todos los temas presentes lo confunde, además de consumir mucha memoria y provocar que el sistema sea lento. Para resolver esto, se está desarrollando un manejador de datos que permite al investigador seleccionar una o más variables por tema para generar un archivo de trabajo temporal que contenga únicamente las variables seleccionadas.

## VI.6. ANALISIS DE DATOS

De acuerdo a los modelos urbanos que se han usado para definir al SIU, este debe tener capacidades para:

- La representación de contigüidad y las relaciones de vecindad.
- La representación y uso de redes.
- La definición de zonas de influencia y áreas de servicio.
- La aplicación de algoritmos de regionalización.
- Interfases con paquetes estadísticos.
- Facilidad de Mapeo.
- Interfase con módulos de graficación.
- Facilidad para preguntar sobre algún dato y definir indicadores.
- Facilidades para generar filtros.
- Uso de imágenes de satélite y fotografías aéreas.
- La aplicación de métodos geo-estadísticos y de análisis espacial.
- Sobreposición de mapas.
- Preguntas sobre la base de datos geográfica.

#### VI.7. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

El establecer un sistema de información urbana para la zona metropolitana de la ciudad de México es un proyecto a largo plazo debido al tamaño y complejidad de la zona.

El tiempo previsto de desarrollo es de aproximadamente 10 años, dependiendo de los recursos con los que se disponga.

Sin embargo, en el corto y mediano plazos varios subsistemas entrarán en operación. Actualmente se están integrando dos subsistemas, el Metropolitano y el de AGEB. La diferencia entre estos subsistemas es el nivel de agregación espacial, para el Metropolitano el nivel de agregación es el de Delegación y Municipio, mientras que para el de AGEB, como su nombre lo indica, utiliza los límites de las áreas geoestadísticas básicas.

Los subsistemas tienen la misma estructura de clasificación por temas para el contenido y estos son adquiridos para distintos períodos y de diferentes fuentes.

La falta de recursos para llevar a cabo este proyecto obligó a buscar apoyos en otras instituciones y con distintos proveedores para la adquisición de software y hardware.

Fue así como el Centro Científico IBM de México proporcionó el siguiente equipo:

- PS/2 modelo 80
  - Disco duro de 100 Mbytes.
  - 2 Mbytes en RAM.
  - Monitor de alta resolución VGA a color
  - Unidades de diskette e 3½" y 5¼"
- Plotter IBM-6184 de 8 plumas y 40" de ancho.
- Tableta digitalizadora de 56 x 44 pulgadas IBM 5084-3.

(Última  
incorporación al sistema).

En la parte de software, la empresa SECO S.A. contribuyó con la donación de un paquete MapInfo; posteriormente INTERGRAPH de México donó el paquete MICROSTATION PC.

La Dirección General de Servicios de Cómputo Académico de la UNAM prestó una tableta digitalizadora SUMMAGRAPHICS II de 12 x 18 pulgadas para la digitalización con MapInfo de los planos de las delegaciones (hasta 36 X 48 pulgadas) del Distrito Federal.

Actualmente MapInfo se está utilizando para integrar los subsistemas Metropolitano y AGEB.

El tamaño y las características de manipulación y las capacidades del sistema, indican la necesidad de utilizar una estación de trabajo gráfica, así como un paquete más poderoso para la integración del Sistema de Información Urbana (SIU).

## VI.8. ADQUISICION DE DATOS

La adquisición de datos para la zona ha sido una tarea complicada y que ha llevado mucho tiempo.

Se han identificado tres fuentes importantes de información: el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el Departamento del Distrito Federal (DDF) y el Gobierno del Estado de México.

El INEGI produce los censos de población y vivienda, los censos económicos y diferentes encuestas sobre indicadores económicos. Además de contar con fotografías aéreas de la zona en diferentes épocas, también es el productor de la cartografía topográfica 1:50,000 y de planos (a veces a mano alzada) de AGEB a escalas aproximadas del orden de 1:30,000.

El departamento del Distrito Federal tiene varias oficinas que recolectan datos para planeación y propósitos de toma de decisiones; también produce mapas urbanos 1:10,000 y está estableciendo un sistema de información catastral.

El Gobierno del Estado de México, produce datos para planeación y toma de decisiones, estadísticas sobre servicios e indicadores económicos y distintos tipos de mapas.

Para el subsistema metropolitano se cuenta con planos o croquis de las 16 delegaciones del Distrito federal y los 21 municipios conurbados del Estado de México. Se cuenta con una base de datos con datos de población, población económicamente activa y producto interno bruto, para 1970 y 1980.

Para el subsistema de AGEB se consiguieron planos de AGEB por delegación y Municipio. Para la base de datos de atributos ha sido muy difícil conseguir información, ya que la mayoría de las publicaciones que producen las instituciones antes mencionadas solo tienen información a nivel delegación o municipio.

Para este subsistema, actualmente se cuenta con algunos resultados preliminares del Censo Económico de 1986, proporcionados por un usuario.

## **VI.9. PREPROCESAMIENTO, MANIPULACION Y ANALISIS**

Como no se cuenta con datos cartográficos en forma digital se procedió a construir la base de datos cartográfica, digitalizando los planos y croquis de la zona metropolitana.

Para el subsistema Metropolitano se digitalizaron con MapInfo los croquis de las 16 delegaciones y de los 21 municipios conurbados del Estado de México.

La estructura de datos cartográfica que maneja MapInfo es vector no topológico con polígonos completos, es decir, cada polígono es codificado como una secuencia de puntos que definen los límites de cada área cerrada en un sistema coordenado.

El mapa fuente es un croquis sin ninguna referencia geográfica (latitud/longitud o retícula UTM) y el paquete no tiene herramientas para georreferirlo. El mapa digital obtenido queda en coordenadas tableta y sirve únicamente para representaciones temáticas sin poder medir distancias o calcular áreas.

La manejador de base de datos de atributos que utiliza MapInfo es un manejador Foxbase en el cual se pueden ejecutar casi todas las operaciones de la base de datos completa, es decir, crear, modificar, buscar, ejecutar otros programas, etc. La forma de ligar esta base de datos a la base de datos geográfica es por medio del nombre del polígono y las coordenadas X y Y del centroide, de tal forma que la base de datos de atributos tiene un registro con N variables para cada polígono cerrado de la base de datos cartográfica.

La estructura de la base de datos quedaría:

Variable	Tipo
Nombre del polígono	Caracter
Xcoord	Numérica
Ycoord	Numérica
V1,V2,V3,...Vn	Numérica

Después de crear las bases de datos, en el SIG se manipulan estas variables para generar los mapas temáticos de cualquier variable de la base de datos y después obtener las salidas en la impresora o en el graficador.

Para el subsistema de AGEB nos encontramos con dos dificultades en la incorporación de los datos cartográficos al sistema:

1. La tableta digitalizadora con la que contabamos era la SUMMAGRAPHICS II de 12 x 18 pulgadas y algunos planos de AGEB por delegación eran más grandes que el área útil de la tableta, por lo que se tendrían que cortarse y digitalizarse por separado.
2. MapInfo no tiene un sistema de rectificación y registro de coordenadas, por lo que la unión de todos los archivos tendría que hacerse fuera del paquete.

Con los planos del Distrito Federal, lo primero que se hizo fue digitalizar todos los planos, completos o en partes, poniendo en cada archivo por lo menos tres puntos que correspondieran a la retícula UTM de los planos, ya que estos nos servirían como puntos de control para las transformaciones geométricas.

Después de esto, se exportaron las coordenadas a un archivo Foxbase para realizar las operaciones geométricas de Escalamiento, Rotación y Traslación sobre las coordenadas. Luego las coordenadas resultantes fueron importadas nuevamente al

paquete y se procedió a verificar y editar los polígonos que estuvieran en las orillas del mapa. Este proceso de georreferenciación nos permitió crear auténticos mapas donde se pueden hacer mediciones de distancia, cálculos de áreas, orientaciones, etc. (para el DF la precisión absoluta obtenida en comparación con la cartografía 1:50,000 de INEGI es del orden de 60 metros excepto para la delegación Benito Juárez donde el error es mayor, ampliamente satisfactoria para los requerimientos del sistema).

El resultado fue tener el Distrito Federal por delegación y todas las delegaciones por AGEB en proyección UTM; de esta manera, podemos presentar una sola, varias o todas las delegaciones.

A continuación se presenta una secuencia de figuras que se refieren al proceso de unión de los mapas. (Ver figura 4).

Para la digitalización de los planos del Estado de México, ya se contó con la tableta IBM 5084-3 de 56 x 44 pulgadas, por lo que no se necesitó cortar ningún plano. Sin embargo, existe un grave problema con estos planos, el cual consiste en que la mayoría de los planos no tienen la retícula UTM que es indispensable para poder georreferirlos y unirlos a los del Distrito Federal.

Algunos municipios conurbados rodean y tienen frontera común con el Distrito Federal el cual ya está referenciado, por lo que el proceso a seguir consiste en localizar en los croquis puntos identificables en otras fuentes, para que sean tomados como puntos de control y se realicen las operaciones de Escalamiento, Rotación y Traslación.

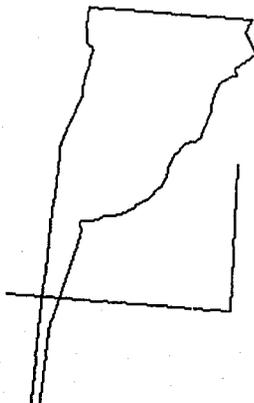
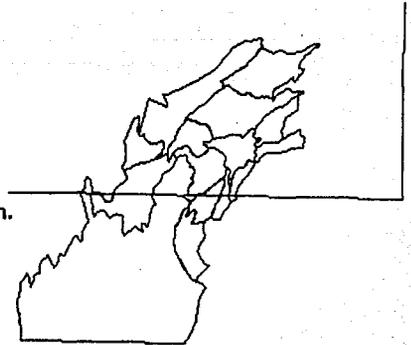
Recientemente se terminó la digitalización de las zonas urbanas de los municipios del Estado de México, falta georreferirlos para tener la base de datos cartográfica completa.

En cuanto a la base de datos de atributos, solo se cuentan con algunos datos preliminares del Censo Económico de 1986 que ya están ligados a la base cartográfica de AGEBS y se pueden generar mapas temáticos. A continuación se presentan algunos ejemplos de mapas temáticos del sistema.



**Figura 4a.**  
Digitalización Original  
del primer corte de la  
Delegación Alvaro Obregón.

**Figura 4b.**  
Digitalización original del  
segundo corte de la  
Delegación Alvaro Obregón.



**Figura 4c.**  
Digitalización original del  
tercer corte de la  
Delegación Alvaro Obregón.

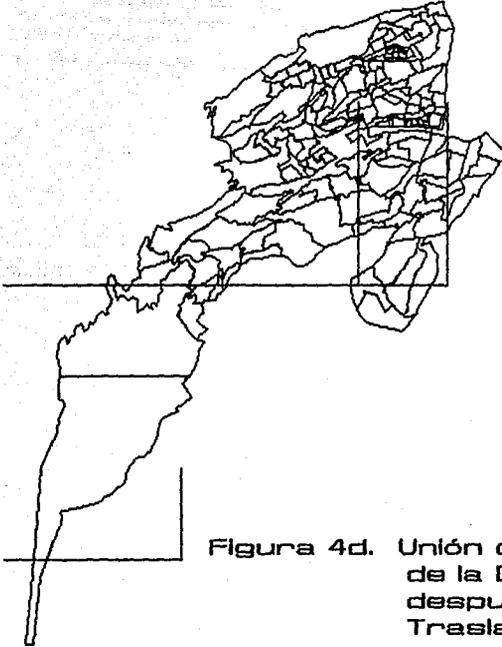


Figura 4d. Unión de los tres cortes de la Del. Alvaro Obregón después de la Rotación Traslación y Escalamiento.

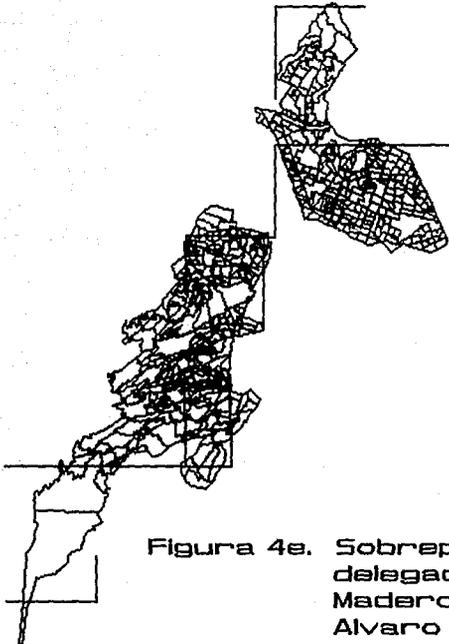
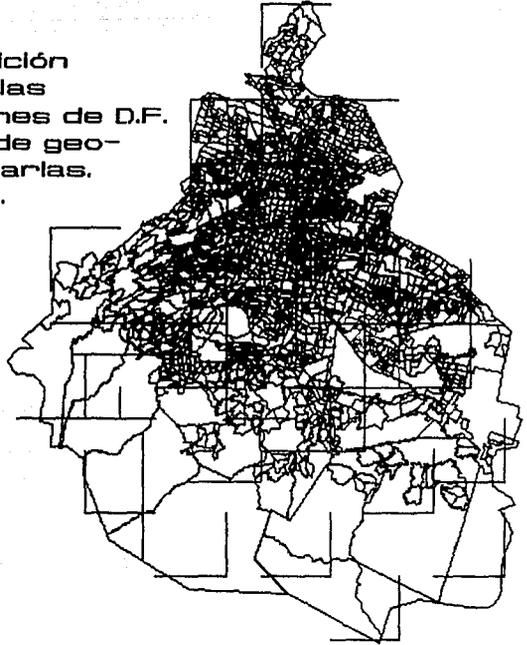
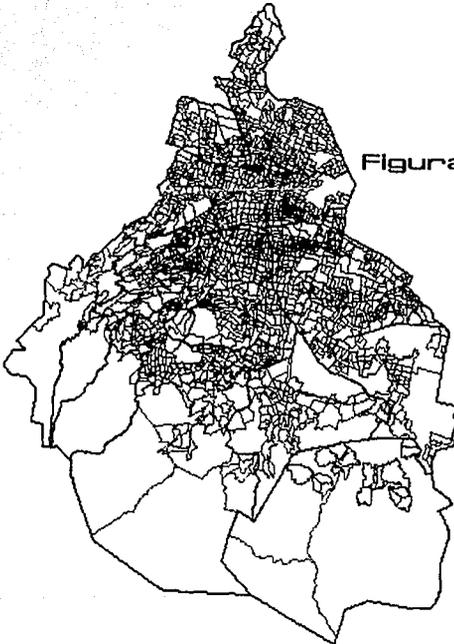


Figura 4e. Sobreposición de las delegaciones Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo y Alvaro Obregón después de geo-referenciarlas.

**Figura 4f.** Sobreposición de todas las delegaciones de D.F. después de georeferenciarlas. Sin editar.

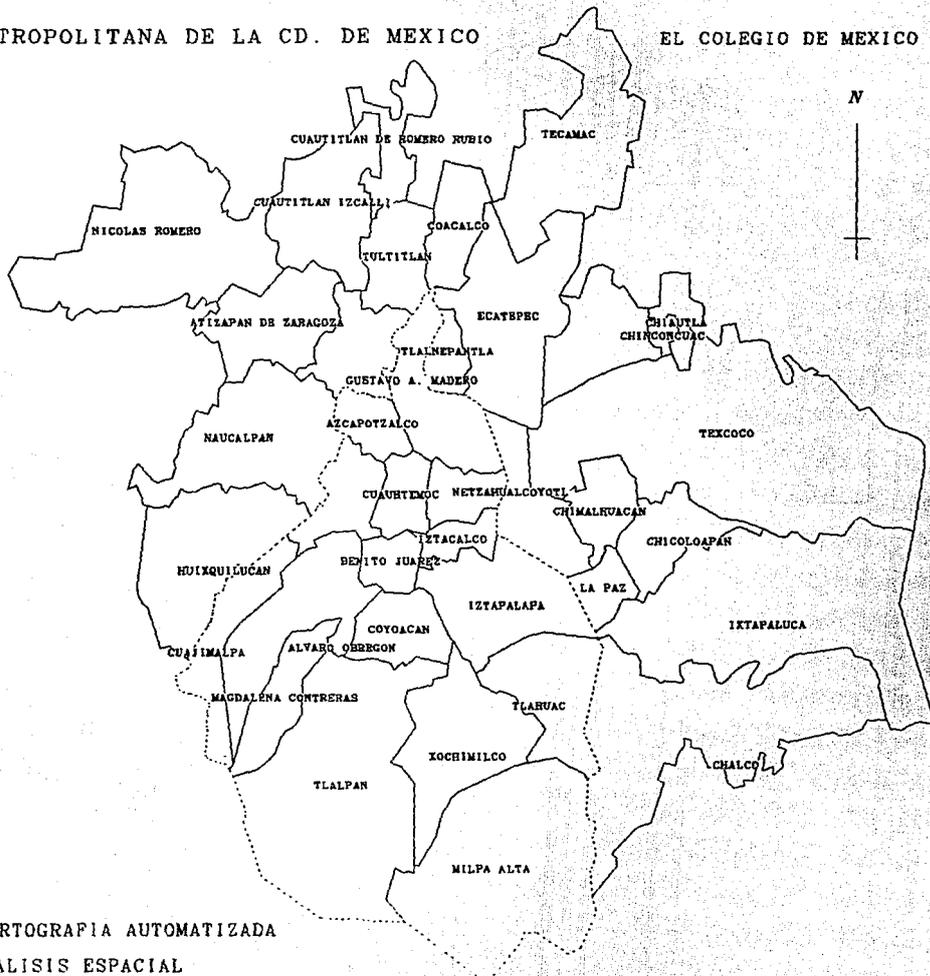


**Figura 4g.** Sobreposición de todas las delegaciones del D.F. ya editadas.

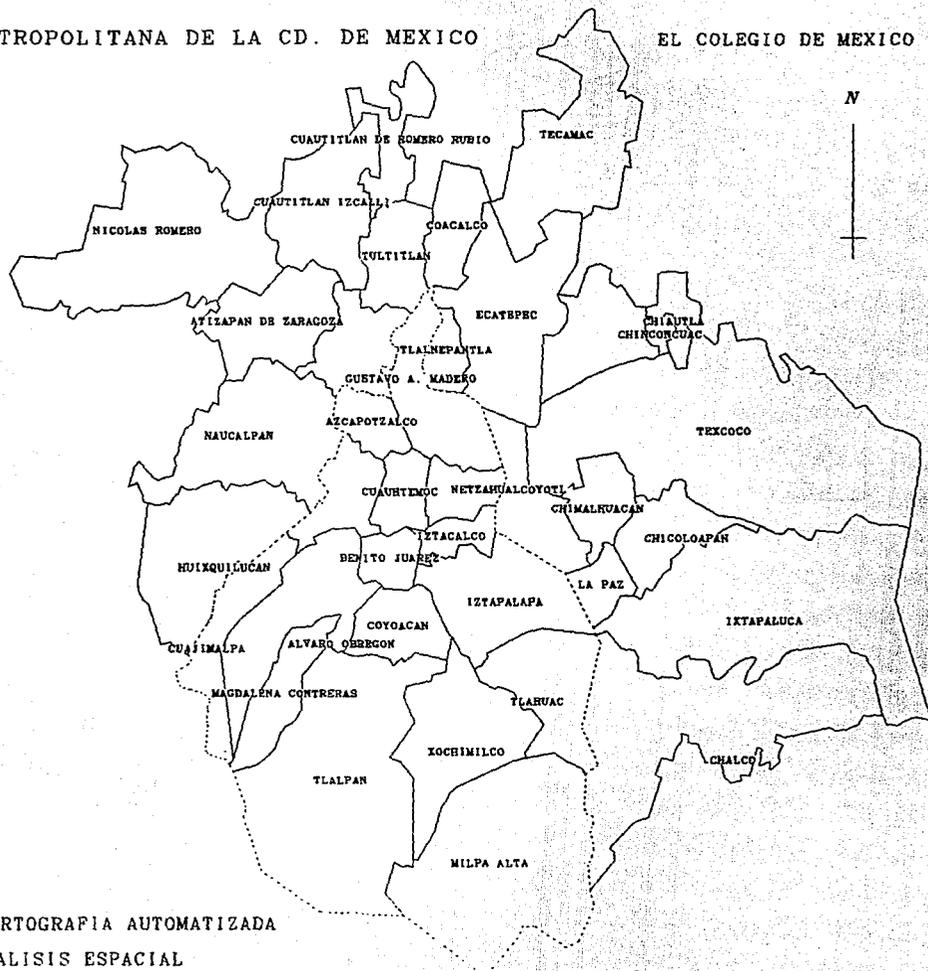


ZONA METROPOLITANA DE LA CD. DE MEXICO

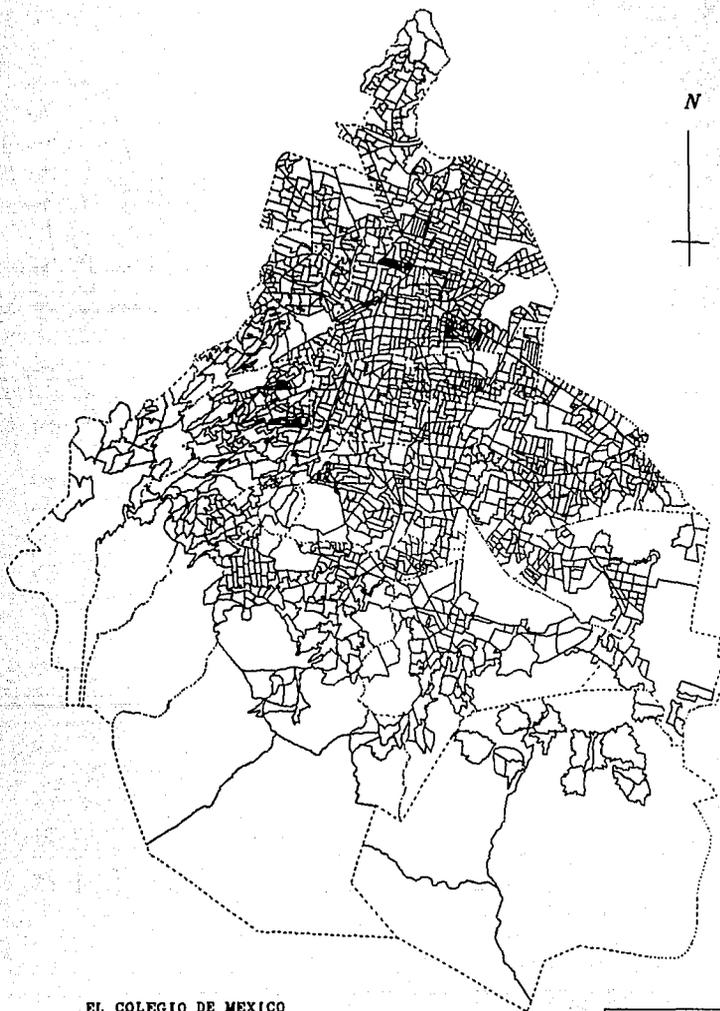
EL COLEGIO DE MEXICO



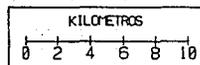
LAB. DE CARTOGRAFIA AUTOMATIZADA  
Y ANALISIS ESPACIAL



D I S T R I T O F E D E R A L  
A N I V E L A R E A G E O E S T A D I S T I C A B A S I C A  
M A R C O G E O E S T A D I S T I C O 1 9 9 0



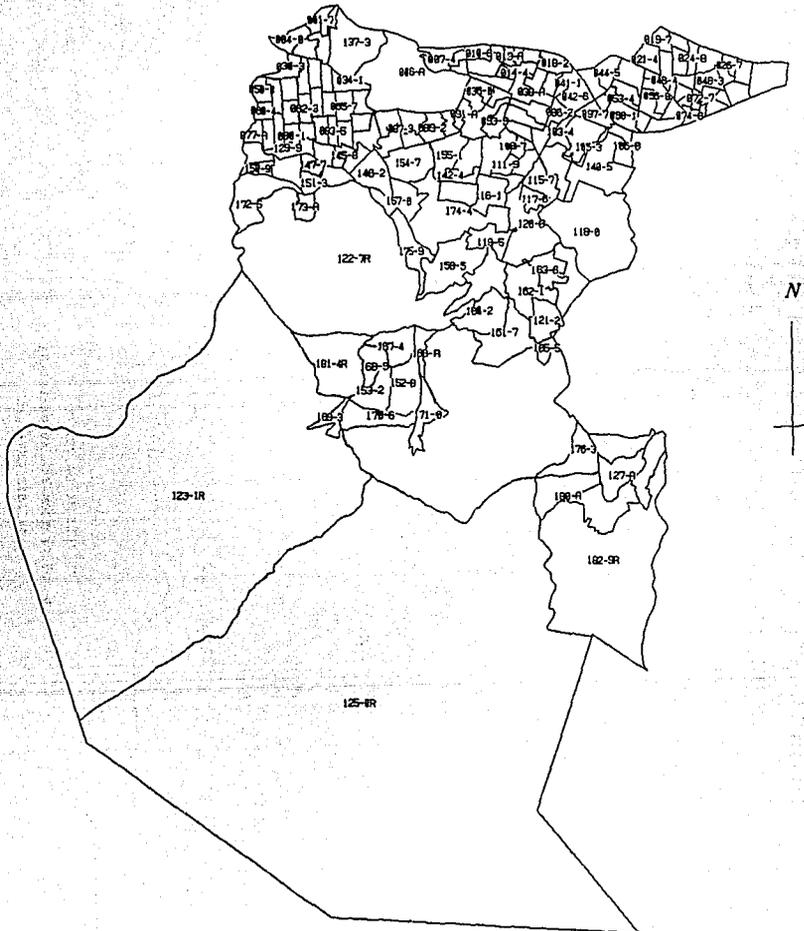
EL COLEGIO DE MEXICO  
LAB. DE CARTOGRAFIA AUTOMATIZADA  
Y ANALISIS ESPACIAL



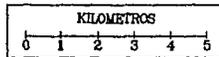


# DELEGACION TLALPAN

(NIVEL AREA GEOESTADISTICA BASICA)

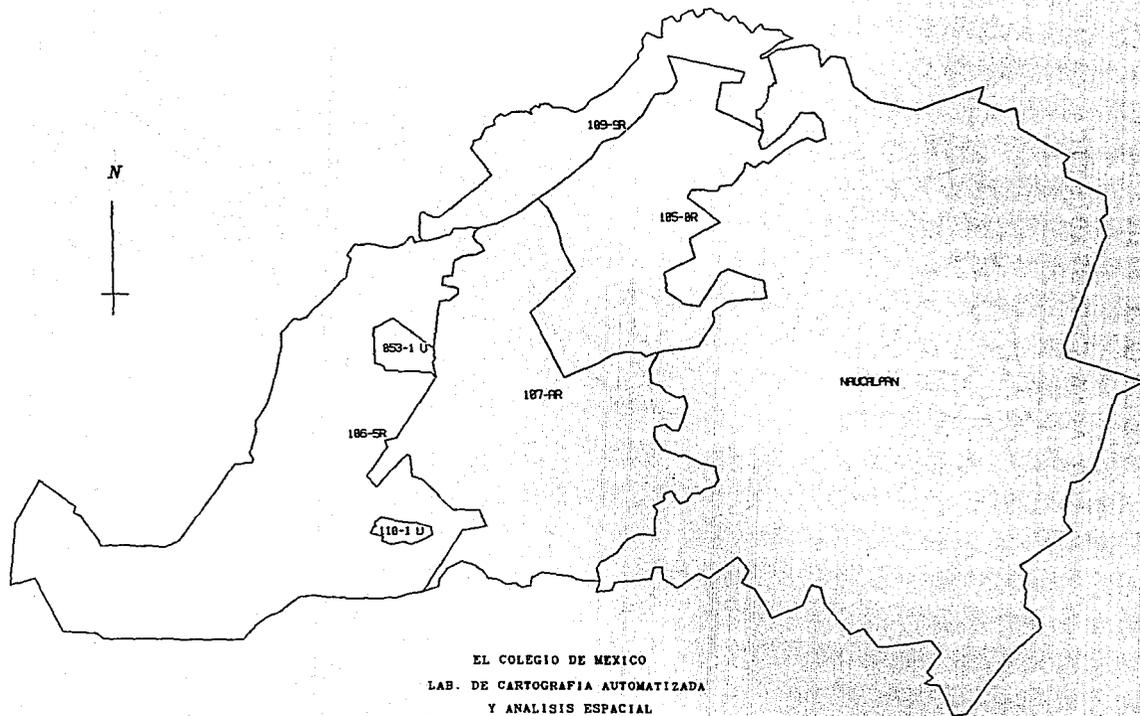


EL COLEGIO DE MEXICO  
 LAB. DE CARTOGRAFIA AUTOMATIZADA  
 Y ANALISIS ESPACIAL



# MUNICIPIO DE NAUCALPAN DE JUAREZ

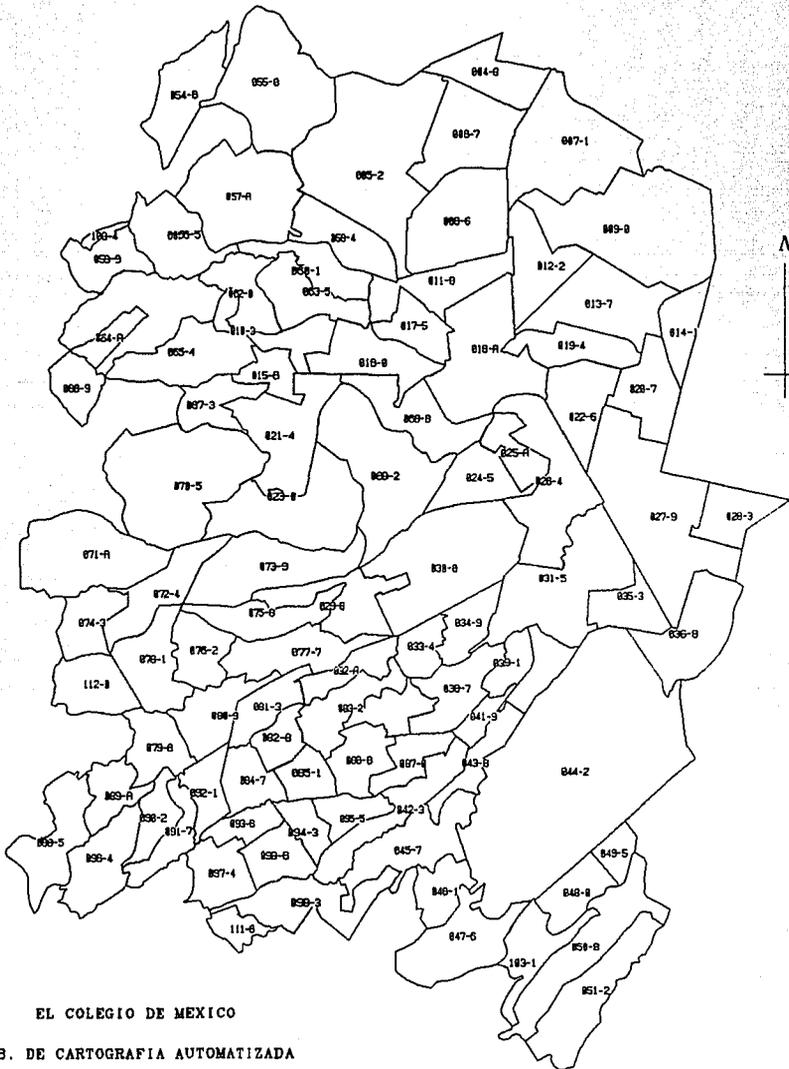
NIVEL AREA GEOESTADISTICA BASICA RURAL



EL COLEGIO DE MEXICO  
LAB. DE CARTOGRAFIA AUTOMATIZADA  
Y ANALISIS ESPACIAL

# MUNICIPIO DE NAUCALPAN DE JUAREZ

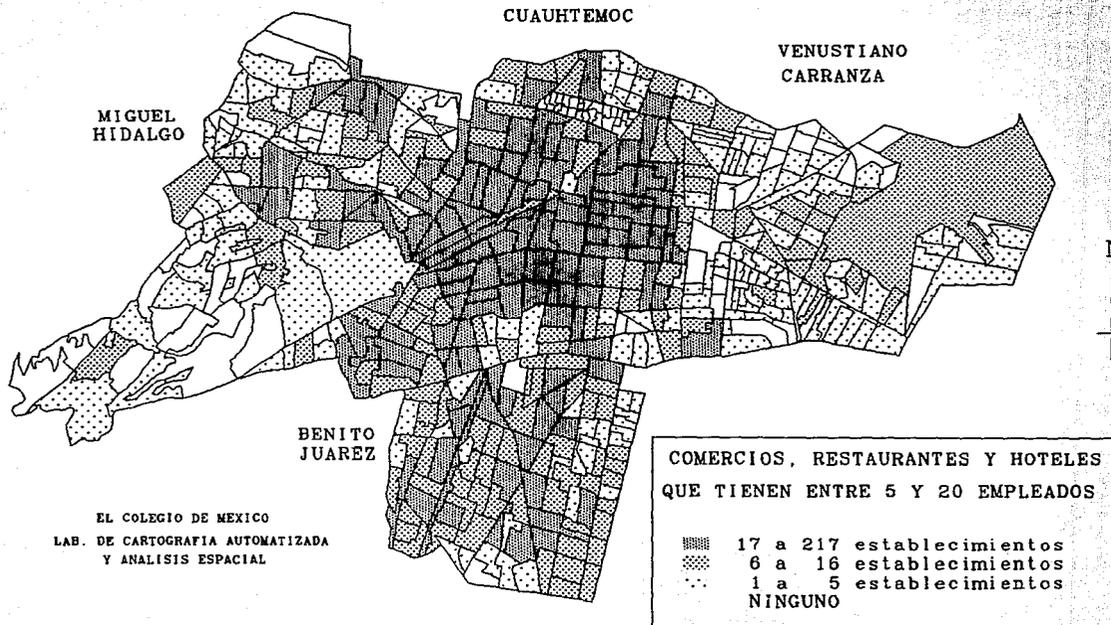
## NIVEL AREA GEOESTADISTICA BASICA URBANA



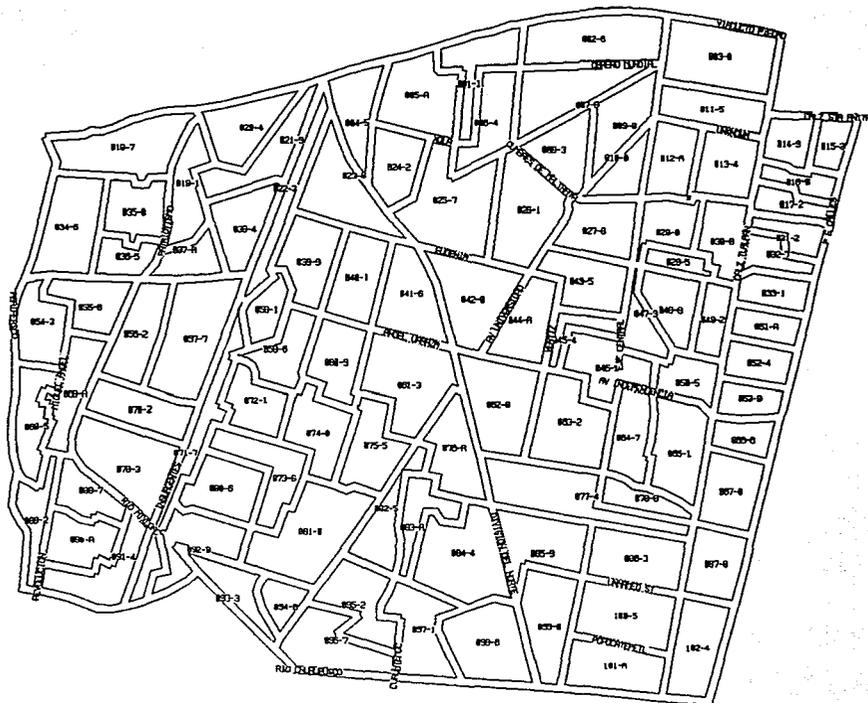
EL COLEGIO DE MEXICO

LAB. DE CARTOGRAFIA AUTOMATIZADA  
Y ANALISIS ESPACIAL

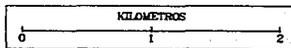
# DELEGACIONES CENTRALES



DELEGACION BENITO JUAREZ  
 PARTE DE LA ESTRUCTURA URBANA SOBRE  
 LAS AREAS GEOESTADISTICAS BASICAS



EL COLEGIO DE MEXICO  
 LAB. DE CARTOGRAFIA AUTOMATIZADA  
 Y ANALISIS ESPACIAL





## CONCLUSIONES

Cada una de las partes de este trabajo se realizó con dos finalidades principales: primera, que el lector se familiarice con los aspectos principales que intervienen en un Sistema de Información Geográfica y presentarle un ejemplo de la integración de un SIG con propósitos definidos, y segunda, quizá de mayor importancia y a la cual sólo le dedicaré las páginas siguientes, me refiero a lo que se conoce como "Diseño Conceptual" que es la herramienta metodológica principal para garantizar alguna probabilidad de éxito en la integración y operación de un SIG.

En México trabajamos sobre la marcha, es decir, para resolver un problema, inmediatamente se empieza a trabajar en la "solución", se compra software y hardware y se contrata al personal, sólo para que tres meses o tres años después nos demos cuenta que pasamos por alto muchas consideraciones de vital importancia, quizá con consecuencias funestas para el proyecto y/o sus autores, no los políticos sino los técnicos.

En ese momento, ahí mismo ponemos un parche y continuamos hasta concluir, no importandonos si el sistema satisface la misión encomendada por la empresa, la escuela, el gobierno, la Nación, siempre y cuando "funcione", y nuestro jefe tenga algo que mostrar a su superior.

Cuando se ha hecho esto con Sistemas de Información Geográfica, los resultados son catastróficos en el mejor de los casos, usualmente no hay resultados. Frecuentemente sucede que (a instancias del proveedor) compran el software y el equipo más baratos y después se dan cuenta que su aplicación requiere software más especializado y equipo más poderoso, lo que provoca que la aplicación se quede corta con respecto a las necesidades. Al no tener claros los objetivos y las necesidades del sistema, se integra el sistema para darse cuenta que están sobrados en algunas cosas y que les faltan otras, teniendo al mismo tiempo desperdicios y carencias y sobre todo, las metas se pierden.

## Metodología de Implementación.

Una forma meditada de hacer la implementación del sistema, minimizar los riesgos y costos y concervar la dirección y la marcha en armonía con las circunstancias y los recursos disponibles se hace siguiendo una serie de pasos lógicos, relacionados entre sí, que deben definirse de acuerdo al proyecto, sus estrategias y prioridades y al entorno en el cual se desenvuelve.

El primer paso consiste en hacer un Diseño Conceptual del Sistema. En el Diseño Conceptual se deben asentar claramente los objetivos del proyecto, las metas y las tareas generales y específicos. Se debe definir y describir un modelo geográfico con los eventos, rasgos, fenómenos que se van a representar. Se deben definir los mecanismos y fuentes para la adquisición de datos así como los mecanismos, extensión y limitaciones de la incorporación física, las consultas, la manipulación y las salidas del sistema. Todo lo anterior se integrará en un documento de trabajo, en blanco y negro, con fechas y firmas.

Este documento intitulado "DISEÑO CONCEPTUAL" es sólo la manifestación tangible del proceso que realmente es el Diseño Conceptual, que como tal, no es estático ni pasivo sino dinámico y cambiante, por tanto, este documento debe generarse y modificarse hasta lograr una versión definitiva. Cada versión debe ser el documento normativo del proyecto hasta que una nueva versión la remplace.

Los tareas que deben incluirse en el Diseño Conceptual son:

- Análisis de requerimientos de los usuarios.
- Análisis de factibilidad.
- Plan de implementación.
- Diseño del sistema.
- Diseño de la base de datos.
- Adquisición de la plataforma tecnológica.
- Adquisición de la base de datos.

- Organización, personal, entrenamiento.
- Elaboración de manuales. (Procedimientos, Operación,...).
- Preparación del sitio
- Instalación física del sistema.
- Proyecto piloto.
- Conversión de datos de las distintas fuentes a formatos normalizados.
- Desarrollo de aplicaciones.
- Conversión a operaciones automatizadas.
- Supervisión y revisión del sistema. (Auditorías.)
- Expansión del sistema.

Las actividades arriba listadas se antoja se realizaran en el orden en el que aparecen. Sin embargo, las condiciones en nuestro país usualmente no lo permiten. La Dra. Carmen Reyes ha sugerido una metodología que incluye los puntos arriba mencionados pero sin las restricciones que impone su secuenciación. En la metodología de la Dra. Reyes se establecen prioridades y opciones de desarrollo paralelo. Esto requiere del auxilio de un asesor experimentado en fuerte interacción con los responsables, los usuarios y los proveedores del sistema. En palabras de la Dra. Reyes "Las áreas florecientes como los SIG, donde distintas disciplinas convergen con un propósito específico, requieren mentes abiertas, capaces de aprender y de aplicar el conocimiento de múltiples ciencias. Los estudiosos y los expertos en SIG tienen que manejar en un nivel conceptual la geografía, las ciencias de la computación y de la información y la topografía entre muchas otras".

En estos sistemas se tienen que definir claramente y tan anticipadamente como sea posible, todos los componentes del sistema, incluyendo la adquisición de datos, los formatos y los estándares; si tenemos que hacer un proceso previo para introducirlos al sistema, la introducción de datos, la cantidad de datos cartográficos y de atributos se van a manejar, las

relaciones que van a existir entre los datos, qué tipos de análisis se requieren, cuál es el mejor formato para estos análisis, cómo y de qué tipo van a ser las salidas; un análisis para determinar qué software y hardware se adaptan mejor a sus necesidades, etc, etc. Si se omite alguna o algunas de estas consideraciones, la integración del sistema se encontrará en serios problemas.

Habrà quien piense que puede ahorrarse el diseño conceptual si copia la solución que le dieron en otro país a un problema similar, sin pensar que no hay dos problemas iguales, que se van a encontrar con problemas de escala y un mundo de circunstancias distintas; estos sistemas por lo general tampoco llegan a ser sistemas completos. Debemos aprender de la experiencia ajena y adecuarla a nuestra circunstancia, pero no es válido copiarla.

El Sistema de Información para la Planeación (SIP), descrito anteriormente, es un ejemplo de un sistema con un buen diseño conceptual que le ha permitido crecer, absorber cambios de personal, ligarse a otros sistemas y cambiar de plataformas tecnológicas satisfaciendo desde su liberación las expectativas y necesidades de los usuarios, los cuales van en aumento. Existe en cada una de las delegaciones estatales de SEP y se migró a CONASUPO con otros fines y se replicó en Costa Rica. El SIU está siendo migrado a otras plataformas como ARC/INFO y SPANS y a otras instituciones como el Instituto de Geografía de la UNAM y el Centro Científico IBM, además se está adecuando a otros usos.

Espero que este trabajo a quien lo lea, le despierte interés; a quien lo consulte, le oriente y a quien lo estudie, le mueva a contribuir con su propio esfuerzo.

## GLOSARIO

## A

- ABC** Altas Bajas y Cambios en una base de datos. Transacciones.
- ACCESO** La manera en la cual los archivos o conjuntos de datos son referenciados por la computadora.
- ADMINISTRACION DE LOS DATOS** La función de controlar la adquisición, análisis, almacenamiento, recuperación y distribución de los datos.
- ADMINISTRADOR DE LA BASE DE DATOS** 1. Persona o grupo de personas responsable de la definición, protección y eficiencia de la base de datos de una empresa, al ser colocada en una computadora. 2. (SISTEMA) Un sistema que permite que múltiples usuarios independientes, tengan acceso concurrente a la información.
- AGEB (Area Geo-Estadística Básica)** División geográfica mínima empleada con fines estadísticos y censales por el INEGI.
- ALGEBRA BOOLEANA** Las operaciones de unión, intersección y complemento sobre conjuntos.
- ALGEBRA DE MAPAS** Conjunto de operaciones definidas sobre conjuntos de datos espaciales para el análisis y síntesis de la información espacial.
- ALGORITMO** 1. Un conjunto de reglas bien definidas para la solución de un problema en un número finito de pasos.
- ALMACENAMIENTO** Espacio físico. La acción de colocar datos en algún dispositivo.
- ALMACENAMIENTO PRINCIPAL** Almacenamiento direccionable por un programa desde el cual las instrucciones y otros datos pueden ser cargados directamente en los registros para su subsecuente ejecución o procesamiento.
- ALTIMETRIA** La representación y medición de las elevaciones.
- ALTITUD** Elevación, altura .
- ALTURA GEOMETRICA** La altura medida respecto al elipsoide de referencia.
- ALTURA ORTOMETRICA** La altura medida con respecto al nivel medio del mar (precisamente respecto al geoide) Es invariante ante transformaciones del datum.
- AM/FM** (Automated Mapping/Facilities Management) Mapeo Automatizado/ Administración de Servicios Municipales

**ANALISIS DE REQUERIMIENTOS** Estudio de las necesidades de los usuarios requerido para el diseño del sistema.

**ANALISIS DE VECINDADES** 1. Agrupamiento de áreas contiguas con un algoritmo sobre los atributos de las áreas 2. Análisis realizado para establecer los vecinos de orden n de cada área.

**ANALISIS ESTRUCTURADO** Conjunto de herramientas que permiten descomponer modularmente una situación, dando como resultado una identificación clara de los elementos que la integran, así como el medio ambiente que la rodea. El resultado del análisis será una especificación gráfica y documental.

**ANOTACION** Información textual usada para describir un objeto o para proporcionar información adicional (ver ETIQUETA).

**ARCHIVO DE DATOS** Una colección de registros de datos relacionados, organizados de una manera específica.

**ARCO** 1. Curva definida por una ecuación analítica. 2. Sinónimo de cadena.

**AREA** 1. Parte de una superficie. 2. Medida de su tamaño en unidades de distancia al cuadrado.

**AREA ABIERTA** El primer punto y el último de la poligonal envolvente no son el mismo o alguno de los nodos tiene valencia impar.

**AREA COMPLEJA** Polígono con una o más "islas".

**ARREGLO** Estructura de datos en la que a cada elemento se le asigna un índice único. Su representación matemática es una matriz.

**ASCII** (American Standard Code for Information Interchange) código para intercambio de información.

**ATRIBUTO** 1. Información descriptiva asociada a un rasgo geográfico. 2. Tipo de características y propiedades que las entidades pueden tener.

**AZIMUT o ACIMUT** Angulo entre la dirección norte y la dirección al objeto (girando como las manecillas del reloj)

## B

**BANDA** 1. Rango de longitudes de onda o frecuencias.

**BASE DE DATOS DISTRIBUIDA** Base de datos con partes localizadas en diferentes nodos de una red.

**BASE DE DATOS RELACIONAL 1.** Conjunto de relaciones cuya estructura se especifica en el esquema relacional. **2.** Base de datos donde la información se arregla en tablas y sus dependencias se mapean como relaciones entre dos o más tablas.

**BATCH (PROCESAMIENTO EN )** Ejecución no interactiva de un programa, frecuentemente después de una espera en la cola de trabajos.

**BAUD** Usualmente el número de bits transmitidos por segundo.

**BENCHMARK** Prueba para la evaluación del desempeño de hardware o software. Prueba realizada para evaluar la funcionalidad de sistemas de cómputo, programas o dispositivos.

**BLOCK** Grupo de registros tratados como una unidad.

**BOOT (UP)** Inicialización o arranque de una computadora.

**BOUNDARY** Frontera o límite.

**BPI (Bytes Per Inch Bytes por pulgada)** Unidad empleada para describir la densidad de información en cintas magnéticas.

**BROWSING** Función que permite hojear, echar un vistazo a la información.

**BUFFER** Una área de almacenamiento temporal reservada para uso en las operaciones de entrada-salida, dentro de la cual los datos son leídos, o dentro de la cual los datos son escritos. **2.** Memoria para almacenar temporalmente la información transferida de un dispositivo a otro. **3.** Área o polígono que rodea un punto, línea o área.

**BUG (Bicho, insecto)** Error en un sistema o programa.

**BYTE** Grupo de dígitos binarios tratados como una unidad. En las computadoras actuales un byte tiene usualmente 8, 16 o 32 bits.

### C

**CACHE** Dispositivo a área de memoria en RAM de alta velocidad.

**CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)** Diseño.../ Manufactura auxiliados por computadora.

**CADENA** Polígono abierto empleado para representar o generalizar curvas. Se forman con nodos o vértices y los segmentos que los unen.

**CALIBRACION** Proceso de comparar las mediciones de un instrumento con los de un patrón o estándar.

**CANEVA** La red de meridianos y paralelos en un mapa

**CAPA** 1. Subconjunto de la información espacial que trata de un tópico o tema. 2. Función del sistema de cómputo gráfico que permite representar distintas clases de atributos pudiendo sobreponer o remover cada clase como si se dibujara en hojas transparentes.

**CARACTER** Cualquiera de las letras, dígitos, signos de puntuación y matemáticos y otros símbolos.

**CARACTER DE CONTROL** Caracteres no gráficos que se emplean en la computadora tales como escape, control o "carriage return" (avanza línea).

**CARACTERISTICAS CULTURALES** Rasgos que representan las obras hechas por el hombre.

**CARTA** 1. Usualmente un mapa usado para navegación aérea o marina. 2. Mapa.

**CARTOGRAFIA** Ciencia y arte de hacer mapas y cartas.

**CARTOGRAFIA BASE** Colección de mapas y cartas empleadas como fuentes.

**CATASTRO** Registro público o levantamiento que define los límites de la propiedad.

**CD-ROM** (Compact Disk-Read Only Memory) Disco (óptico) compacto, memoria para lectura únicamente.

**CENIT** Punto donde la vertical toca la esfera celeste, Exactamente arriba.

**CENTROIDE** 1. Centro geométrico de un polígono. 2. Punto en un polígono al cual se le asocia la información del polígono

**CINTA MAGNETICA** Medio para el almacenamiento masivo de datos.

**CLASIFICACION** Un método de generalización consistente en agrupar los rasgos geográficos en clases o categorías de acuerdo a ciertas características comunes reduciendo su número o variedad, simplificando por tanto el mapa.

**COBERTURA** La extensión de la superficie terrestre representada en un mapa o imagen.

**COBERTURA DE DATOS** La completez de los datos disponibles con respecto al tema y área escogidos.

- COGO (COordinate GeOMetry)** Geometría por coordenadas
- COMPACTAR** Operación de organizar los datos para reducir el tamaño de un archivo.
- COMPILACION** La traducción de un programa de un lenguaje de alto nivel (de programación) a instrucciones para la máquina (lenguaje máquina).
- COMPRESION** Compactar.
- CONTORNO (LINEA DE )** Curva de nivel.
- COORDENADAS** Los  $n$  valores que determinan la posición de un punto en un espacio  $n$  dimensional; El valor de las componentes de un vector.
- COORDENADAS GEOCENTRICAS** Un sistema cartesiano derecho con origen en el centro del elipsoide seleccionado, en el que el plano XY coincide con el plano del ecuador, el eje X apunta al meridiano de Greenwich; el eje Z coincide con el eje de rotación del elipsoide. Se emplean frecuentemente en los GPS.
- COORDENADAS GEODESICAS (ELIPSOIDALES)** Descripción de un punto en el espacio tridimensional por medio de la longitud y latitud geodésicas y la altura geométrica, todas referidas a un elipsoide de referencia
- COORDENADAS GEOGRAFICAS** Un sistema de coordenadas curvas definido sobre el elipsoide de referencia. Se expresan como Longitud (lon), Latitud (lat) y Altura (h) donde la lon y la lat son medidas angulares desde el meridiano origen y el ecuador respectivamente; h es la altura sobre el elipsoide de referencia
- COORDENADAS POLARES** Sistema de coordenadas bidimensional en el que la posición se define por la distancia a un punto (polo) el angulo a una línea de referencia.
- COPIA DE RESPALDO** Una copia de un archivo o de un conjunto de datos que se guarda para utilizarla en caso de que el archivo o conjunto de datos original sea destruido o degenerado.
- CORRECCION GEOMETRICA** Corregir las deformaciones y distorsiones de una imagen digital.
- CPU (Central Processing Unit)** La componente central de la computadora donde se realizan las funciones lógicas y aritméticas básicas
- CROSS HAIR** Retículo.
- CROSS HATCH** Sombrear un área con líneas paralelas.

CROSS SECTION Sección o perfil.

CURSOR Marca visible en pantalla que señala el lugar de la siguiente operación.

CURVE FITTING Ajuste de curva.

#### D

DATUM Elipsoide de referencia y su posición respecto a la Tierra. Usualmente se incluye el punto de origen, la orientación así como el radio y la eccentricidad del elipsoide.

DBMS (Data Base Management System) Sistema Manejador de Base de Datos

DEBUG Proceso de remoción de errores en el software o en los datos.

DESCOMPACTAR Operación de regresar a su forma original un archivo compactado.

DESCOMPRESION Descompactar.

DIAGRAMA DE CONFIABILIDAD Mapa esquemático marginal donde se muestra por áreas la precisión de cada una de las fuentes empleadas para compilar el mapa.

DICCIONARIO DE DATOS Catálogo de información sobre los datos y las relaciones contenidos en una base de datos

DIGITALIZADORA (TABLETA., MESA..) Dispositivo que permite digitalizar manualmente. Consiste de una superficie plana y un retículo con teclas o botones.

DIGITALIZAR 1. Convertir a formato digital la información analógica de un mapa, fotografía o dibujo ya sea automáticamente mediante un scanner o manualmente usando una digitalizadora.

DISCO OPTICO Disco sobre el cual se graba y lee la información por medio de luz coherente (laser) (ver CD-ROM).

DTM (Digital Terrain Model) Modelo Digital de Terreno.

#### E

EDGE MATCH Proceso para unir y dar continuidad a los rasgos lineales en dos mapas contiguos.

EDITOR 1. Programa que permite insertar o modificar la información en un archivo permanente de la computadora. 2. Utilería para editar o procesar textos.

**ELEVACION** Distancia vertical medida desde una superficie de referencia (nivel medio del mar). Cota vertical.

**ELIPSOIDE** 1. Modelo matemático de la Tierra empleado para los cálculos geodésicos. 2. Superficie generada al hacer girar una elipse sobre uno de sus ejes. Ya que la forma de la Tierra es distinta de un área geográfica a otra, para obtener el mejor ajuste, se usan distintos elipsoides para describir áreas particulares.

**EMULADOR** Programa que permite a un dispositivo realizar una función propia de otro.

**EN LINEA** Se dice (del estado) de un dispositivo cuando está bajo el control de la computadora.

**ENTIDAD** 1. Rasgo geográfico. 2. Entidad federativa, estado de la República. 3. Un objeto y sus atributos en la base de datos. 4. Algo sobre lo que se necesita guardar información. 4. Teoría Entidad Relación: Propone que cada entidad o grupo de entidades estará relacionada con otra (incluyendo a sí misma), por una acción o verbo, y que cada entidad será descrita por una serie de atributos o dominios propios. El objetivo es crear una descripción de la semántica de los datos que reflejen a la empresa y sus requerimientos de información de la manera más apropiada.

**ERROR ALEATORIO** También llamado observacional, son los errores producto de las limitaciones del instrumento, del redondeo de cifras, etc. Son los errores inevitables.

**ERROR SISTEMATICO** Errores causados por las operaciones imperfectas, las conversiones de unidades, los errores de paralaje al medir con una regla, etc. Son en buena medida errores evitables.

**ESCALA** Razón entre la distancia medida en un mapa, fotografía o imagen y la distancia correspondiente en el terreno.

**ESCALA NOMINAL** Es la escala en las áreas del mapa donde no hay distorsión. Es la escala anotada en la leyenda.

**ESCALA REAL EN UN PUNTO** La escala del mapa en el punto A en dirección a B, es la razón entre la distancia AB en el mapa y la distancia AB en el elipsoide adoptado cuando B se acerca a A. La escala real del mapa puede calcularse como el producto del factor de escala por la escala nominal del mapa.

**ESCALA DE GRISES** Ordenamiento de los tonos de gris entre el blanco y el negro.

**ESCALA GRAFICA** Línea graduada en un mapa o plano empleada para relacionar las distancias en este con las distancias en el terreno.

**ESCALAR** 1. Aumentar o reducir las dimensiones de un objeto sin modificar sus proporciones. 2. Magnitud no vectorial.

**ESPAGUETI** 1. Error que se produce al emplear un radio grande en la función "snap". 2. Método para cerrar polígonos así nombrado por su efecto devastador cuando el radio especificado es grande. Bien empleado limpia el archivo.

**ESTEREOSCOPIO** Aparato que produce el efecto de profundidad (tres dimensiones) al observar con el dos fotografías del mismo objeto (estereo par) tomadas desde puntos ligeramente separados.

**ESTRUCTURA** Un término genérico el cual se refiere a la agregación de unidades de datos, sus formatos, y sus relaciones. Un modelo o arreglo entre los elementos de un conjunto tal que algunos elementos son unidos, explícita o implícitamente, a otros.

**ESTRUCTURA DE DATOS (DATA STRUCTURE)** La organización de los datos en la computadora.

**ETHERNET** Red de computadoras en la que se emplea cable coaxial, par de hilos o fibra óptica.

**ETIQUETA** 1. Nombre o descripción textual del objeto geográfico representado en el mapa. 2. Identificador del objeto.

**EXPORTAR** Proceso de transferir información de un sistema o plataforma a otro.

## F

**FACTOR DE ESCALA** La razón entre la escala a lo largo de un meridiano (paralelo) en un punto dado y la escala en un punto estándar o a lo largo de una línea estándar con escala real. El factor de escala es "h" para los meridianos y "k" para los paralelos. Reflejan la distorsión en el punto dado. El factor de escala "s" es la distorsión en el área alrededor del punto dado. Las ecuaciones de los factores de escala son parte de la definición de la proyección.

**FEATURE** Rasgo.

**FIDUCIAL (MARCA)** Marca en los límites de las fotografías aéreas hechas en el momento de la exposición por la cámara que sirven para encontrar el punto central de la fotografía.

**FIRMA ESPECTRAL** Registro de la distribución espectral y de las intensidades correspondientes de la energía reflejada o emitida por un objeto o clase de objetos por medio de las cuales se puede hacer una identificación.

**FONT** Fuente (tipográfica).

**FORMATO DE TRANSFERENCIA** Formato empleado para exportar o importar datos.

**FOTOGRAFIA AEREA** Usualmente fotografía de formato grande tomada desde un avión con cámaras especiales que registran en las margenes las marcas fiduciales, fecha y hora, y otras características que permiten la identificación de la foto y las circunstancias en las que se tomó.

**FOTOGRAMETRIA** Arte y ciencia de hacer mediciones del terreno confiables usando fotografías.

**FRACTAL** Objetos geométricos complejos cuyas partes son parecidas al todo.

**FREQUENCY DIAGRAM** Histograma.

**FUENTE** Conjunto de caracteres de impresión con un cierto (tamaño y) estilo característico.

**FUZZY** Borroso, difuso. Que no está perfectamente definido o limitado.

## G

**GENERALIZACION** 1. Proceso de simplificar el contenido temático o geométrico de un mapa. 2. Inferir a partir de una solución particular.

**GEOCODIFICAR** Asignar una ubicación geográfica a los objetos.

**GOEIDE** La superficie equipotencial gravitacional de la Tierra que mejor se ajusta al nivel medio del mar.

**GEODESICA** Distancia más corta entre dos puntos sobre la superficie del elipsoide. En una esfera, una geodésica coincide con un círculo máximo.

**GEOPROCESAMIENTO** Manipulación y análisis de la información con referencia geográfica.

**GEORREFERENCIA** Las coordenadas de un punto que permiten su ubicación sobre la Tierra.

**GIS** (Geographic Information System) Sistema de Información Geográfica.

GPS (Global Positioning System) Un sistema que, mediante la utilización de una constelación de satélites, permite determinar la posición de cualquier punto sobre la tierra con gran precisión.

GRADICULA Canevá.  
 GRADIENTE El cambio de pendiente máximo.  
 GRATICULE Canevá.  
 GRID Red ortogonal, retícula.

## H

HALFTONE Medios tonos.  
 HARD COPY Copia en papel.  
 HARDWARE Componentes físicos y equipos periféricos de una computadora. ("los fierros"). Es toda componente física involucrada en el funcionamiento de equipo informático.  
 HEURISTICO Basado en la experiencia.  
 HEXADECIMAL Numeración con base 16.  
 HIPSOMETRIA Altimetría.  
 HISTOGRAMA Un diagrama de frecuencias.  
 HOLE (Agujero, hoyo) sinónimo de isla  
 HUE Tonalidad del color

## I

I/O (Input / Output) Entrada / Salida  
 IMAGE Imagen.  
 IMAGEN DIGITAL Un registro codificado digitalmente de la intensidad de la reflectancia o la radiación de un objeto o área. Cada elemento de la imagen digital tiene un valor de intensidad único para cada una de las bandas del espectro electromagnético empleadas.

**IMPORTACION** Proceso de cargar a un sistema, información proveniente de otro.

**INFORMACION** Es un conjunto de datos que al relacionarse adquieren sentido o un valor de contexto o de cambio.

**INGENIERIA DE INFORMACION** Es un conjunto de técnicas formales con las cuales son construidos modelos organizacionales, modelos de datos y modelos de procesos en una base comprensiva de conocimientos y son usados para crear y mantener sistemas de procesamiento de datos.

**INK JET PRINTER** Impresora de chorro de tinta.

**INPUT** Entrada 1. Proceso de incorporar información.  
2. Los datos que van a incorporarse al sistema.

**INSET MAP** Pequeño mapa de referencia dibujado en el área marginal en un mapa.

**INTEGRIDAD DE LOS DATOS** Concepto de que todas las unidades de datos deben ser protegidas contra invalidación accidental o deliberada.

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL (AI)** Ciencia que trata de la formalización de los procesos cognoscitivos.

**INTERACTIVO** Modo o procesamiento en el que se establece un diálogo entre el usuario y el sistema. Una aplicación para la cual cada llamada obliga a una respuesta del sistema o programa.

**INTERFASE** Una frontera compartida. Puede ser una componente de hardware o porción de almacenamiento accesada por dos o más programas de cómputo.

**INTERFASE CON EL USUARIO** El modo empleado para la interacción entre la máquina y el usuario. Los menues de comandos y el lenguaje de comandos son las más usuales.

**INTERPOLACION** Estimar el valor de una función dentro del dominio de la muestra.

**INTERSECCION** Conjunto que contiene los elementos comunes a los conjuntos. Punto donde se cruzan dos líneas.

**ISLA** Polígono dentro de otro, agujero (island, hole).

**ITEM (Párrafo)** Objeto, elemento de una base de datos.

## J

**JOYSTICK** Dispositivo en forma de palanca con dos grados de libertad.

## K

**KEY (Llave)** En bases de datos, el campo usado para tener acceso a la información.

**KEYWORD** (Palabra reservada).

## L

**LABEL** Etiqueta.

**LANDSAT** Satélite artificial (EEUU) que recoge, registra y transmite imágenes digitales de la Tierra. Tiene un sistema de escaneo multiespectral (MSS) de cuatro bandas (0.5-0.6, 0.6-0.7, 0.7-0.8 y 0.8-1.1 micras) con una resolución nominal de 80 m. Cuenta con el mapeador temático (thematic mapper) con una resolución de 30 m y siete canales: 1: 0.45-0.52, 2: 0.52-0.60, 3: 0.63-0.69, 4: 0.76-0.90, 5: 1.55-1.75, 6: 10.4-12.5, 7: 2.08-2.46 (micras).

**LATITUD** Posición norte-sur medida como el ángulo entre (la normal a) el punto y el plano del ecuador.

**LEVEL** (Nivel, capa.)

**LEYENDA** Explicación de los símbolos, códigos y otros datos en las margenes derecha o inferior de un mapa, incluyendo fecha, datum, fuente, precisión y escala.

**LINAGE** (Linaje) Información sobre la fuente de los datos, su origen.

**LINE WEIGHT** (Ancho de línea.)

**LINEA** Objeto geométrico representado por una sucesión de puntos.

**LINK (Eslabón)** en una cadena. Segmento entre dos nodos sucesivos.

**LONGITUD** Posición este-oeste. Se define como el ángulo entre el plano del meridiano local y el plano del meridiano de referencia.

**LOXODROMA** Rumbo, línea que corta todos los meridianos al mismo ángulo.

## M

**MACRO** Una instrucción que reemplaza a un conjunto de instrucciones del mismo lenguaje.

**MANEJADOR DE BASE DE DATOS** Interfase con el usuario en el software de la base de datos.

**MAPA** Una representación de los rasgos y características naturales o artificiales de una superficie.

**MAPA ANALOGICO** Mapa en papel u otro material similar.

**MAPA BASE** Mapa de referencia sobre el que se ubica la nueva información geográfica.

**MAPA BATIMETRICO** Mapa en el que se representa la profundidad de los cuerpos de agua.

**MAPA CATASTRAL** Mapa que muestra los límites o subdivisiones de la tierra con fines legales o hacendarios.

**MAPA DE COROPLETAS** Mapa que refleja el valor de la característica mapeada con símbolos de área; Usualmente representa el fenómeno como clases o categorías asociadas al color del área.

**MAPA DE ISOPLETAS** Representa por medio de líneas, cantidades que no pueden asociarse a un punto tal como densidad de población.

**MAPA DERIVADO** Mapa creado a través de la depuración o la combinación o el análisis de la información de otros mapas.

**MAPA DIGITAL** Mapa en memoria.

**MAPA INDICE** Mapa de referencia que representa el entorno del área mapeada e identifica los mapas componentes o los mapas adyacentes.

**MAPA TEMATICO** Mapa que ilustra las características de clase de una variable espacial en particular.

**MAPA VIRTUAL** Mapa en pantalla.

**MASS STORAGE** Almacenamiento masivo de información o datos.

**MATRIZ** Arreglo rectangular de números en renglones y columnas

**MEDIOS TONOS** Técnica para representar una imagen continua por medio de líneas o puntos discretos.

**MENU** Interfase en la que la computadora despliega en pantalla las opciones para que el usuario seleccione alguna usando el ratón o tecleando un caracter.

**MERIDIANO** Círculo máximo perpendicular al plano del ecuador.

**MIPS (Million Instructions Per Second)** Medida de rapidez de una computadora; es el número de operaciones que puede ejecutar en un segundo.

**MODELAJE DE DATOS** Pretende obtener una visión coherente de la información que mantiene la empresa, de una manera independiente a las transformaciones que sufra por su empleo en las diversas actividades de la empresa. Esta visión deberá identificar los diferentes tipos de entidades, atributos y sus relaciones, de manera tal que la información se encuentre normalizada.

**MODELO** 1. Representación de un conjunto de objetos y sus relaciones. 2. Descripción de la realidad, en particular si nos permite hacer pronósticos o predicciones. 3. Emulación, representación en minatura;

**MODEM (Modulator-DEModulator)** Aparato que nos permite enviar y recibir señales digitales sobre una línea de transmisión analógica (teléfono).

**MODO PUNTUAL** Digitalización en la que el operador incorpora explícitamente cada uno de los puntos.

**MONITOR** La pantalla (CRT, tubo de rayos catódicos) de la computadora.

**MONOCROMATICO** Monitor en blanco y negro (verde o ámbar).

**MONUMENTO** Marca en el terreno con ubicación precisa, frecuentemente una mojenera.

**MORFOMETRIA** Caracterización cuantitativa de las formas del terreno.

**MOS (Marine Observation Satellite)** Satélites de observación marina del Japón (1987 y 1990)

**MOUSE** Ratón, dispositivo manual conectado a la computadora que mueve un cursor sobre la pantalla.

**MTBF (Mean Time Between Failure)** Tiempo promedio entre fallas.

**MULTIESPECTRAL** Que contiene o emplea dos o más bandas espectrales.

**MULTIPROGRAMACION** Un modo de operación en el cual la ejecución de dos o más programas de cómputo es realizada por un sólo procesador, de manera intercalada.

**MYLAR** Papel plástico para dibujo, "estabilene".

## N

**NAD** (North American Datum) Datum Norteamericano (Es el que se usa en México).

**NADIR** 1. Punto en el terreno donde lo toca la vertical desde la cámara. 2. Punto en la boveda celeste donde apunta la vertical bajo nuestros pies. (Opuesto al cenit).

**NEGATIVO** Imagen, película o papel donde los oscuros aparecen claros y viceversa (y los colores como sus complementarios).

**NEIGHBOURHOOD ANALYSIS** Análisis de vecindad.

**NETWORK** Red.

**NETWORK ANALYSIS** Análisis de redes.

**NIBBLE** Grupo de bits menor que un byte (2,4 bits con bytes de 8).

**NIVEL** Capa.

**NODE** Nodo.

**NORMALIZACION** Proceso de reducción sobre una estructura de datos que procura aumentar la integridad, disminuir la redundancia y las dependencias funcionales de esa estructura.

## O

**OBJETO** 1. En base de datos, fenómeno caracterizado por un conjunto de atributos; 2. En cartografía, la representación digital de una entidad o rasgo.

**OBJETO SIMPLE** Objeto que no puede subdividirse en objetos más sencillos.

**OFF LINE** Fuera de línea.

**ON LINE** En línea.

**ONDULACION DEL GEOIDE** La distancia entre el nivel medio del mar y el elipsoide de referencia.

**OOP** Programación Orientada a Objetos.

**OOP** Lenguaje de Programación Orientada a Objetos.

**OPTICAL DISK** Disco óptico, laser.

**ORTOFOTOGRAFIA** Fotografía aérea o mosaico en la que se han quitado las distorsiones producidas por la inclinación y el relieve del terreno .

**OVERLAP** Area común a dos mapas adyacentes.

**OVERLAY** Sobreposición, empalme, sobreposición de dos o más mapas.

## P

**PAISAJE** El conjunto formado por el área geográfica y el punto de vista del observador o usuario dentro del cual se ubica el fenómeno observado y el mapa producto.

**PAN** La capacidad del sistema de desplegar distintas partes de la imagen sin cambiar la escala.

**PARALELO** Línea de intersección de la superficie de la Tierra con un plano paralelo al ecuador.

**PARALELO ESTANDAR** Un paralelo proyectado sin distorsión de escala. Paralelo(s) donde la Tierra corta la superficie de proyección.

**PARTICION** La fragmentación de la información o de la memoria en partes manejables. Una de estas partes.

**PASSWORD** Una cadena de caracteres que un programa, operador de computadora o usuario debe proporcionar para satisfacer requisitos de seguridad con objeto de tener acceso a la información.

**PATTERN** 1. Patrón o forma. 2. Diseño gráfico que se emplea para rellenar áreas.

**PATTERN RECOGNITION** Reconocimiento de patrones, formas.

**PAUSE** Pausa.

**PEAK** Cima de una elevación. Pico.

- PENDIENTE** 1. Razón de cambio de una variable. 2. Inclinación del terreno.
- PERCEPCION REMOTA** Adquisición de información sobre las propiedades de un objeto empleando instrumentos que no están en contacto directo con el objeto estudiado; Usualmente cuando el instrumento está a bordo de un avión o un satélite.
- PIT** Cañada, hondonada, la parte baja del valle; Donde se acumula o corre el agua.
- PIXEL (Picture Element)** El elemento más pequeño, indivisible, de un gráfico.
- PLANIMETRIA** La representación de la posición horizontal.
- PLOTTER** Graficadora.
- POLIGONAL** Representación de rasgos lineales por una cadena de segmentos rectos.
- PRECISION** 1. Medida de la habilidad para distinguir entre dos valores casi iguales. 2. Número de cifras significativas con las que se expresa una cantidad.
- PROCESAMIENTO DE DATOS** Las operaciones realizadas en los datos por la computadora.
- PROFILE** Perfil, corte transversal.
- PROGRAMA DE APLICACION** Un programa escrito por o para un usuario que se utiliza para resolver un problema específico.
- PROYECCION** Transformación matemática que nos permite representar una superficie no plana en un plano.
- PUCK** Ratón de la mesa digitalizadora, retículo.
- PUNTO** Objeto de área nula representado por sus coordenadas.
- PUNTO DATO** Punto incorporado al sistema por el usuario con el ratón, digitalizándolo o tecleando sus coordenadas.
- PUNTO DE CONTROL** Un punto cuya localización es conocida. Punto de ubicación en el terreno conocida que puede identificarse en la imagen o mapa y por tanto emplearse para hacer las transformaciones para la georreferenciación de la imagen o mapa.
- PUNTOS CARDINALES** Las cuatro direcciones principales: Norte (N), Sur (S), Este (E) y Oeste (O o W).

## Q

- Q-TREE o QUADTREE Estructura de datos jerárquica, en forma de árbol.
- QUERY (Inquirir). 1. Conjunto de condiciones o preguntas usadas para extraer información de la base de datos.
- QUEUE Fila, lista de espera, cola.

## R

- RANDOM ACCESS (Acceso aleatorio) Acceso directo.
- RASTER (Malla, cuadrícula) Imagen formada por los colores o tonos de gris de una cuadrícula, en particular los píxeles del monitor.
- RAVINE Cañada estrecha.
- RECONOCIMIENTO DE PATRONES Proceso de clasificación de objetos en clases discretas.
- RECORD Registro. Elemento de una tabla en una base de datos.
- RECTIFICACION Conjunto de técnicas empleadas para eliminar deformaciones o errores en aereofotografías, imágenes de satélite o mapas.
- RECURSIVO Proceso, función o rutina que se ejecuta repetidas veces hasta que se satisface una condición específica.
- RED En comunicaciones es el ensamble del equipo a través de conecciones hechas entre los equipos terminales. Malla.
- REFLECTANCIA Razón entre la radiación recibida y la reflejada por un objeto.
- REFRESH (Refrescar) Función que nos permite redibujar la pantalla gráfica después de hacer modificaciones.
- REGION Area continua con alguna característica uniforme. Polígono.
- REGISTRAR Proceso que nos permite alinear o sobreponer dos o más conjuntos de datos cartográficos o imágenes digitales.
- RELACIONES Conexión o asociación existente entre las entidades.
- RELIEF Relieve, elevaciones, curvas de nivel.

- REMOTE SENSING      Percepción remota
- RESOLUCION      Distancia mínima entre dos objetos que puede ser distinguida por un sensor.
- RETICULO      En el ocular de un instrumento el arreglo de dos hilos cruzados en el centro del campo visual. Ratón de la mesa digitalizadora.
- RGB (Red, Green, Blue)      Rojo, Verde y Azul      Monitor de color.
- RHUMB LINE      Rumbo.
- RIDGE      Sierra, cadena montañosa.
- RUBBER SHEET (Cubierta de hule)      Rectificación.
- RUMBO      Loxodroma.

## S

- SCANNER      Aparato que produce una imagen digital a partir de una imagen analógica.
- SCRATCH      En borrador, en sucio.      Area en memoria usada temporalmente.
- SEGMENTO      Elemento de línea entre dos nodos cualesquiera.
- SEMILOGIA GRAFICA      Arte y ciencia de los símbolos visuales, de hacer mapas legibles y bellos,
- SERVER      Servidor, estación en una red que provee servicios a los usuarios o terminales tales como proporcionar archivos o utilerías o hacer impresiones.
- SIMBOLO      Representación gráfica de una entidad geográfica. Hay tres clases de símbolos, puntos, líneas y áreas.
- SIMPLIFICACION      Generalización, reducir el número de rasgos o datos en un mapa.
- SIMULACION      Modelar el comportamiento dinámico de un sistema.
- SINTAXIS      Reglas que gobiernan la estructura de un lenguaje.
- SISTEMA      Es un conjunto de elementos o subsistemas interrelacionados entre si con un objetivo común.
- SISTEMA CARTESIANO      Usualmente, un sistema coordenado donde la posición de un punto se mide a lo largo de dos (tres) ejes X y Y (y Z) ortogonales.

- SISTEMA COORDENADO** Un sistema de referencia que permite la localización unívoca de un punto en un espacio.
- SISTEMA DEDICADO** Sistema de cómputo dedicado a una tarea exclusivamente.
- SISTEMA EXPERTO** Sistema de cómputo que refleja el conocimiento de varios expertos de manera estadística para la solución de problemas muy específicos de difícil solución.
- SISTEMA OPERATIVO** Software que controla la ejecución de programas de cómputo y que proporciona el control de entrada-salida, la administración de los datos, la asignación de áreas de almacenamiento y los servicios relacionados a la utilización de la computadora.
- SKREW** Distorsión, deformación. Error producido en la imagen por el movimiento de la Tierra y del satélite.
- SLIVER** Astilla, cuña; Error creado al sobreponer dos mapas que no registran exactamente.
- SLOPE** (Pendiente).
- SNAP** Función que permite unir en uno solo, dos nodos que se encuentran dentro de un radio predefinido; (ver espagueti).
- SOFTWARE** Programas, procedimientos y reglas para la ejecución de tareas específicas en un sistema de cómputo.
- SORT** Operación de ordenar un conjunto de objetos de acuerdo a una llave que determina la precedencia entre ellos.
- SPHEROID** Esferoide
- SPOT** (Satellite Probatoire pour l'Observation de la Terre). Satélite de percepción remota francés.
- SQL** (Standard Query Language). Lenguaje para acceder a una base de datos relacional.
- STRING** (Cuerda) Conjunto de caracteres tratados como una unidad.

## T

- TABLA** 1. Objeto constituido por registros en una base de datos relacional. 2. Relación.
- TABLA DE COLORES** Tabla que muestra los colores y el código empleado por el dispositivo para los mismos.

TAG (Etiqueta).

TESSELLATION División del espacio en polígonos, mosaico.

TICS Puntos de control. Puntos de ubicación conocida usados para definir la transformación de un sistema de referencia o proyección a otro.

TILE (Mosaico) Polígono simple.

TIN (Triangular Irregular Network) Estructura espacial de datos generada por la partición del espacio en triángulos ajenos.

TONO Grado de intensidad de los colores.

TOPOGRAFIA Arte y ciencia de representar las formas del terreno y los principales detalles naturales o artificiales del mismo.

TOPOLOGIA "Analysis Situs" Una abstracción de ciertas ideas geométricos tales como continuidad y cercanía.

TORSION Se dice cuando los ejes coordenados no son perfectamente ortogonales.

TRANSACCION Construcción, ABC y queries a una base de datos.

TRANSECT Perfil, corte transversal.

TRANSFORMACION Cambio de sistema de coordenadas.

TRANSFORMACION AFIN Un escalamiento seguido de una rotación, una traslación y una corrección de la torsión.

TRANSFORMACION DE DATUM Procedimiento computacional para convertir las coordenadas de un punto del sistema definido con un datum al sistema definido con otro.

TRANSFORMACION GEOMETRICA Georreferir una imagen digital.

TRANSFORMACION LINEAL Escalamiento, rotación, reflexión, traslación etc.

TRANSPARENCIA Calidad del software que le permite operar en distintas plataformas de hardware.

TREE Arbol, gráfica que tiene un vértice sin predecesor y todos los demas vértices tienen uno y solo un predecesor.

## U

**UNION** Operación de teoría de conjuntos. La unión es el conjunto que contiene todos los elementos de los conjuntos sobre los que se aplica.

**USER INTERFASE** Interfase con el usuario.

**USER REQUIREMENT ANALYSIS** Análisis de Requerimientos de los Usuarios.

**USUARIO** Cualquiera que requiere los servicios de un sistema de cómputo.

**UTM** Universal Transversa de Mercator (Proyección). La retícula UTM se extiende desde los 84 grados norte a los 80 grados sur. Se inicia en el meridiano 180, dividiéndose hacia el este en 60 zonas de 6 grados. Se emplea en mapas topográficos y en imágenes de satélite.

## V

**VALENCIA** Para un círculo que envuelva únicamente un nodo, la valencia del nodo es el número de segmentos que cortan el círculo

**VALENCY** Valencia

**VECTOR** 1. Cantidad con magnitud y dirección. 2. Dos o más valores coordenados (x, y, z). 3. Formato (x, y, z) en oposición al formato raster.

**VECTORIZATION** Conversión de datos raster o analógicos a formato vector.

**VENTANA** 1. Porción rectangular de un mapa o pantalla seleccionada para despliegue o control en una sesión interactiva. 2. Banda del espectro electromagnético para la que un medio es muy transparente.

**VERTICES** Nodos, en particular los puntos intermedios en una poligonal.

**VISION SEUDOSCOPICA** Inversión del efecto estereoscópico donde se ven los valles como montañas y viceversa.

## W

WINDOW (Ventana)

WORKSTATION (Estación de trabajo)

WORM (Write Once, Read Many) (Escribase una vez, léase muchas) Disco óptico de almacenamiento permanente de datos.

## Z

ZENITH Cenit

ZOOM Función que permite el despliegue de áreas progresivamente más grandes (o pequeñas) de una imagen.

## BIBLIOGRAFIA

- Antenucci, John C.; Brown, Kay; Crowell, Peter L.; Kevany Michel J. & Archer Hugh.  
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, A GUIDE TO THE TECHNOLOGY  
Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- Aronoff, Stan  
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS: A Management Perspective  
WDL Publications, Ottawa, Canadá, 1991.
- Bannister, Wayne  
REPORT TO THE TASK FORCE OF THE TECHNOLOGY TECHNICAL ADVISORY  
COMMITTEE.  
Geographic Information Task Force, September 1992.  
(Comunicación Personal)
- Clarke, K. C.  
RECENT TRENDS IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS RESEARCH  
Proceedings Berne Convention 100 Years 1886 - 1986.
- Cowen, David J.  
GIS vs CAD vs DBMS : WHAT ARE THE DIFFERENCES?  
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing  
Vol. 54, No. 11, November 1988.
- Chambers, Don  
OVERVIEW OF GIS DATABASE DESIGN  
ESRI. September 1989, vol. 11, No. 2.
- Dangermond, Jack.  
GEOGRAPHIC DATABASE SYSTEMS  
Geo - Processing 3.
- Dangermond, Jack.  
A CLASSIFICATION OF SOFTWARE COMPONENTS COMMONLY USED IN  
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS.  
ESRI.
- Dennison Parker, H.  
THE UNIQUE QUALITIES OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS.  
A COMMENTARY  
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.  
Vol. 54, No. 11, November 1988.
- Dutton, Geoffrey  
POLYHEDRAL HIERARCHICAL TESSELLATIONS. THE SHAPE OF GIS TO COME  
Geo Info Systems, February 1991.
- INEGI  
GUIAS PARA LA INTERPRETACION DE CARTOGRAFIA: TOPOGRAFIA  
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática,  
México, 1987.

- Johnston, Kevin M.  
NATURAL RESOURCE MODELING IN THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS ENVIRONMENT  
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing  
Vol. 53, No. 10, October 1987.
- Keates, John S.  
CARTOGRAPHIC DESIGN AND PRODUCTION  
John Wiley & Sons, Inc., New York, 1989.
- Kottman, Clifford A.  
SOME QUESTIONS AND ANSWERS ABOUT DIGITAL GEOGRAPHIC INFORMATION EXCHANGE STANDARDS  
Intergraph Corporation, Huntsville, Alabama, USA, 1992.
- MapInfo for DOS  
Command Reference  
MapInfo Corp., Troy, New York, USA, 1989.
- Marble, Duane F.  
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AN OVERVIEW  
Proceedings, Pecora 9 Conference, Sioux Falls, S.D. 1984
- MGE: A Modular GIS Environmental  
Intergraph Corporation, Huntsville, Alabama, USA, 1992.
- Pequet, Donna J.  
A CONCEPTUAL FRAMEWORK AND COMPARISON OF SPATIAL DATA MODELS  
Dept. of Geography. Pennsylvania State University
- Pequet, Donna J. & Marble, Duane F.  
INTRODUCTORY READINGS IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS  
Taylor & Francis, 1990.
- Poiker, Thomas K.  
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN THE GEOGRAPHIC CURRICULUM  
Simon Fraser University, May 1985.
- Poiker, Thomas K.  
GEOGRAPHIC DATA STRUCTURES  
Simon Fraser University.
- Poiker, Thomas K.  
LITERATURE FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS  
Simon Fraser University.
- Poiker, Thomas K.  
LOOKING AT COMPUTER CARTOGRAPHY  
Simon Fraser University.
- Poiker, Thomas K. & Chrisman, Nicholas.  
CARTOGRAPHIC DATA STRUCTURES  
The American Cartographer, Vol.2, No. 1 , April 1975.

- Reyes Guerrero, Carmen  
Comunicaciones Personales 1989-1993
- Reyes Guerrero, Carmen  
1993 INTERNATIONAL GIS SOURCEBOOK  
Ch. 5.12 International GIS - MEXICO  
H. Dennison Parker, Editor  
GIS World Inc., Fort Collins, Colorado, USA
- Reyes Guerrero, Carmen; Negrete, Ma. Eugenia & Payno, Carlos  
SIU: A GEO TOPOLOGICAL INFORMATION SYSTEM FOR THE STUDY OF THE  
URBAN STRUCTURE OF MEXICO CITY METROPOLITAN AREA  
GIS/LIS'90, Proceedings, Volume 1  
Anaheim, California, 1990.
- Robinson, Barker G.  
THE UNHERALDED COMPONENT OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS  
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing  
Vol. 54, No. 2, February 1988.
- Slama, Chester C  
MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY  
American Society of Photogrammetry, Virginia, EEUU, 1980.
- Smith, Terence R.  
REQUERIMENTS AND PRINCIPLES FOR THE IMPLEMENTATION AND  
CONSTRUCTION OF LARGE-SCALE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS.  
International Journal of Geographical Informations Systems,  
1987, vol. 1, No. 1
- Snyder, John P.  
MAP PROJECTIONS - A WORKING MANUAL  
U.S. Geological Survey Professional Paper 1395  
U.S. Government Printing Office, Washington, 1989.
- Star, Jeffrey & Estes, John  
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, An Introduction  
Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1990
- Tomlinson, Roger F.  
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS - A NEW FRONTIER  
The Operational Geographer, vol. 5, 1984
- Tomlinson, Roger F.  
CURRENT AND POTENTIAL USES OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS:  
THE NORTH AMERICAN EXPERIENCE.  
International Journal of Geographical Information Systems,  
1987.
- Waugh, Thomas C.  
THE DEVELOPMENT OF THE GIMMS COMPUTER MAPPING SYSTEM  
(Edinburgh University, Scotland)

- 1991-92 INTERNATIONAL GIS SOURCEBOOK
  - 1993 INTERNATIONAL GIS SOURCEBOOK
- H. Dennison Parker, Editor  
GIS World Inc., Fort Collins, Colorado, USA