

Sistema de Información Georreferenciado

Una experiencia práctica

Director:

Ing. Emilio Lorenzón

Alumnos:

Demitrio, Daniel Arturo
Figueroa, Rodolfo Santiago
Rivera, María Laura



Facultad de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de La Plata
Octubre de 1995

TES
95/7
DIF-02402
SALA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE INFORMATICA
Biblioteca
50 y 120 La Plata
catalogo.info.unlp.edu.ar
biblioteca@info.unlp.edu.ar



DIF-02402

Informe correspondiente al Trabajo de Grado “**Sistema de Información Georreferenciado**” de la Licenciatura en Informática.

Director:

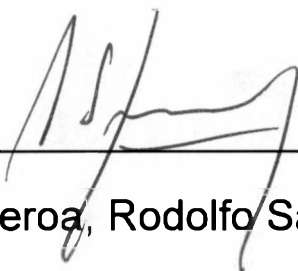


Ing. Emilio Lorenzón


Alumnos:



Demitrio, Daniel Arturo



Figueroa, Rodolfo Santiago



Rivera, María Laura

Organización del Informe

1. Objetivo del Trabajo

2. Conceptos de Sistemas de Información Geográfica

3. Descripción de las Herramientas

4. Desarrollo de la Aplicación

5. Conclusión

6. Bibliografía

7. Agradecimientos

8. Índice



1. Objetivo del trabajo

Estudiar y desarrollar un sistema de información georreferenciado para la toma de decisiones en una delegación (Comisión Local) de la Organización (SENASA), cuyo problema es el entendimiento de lo que sucede en materia de sanidad animal en todo el territorio Nacional. Para ello se construirá un prototipo, utilizando una herramienta G.I.S. (Geographic Information Systems) cuyo nombre comercial es “Atlas GIS” en su versión Desktop 3.0, funcionando en entorno WINDOWS.



2. Conceptos de Sistemas de Información Geográfica

2.1 Cartografía

2.1.1 Topografía

2.1.1.1 Objeto de la Topografía

El objeto de la topografía es representar y describir en un plano una *pequeña parte* de la superficie terrestre, con la finalidad de obtener la "Carta Topográfica".

Es la ciencia que se ocupa de la representación geométrica de una parte limitada de la superficie terrestre.

2.1.1.2 Relación de la Topografía con la Geodesia

Dijimos que la Topografía tiene por objeto representar una parte muy pequeña de la superficie terrestre, es decir, una porción tal del globo, en la cual *no es necesario tener en cuenta la esfericidad de la tierra* para hacer los cálculos con la debida exactitud.

Cuando la extensión del terreno que se desea representar es tal que no puede dejar de tenerse en cuenta la esfericidad de la Tierra sin cometer graves errores, aparece la utilización de instrumentos de mayor precisión y se requieren cálculos más exactos, ingresando de este modo en un campo más preciso: el de la Geodesia.

2.1.1.3 Objetivo de la Topografía y Geodesia consideradas en conjunto

- Ejecución de todas las mediciones que conducen a la determinación de la posición relativa de puntos terrestres.
- Realización de cálculos a que dan lugar dichas mediciones.
- Aprovechamiento de las mediciones y de los resultados del cálculo para la confección de planos y mapas, satisfaciéndose así necesidades políticas, económicas, técnicas, militares, científicas y culturales.

2.1.1.4 Mediciones horizontales y verticales

Las operaciones topográficas se dividen en dos grandes grupos:

- Mediciones Horizontales (planimetría)
- Mediciones Verticales (altimetría)

Las primeras sirven para la determinación de la posición relativa de las proyecciones de los puntos sobre el plano y del posterior aprovechamiento de los mismos, mientras que las segundas determinan las distintas alturas (cota) a que se encuentran los detalles topográficos.



2.1.2 Escalas

2.1.2.1 Necesidad de escalas

Es evidente que las medidas que se tienen sobre los terrenos no pueden transportarse directamente sobre el papel u otro medio de representación. Por ello, se representa en un mapa solo una proporción de las dimensiones reales, obteniéndose así, figuras semejantes pero con dimensiones pequeñas.

Teniendo por ejemplo, un plano dibujado con una reducción de 1/1000, toda medida lineal del terreno se halla reducida en el plano a la milésima parte.

Cada metro en el terreno es un milímetro en el plano, e inversamente, cada medida lineal del plano debe multiplicarse por mil para obtener la correspondiente del terreno.

El número que indica la relación entre las dimensiones lineales del dibujo y las de las figuras reales del terreno, se llama "Número de Reducción" o "Escala del plano" que designaremos por 1/E, Siendo E el denominador de la escala; el numerador generalmente se toma igual a la unidad.

2.1.2.2 Elección y uso de escalas

La elección de la escala no es arbitraria, sino que es dependiente del objetivo o finalidad del plano.

En un plano a escala 1/E, todas las longitudes son, como se dijo, E veces más pequeñas que las homólogas del terreno.

Si se quisiera determinar la medida del plano a escala 1/E que corresponde a la longitud de 1 Km. en el terreno, es necesario dividir 1 Km. por E.

Por ejemplo, en una carta a escala 1:25.000, tendríamos que 1 km. de medida natural correspondería a 4 cm. en el plano. Es decir, $\frac{1\text{Km.}}{25.000} = \frac{100.000\text{ Cm.}}{25.000} = 4\text{ Cm.}$

Si se tratara, en cambio, de deducir de la medida del plano la correspondiente medida natural del terreno, basta multiplicar aquella por el número E.

Por ejemplo, $4\text{ Cm.} \times 25.000 = 100.000\text{ Cm.} = 1\text{ Km.}$

2.1.2.3 Reglas prácticas para el uso de escalas

Pasaje del terreno al plano

Se debe dividir por E a un millón (1km. = 1.000.000 mm.) obteniéndose así los milímetros que en el dibujo corresponden a 1 km. de terreno.

Ejemplo:

En una escala de 1:25.000, a 1 km. en el terreno le corresponden en el plano:

$$\frac{1.000.000}{25.000} = 40\text{ mm.}$$

Pasaje del plano al terreno



Se eliminan los tres últimos ceros de E, obteniéndose así (en metros) la medida natural que corresponde a 1 mm. en el plano

Ejemplo:

En una escala de 1:50.000, a 1 mm. le corresponden 50 mts. en el terreno.

2.1.2.4 Criterio

Siendo por ejemplo, un trozo de camino, en una carta a escala 1:50.000, de un largo de 1 cm., su longitud natural sería de 500 m.; a la escala de 1:5.000 (10 veces mayor que la de 1:50.000), esa misma longitud de 1 cm. equivale a un tramo de camino de 50 mts.; y a una escala de 1:100.000, 1 cm. corresponde a la longitud de 1.000 mts. Podemos decir entonces que cuanto mayor es el número E, tanto menor es la escala, tanto más fuerte la reducción y, por consiguiente, tanto mayor la cantidad de detalles que pueden representarse.

2.1.2.5 Escalas empleadas en los levantamientos topográficos y catastrales.

En catastro urbano se usan las siguientes escalas:

1:200 1:500 1:1.000

es decir, que las escalas grandes se usan en trabajos de precisión.

En catastro rural:

1:2.000 1:5.000 1:10.000

es decir, escalas medianas.

En levantamientos topográficos se usan las siguientes escalas:

1:5.000 1:10.000 1:25.000 1:50.000 1:100.000

2.1.3 Coordenadas Geográficas

El lugar geográfico de un punto sobre la superficie terrestre, se determina por dos coordenadas denominadas Coordenadas Geográficas del lugar. Estas coordenadas se llaman Latitud y Longitud.

Se denomina Vertical a la recta que pasa por un punto A de la superficie terrestre y es perpendicular a ésta.

Latitud de un punto A sobre la superficie terrestre es el ángulo que forma la Vertical que pasa por A con el plano del Ecuador.

Las latitudes se cuentan a partir del Ecuador en sentido creciente hacia el norte; son negativas de 0 a 90 grados en el hemisferio sur y positivas de 0 a 90 grados en el hemisferio norte.

Longitud de un punto A es el ángulo formado por el plano que contiene el meridiano de A, con el plano meridiano que pasa por el Observatorio de Greenwich.



Las longitudes se cuentan de 0 a 180 grados positivamente al Este y negativamente al Oeste.

2.1.4 Proyecciones

2.1.4.1 Introducción

La teoría de las proyecciones trata de realizar la representación de la superficie terrestre sobre un plano.

La proyección de un mapa es un sistema en el cual ubicaciones sobre la superficie curva de la tierra son desplegadas sobre una superficie plana, de acuerdo a algún conjunto de reglas.

Los mapas son una fuente común de datos de entrada para un G.I.S.* Con frecuencia, los mapas de entrada estarán en diferentes proyecciones, requiriendo la transformación de uno o de todos los mapas para hacer las coordenadas compatibles. Por lo tanto, serán necesarias las funciones matemáticas de proyecciones.

Los G.I.S. son usados para proyectos de escalas regionales o globales, por lo tanto, son necesarias consideraciones sobre el efecto de la curvatura de la tierra.

La superficie terrestre es completamente irregular, resulta así, imposible definirla matemáticamente. Se pensó entonces en elegir como forma representativa de la tierra a la superficie de nivel determinada por las aguas de los mares en equilibrio y prolongada debajo de los continentes. Esta superficie llamada geoide es entonces perpendicular a las verticales trazadas desde cada punto.

Como el geoide puede asimilarse sin mucho error a un elipsoide de revolución, resulta ventajoso y cómodo elegir un elipsoide engendrado por la rotación de una elipse alrededor del eje menor, y de modo que sus dimensiones no difieran en mucho de la forma geoide, por lo menos en la región donde se realizan los trabajos geodésicos.

A veces, sin embargo, no se comete mucho error si se considera a la superficie terrestre como una esfera de radio medio. Pero, habrá inevitables deformaciones cuando pasemos a la representación cartográfica, pues ni el elipsoide ni la esfera son desarrollables en un plano sin sufrir deformaciones. Será necesario, entonces, alterar las formas de estas superficies para obtener de ellas la imagen plana.

Las deformaciones que se ocasionan dependen en general de:

1. Extensión de la superficie a representar;
2. Ubicación geográfica de la zona;
3. Tipo de proyección empleada.

2.1.4.2 Clasificación de las proyecciones

Para elegir el tipo de representación hay que tener en cuenta que a veces interesa mantener los ángulos, si se trata de problemas geodésicos, otras veces interesa mantener las áreas o superficies para realizar estudios económicos e industriales, por ejemplo.

* Geographic Information System



Es también muy importante la extensión de la zona a representar como así también la precisión exigida.

No podemos representar Chile que se extiende en el sentido meridiano y España que es aproximadamente cuadrangular con la misma proyección. Es entonces condición esencial que se adapte al país.

➤ Según la precisión y la extensión podemos dividir las proyecciones en:

- ✓ Topográficas;
- ✓ Geográficas;
- ✓ Geodésicas.

- Topográficas. Son en general poco precisas. La correspondencia es de plano a plano. Es decir, asimilamos la zona esférica que queremos representar a un plano, y en tales condiciones los valores que obtengamos del relevamiento los volcamos directamente sin correcciones por proyección al plano del dibujo.
- Geográficas. La correspondencia es de esfera a plano (despreciamos el aplastamiento). En las cartas geográficas se representa casi siempre toda la tierra y eventualmente partes importantes de ella.
- Geodésicas. La correspondencia es de elipsoide a plano. Se caracterizan por la precisión y fidelidad.

➤ Según las magnitudes que conservan en:

- ✓ Conformes (igual ángulo);
- ✓ Equivalentes (igual área);
- ✓ Automecoicas;
- ✓ Afilácticas.

- Conformes. Son aquellas proyecciones en que cualquier parte elemental del terreno tiene por imagen una figura semejante. Este tipo de representación conserva los ángulos.

El inconveniente serio de las proyecciones conformes es que implican un cambio importante de superficie en zonas extendidas.

La semejanza entre una superficie en el elipsoide y su imagen en el plano, es sólo válida para figuras elementales. Y será tanto más perfecta cuanto más pequeña sea la zona representada.

- Equivalentes. Conservan las superficies a costa de una gran variación angular, que es más notoria en los bordes de la representación.

Cuando no se desea una proyección específicamente conforme o bien equivalente, se suele optar por un tipo intermedio que no altere excesivamente ni



la forma (como lo hacen las proyecciones equivalentes), ni el tamaño (como lo hacen las conformes).

- Automecóicas. Ningún sistema de proyección conserva invariable las distancias en todas las direcciones. No obstante, se pueden conservar determinadas longitudes: un meridiano, o un paralelo.
- Afilácticas. No son ni conformes ni equivalentes. Se las utiliza cuando se quiere obtener determinada forma.

➤ Según la superficie sobre la cual se proyecta el elipsoide, se dividen en:

- ✓ Azimutales;
- ✓ Cónicas;
- ✓ Cilíndricas.

- Azimutales. Se coloca el plano o cuadro tangente en el punto medio de la zona a representar
- Cónicas y cilíndricas. Un modo de atenuar las deformaciones o anamorfosis que se producen inevitablemente al realizar la representación, es recurriendo a las superficies desarrollables, que después se consideran extendidas sobre un plano en el que aparece la imagen de la superficie terrestre. Utilizando la superficie intermedia desarrollable (cono o cilindro), se obtiene mayor conformidad, pues se ajusta en mayor número de puntos que el plano tangente a la superficie esférica.

➤ Según la ubicación de la superficie de proyección sobre la tierra se dividen en:

- ✓ Directas;
- ✓ Transversas;
- ✓ Oblicuas.

- Directas. En las cónicas o cilíndricas el eje de revolución terrestre coincide con el eje de revolución de ambas superficies intermedias. En las azimutales el plano o cuadro es tangente a uno de los polos terrestres
- Transversas. En las superficies desarrollables cono o cilindro, el eje de revolución está contenido en el plano ecuatorial terrestre. En las azimutales el cuadro es tangente en un punto del ecuador.
- Oblicuas. El eje de revolución del cilindro o cono está en cualquier parte de la superficie terrestre. En las azimutales, el punto de tangencia del cuadro también está ubicado en cualquier parte.

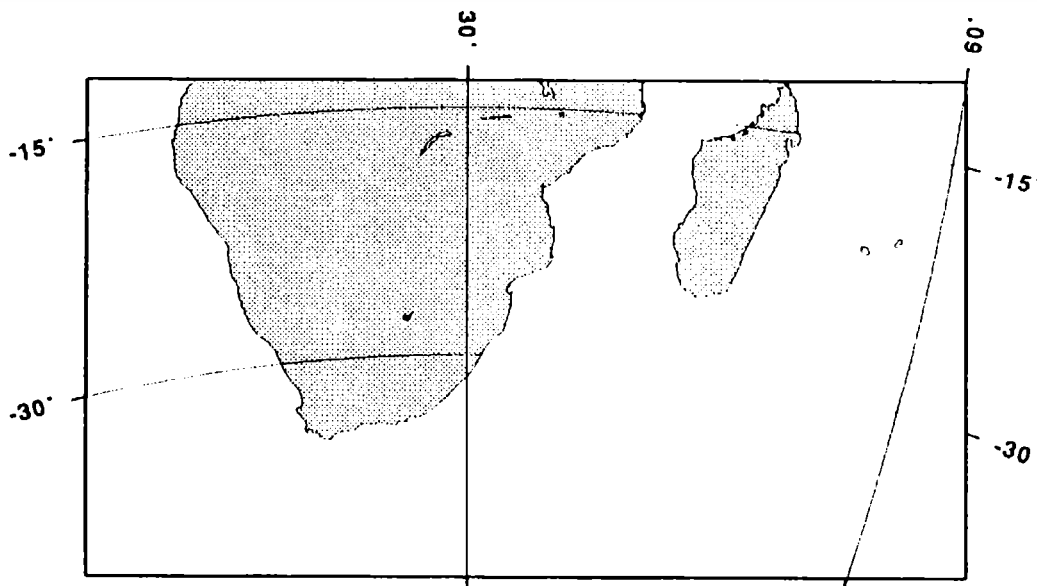


2.1.4.3 Algunas Proyecciones

Proyección Azimutal Equivalente Lambert

Esta proyección es típicamente usada para mapear grandes regiones como continentes y hemisferios. Es una proyección equivalente, azimutal, pero no es perspectiva. La distorsión es cero en el centro de la proyección y se incrementa fuera de este punto. Diferentes tipos de mapas pueden ser hechos con esta proyección dependiendo de como es especificada la región.

Mapa Rectangular



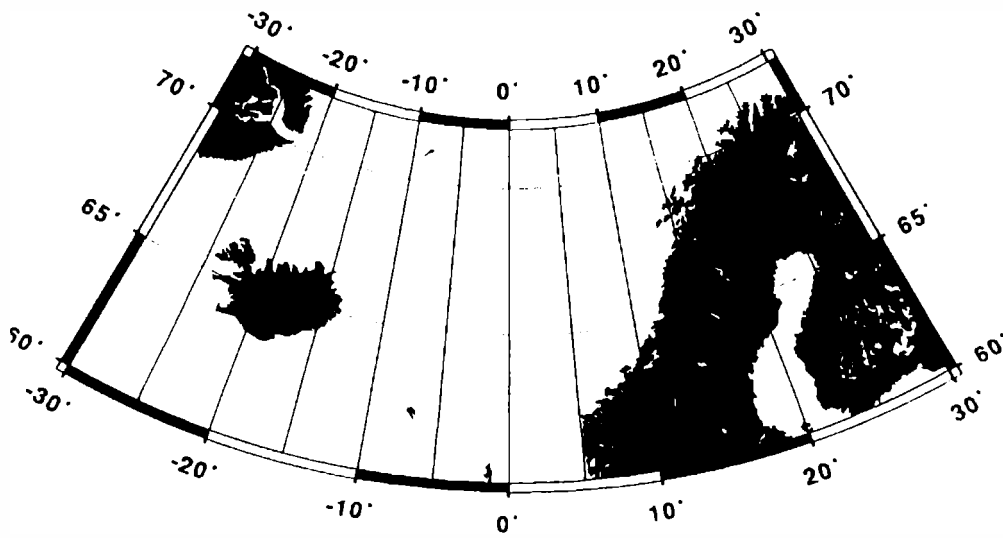
Mapa Hemisférico



Proyección Azimutal Conforme Estereográfica

Esta es una proyección azimutal, conforme de uso principal en el mapeamiento de las regiones polares. Dos diferentes tipos de mapas son:

Mapa Estereográfico Polar. En este ejemplo, el centro de la proyección es el polo norte



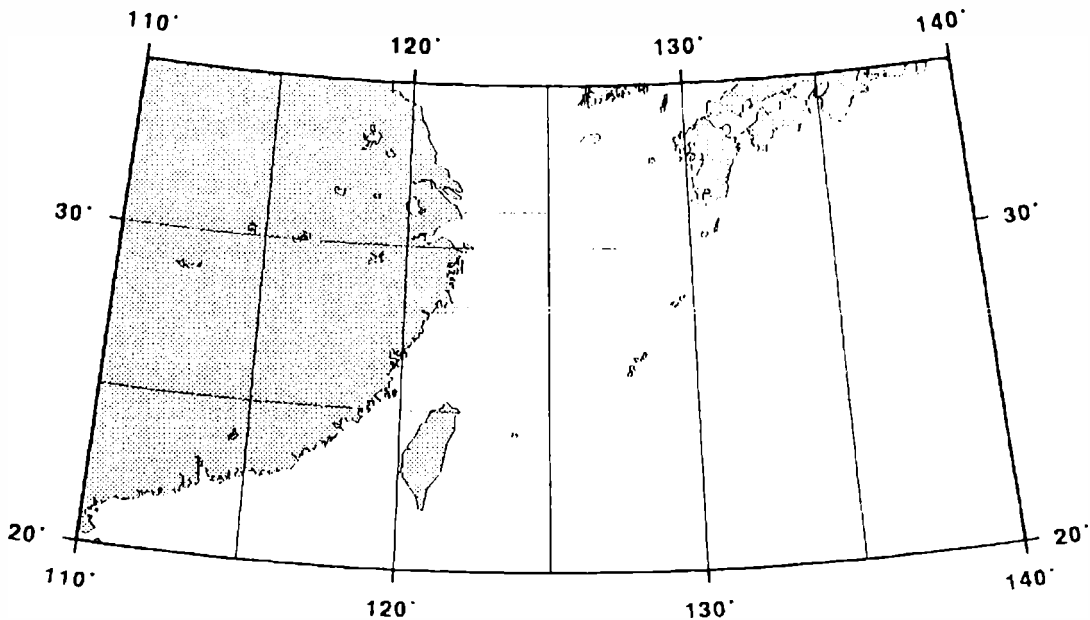


Mapa Estereográfico General. En términos de uso, esta proyección es idéntica a la proyección azimutal equivalente de Lambert, entonces se pueden tener mapas rectangulares o hemisféricos. En el ejemplo se ve Australia:

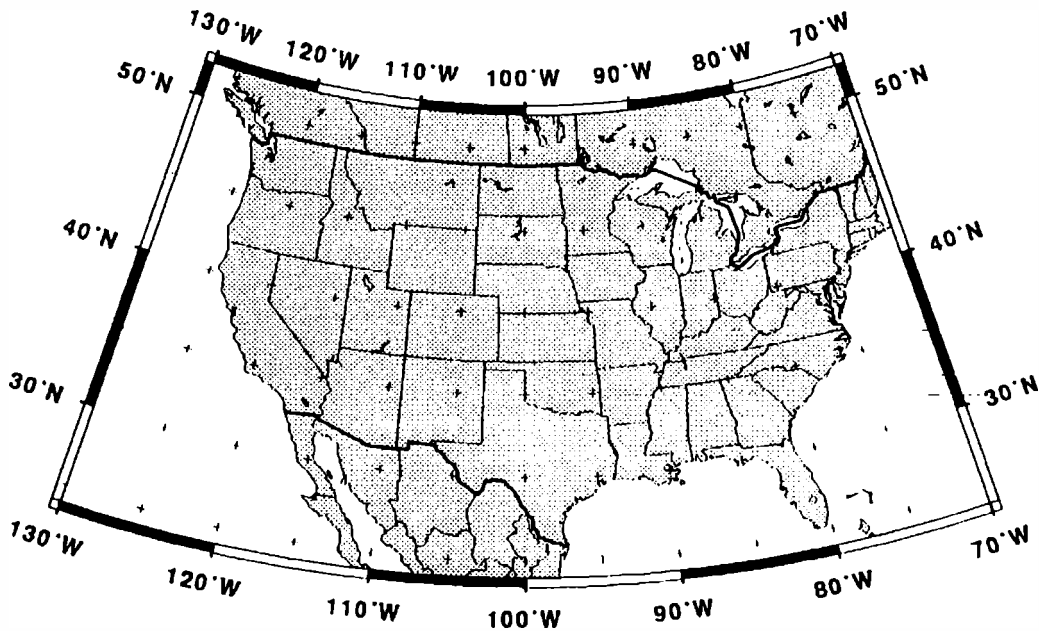


Proyección Cónica Equivalente Albers

Esta proyección es usada predominantemente para mapear regiones de extensión grande de este a oeste, en particular los E.E.U.U. Es una proyección cónica, de igual área, en la cual los paralelos son arcos desigualmente espaciados de círculos concéntricos, menos espaciados en el norte y sur del mapa. Los meridianos, por el contrario, son igualmente espaciados y cortan a los paralelos en ángulos rectos.



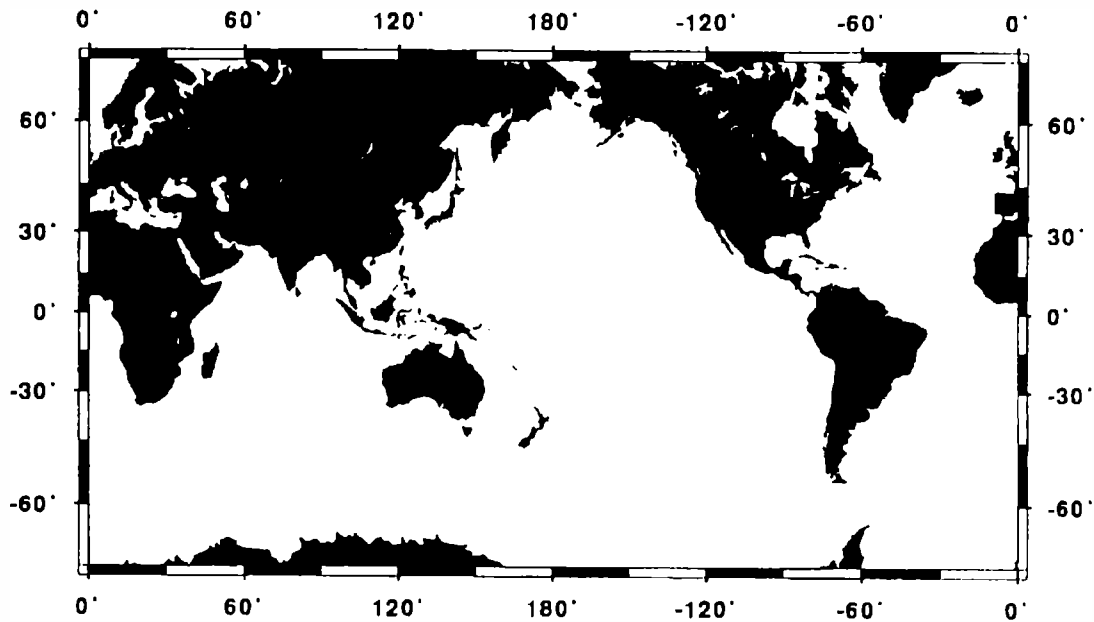
Proyección Cónica Conforme Geodésica Lambert



Esta proyección cónica ha sido usada extensivamente para el mapeo de regiones con orientación predominantemente este-oeste, como la proyección Albers. La proyección conforme de Lambert no es equivalente como la de Albers

Proyección Cilíndrica Mercator

Es probablemente la más famosa de las proyecciones de mapas. Es una proyección cilíndrica, conforme, sin distorsión a lo largo del ecuador. La más importante característica para la navegación de la proyección es que una línea de azimuth constante es recta. Entonces para viajar de un punto a otro, sólo hay que conectar los puntos con una línea derecha, determinar el azimuth de la línea, y mantener este curso constante durante todo el viaje. La proyección Mercator ha sido muy usada para mapas del mundo en el cual la distorsión hacia las regiones polares crece bastante, dando incorrectamente la impresión que, por ejemplo, Groenlandia es más grande que América del Sur.



Proyección Cilíndrica U.T.M. (Universal Transverse Mercator)

En esta proyección el cilindro toca un meridiano a lo largo del cual no hay distorsión. La distorsión se incrementa a medida que se aleja del meridiano central

Esta proyección fue adoptada por la Armada de los E.E.U.U. para mapas militares de gran escala. Para reducir distorsión el globo es dividido en 60 zonas entre 84 ° S y 84 ° N, la mayoría de los cuales de 6 ° de longitud de ancho. Cada una de estas zonas UTM tienen su meridiano central único. Cada zona es dividida posteriormente en "tiras" de 8 ° de latitud.

Proyección Cilíndrica conforme Gauss-Krüger

En virtud de la sugerencia de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica formulada en 1.924 en Madrid, el Instituto Geográfico Militar Argentino ha adoptado para los trabajos geodésicos del país, a partir del año 1.925, como única superficie de referencia el Elipsoide de Hayford de 1.909, tal como ha sido determinado, y cuyos parámetros son:

Semieje mayor	$6.378.388 \pm 18m.$
Achatamiento	$1:297,0 \pm 0,5$

La República Argentina ha adoptado oficialmente en el año 1.925 el sistema Gauss-Krüger, siendo este el que más se adapta, desde el punto de vista geodésico, por la configuración de nuestro país.

Es decir que el geodesta Gauss estableció la Teoría de la Proyección Conforme referida al Elipsoide Terrestre, que permite representar en proyección Gauss puntos de un elipsoide.

El matemático Krüger tiene el mérito de haber generalizado la Proyección Gauss, haciéndola más práctica con la introducción de la "Fajas Meridianas".

Krüger desarrolló además, las fórmulas adecuadas para estas fajas.



En este sistema de proyección Gauss-Krüger, en zonas limitadas, los ángulos esféricos conservan su verdadera magnitud en el plano y las longitudes sufren una modificación.

Por lo tanto, la zona a representar queda limitada cuando la deformación se hace incompatible con el trabajo a realizar.

La extensión máxima hasta la cual se puede considerar la representación gráfica de una superficie esférica depende de la escala.

Para la proyección Gauss-Krüger se ha dividido a la República Argentina en 7 fajas meridianas de 3° de ancho cada una, tangentes a los meridianos centrales en las longitudes -72°, -69°, -66°, -63°, -60°, -57°, -54° respecto de Greenwich.

Para cada faja han sido satisfechas las siguientes condiciones:

- El meridiano central de la faja está representado en el plano por una recta, eje de las abscisas.
- Cada segmento del eje de las abscisas es igual al arco elíptico del meridiano fundamental cuya imagen constituye.

Cada una de estas fajas representa un sistema de coordenadas con dos puntos orígenes, 0 y 0' o ceros de las X, estando situado en el primero, o sea el origen 0, en el Ecuador, para países del Hemisferio Norte y el segundo 0, o sea el origen 0', en el Polo Sur, para todos los países situados total o parcialmente en el Hemisferio Sur, como la República Argentina.

De este modo, se evita el signo negativo de las abscisas X, las que así representan distancias verdaderas.

Es con el fin de reducir las deformaciones en el sentido Este-Oeste a valores insignificantes a los usos de la cartografía de precisión que Krüger redujo el ancho de las fajas a 3° de longitud (1½ ° a la izquierda y 1½ ° a la derecha del meridiano central de cada faja).

Para esos meridianos centrales Krüger eligió aquellos cuyos números de grados son múltiplos de 3.

Designemos como "n" a esos múltiplos de 3.

Entonces llamando "k" a la característica de cada hoja tendremos:

$$k = \frac{n}{3}$$

Veamos con los valores de n correspondientes a la República Argentina teniendo en cuenta que los meridianos centrales son:

n: -72°, -69°, -66°, -63°, -60°, -57°, -54° al Oeste de Greenwich

Conseguiríamos así las siguientes características:

k: -24, -23, -22, -21, -20, -19, -18 al Oeste de Greenwich

En lugar de elegir la serie de valores directamente referida al primer meridiano de Greenwich, el Instituto Geográfico Militar, adoptó por su mayor sencillez, una



numeración adaptada especialmente al territorio argentino, asignando al meridiano -72° la característica $k=1$, al -69° la característica $k=2$ y así sucesivamente hasta $k=7$ que es la característica correspondiente al meridiano -54° (ver figura).

Así tendríamos entonces:

n:	-72°	-69°	-66°	-63°	-60°	-57°	-54°	
k:	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18	
k:	1	2	3	4	5	6	7	(sistema argentino)

El signo negativo de la ordenada Y se evita de la siguiente manera:

Si se hubiese atribuido a todos los puntos situados sobre los meridianos centrales de esos sistemas la ordenada $Y=0$, se habrían obtenido para puntos situados al Oeste de esos meridianos valores negativos para las ordenadas Y, además sería posible que se repitieran los mismos valores de la ordenada Y en diversas fajas. Por ello, para eliminar ambos inconvenientes, pero principalmente para evitar el signo negativo también para la ordenada Y, se atribuye a cada meridiano central el valor (algo arbitrario) de 500.000, anteponiéndole el número de la característica K (los millones de metros) correspondiente a cada faja (con lo cual se consigue mantener sin variar la característica de faja para las ordenadas de todos los puntos pertenecientes a un sistema).

A los puntos de los meridianos centrales de los 7 sistemas argentinos corresponden entonces las siguientes ordenadas Y:

Al meridiano -72° central de la faja 1, la ordenada $Y=1.500.000$

Al meridiano -69° central de la faja 2, la ordenada $Y=2.500.000$

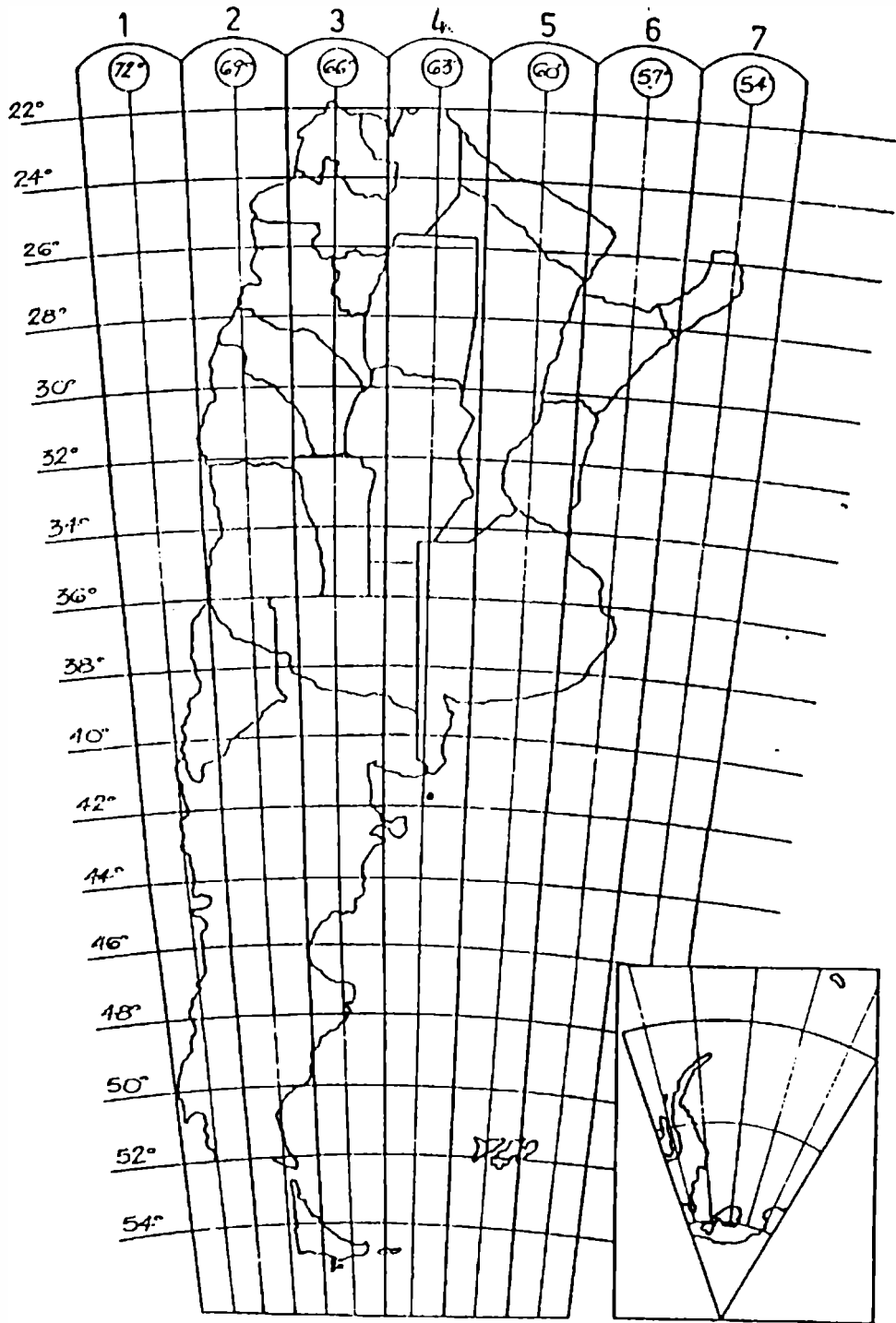
Al meridiano -66° central de la faja 3, la ordenada $Y=3.500.000$

Al meridiano -63° central de la faja 4, la ordenada $Y=4.500.000$

Al meridiano -60° central de la faja 5, la ordenada $Y=5.500.000$

Al meridiano -57° central de la faja 6, la ordenada $Y=6.500.000$

Al meridiano -54° central de la faja 7, la ordenada $Y=7.500.000$



Con esto todos los puntos del territorio argentino tienen coordenadas positivas y mediante ellas podemos conocer entonces cuál es la ubicación de un punto P de coordenadas (x,y). Sea $P=(6.166.753,6.500.000)$ entonces el punto P se halla a 6.166.753 metros del Polo Sur y justo sobre el meridiano central de la faja 6 (-57°).

Si el punto P fuera (6.166.753,5.250.000) estaría a la izquierda del meridiano central de la faja 5.

El punto $P=(6.377.057,5.633.824)$ se halla en la faja 5 y a (633.824-500.000) metros al Este de la proyección del meridiano central de dicha faja, es decir, a 133.824



metros. Asimismo, en caso de ser la coordenada $Y=5.358.000$ el punto se hallaría a (500.000-358.000) metros al Oeste de la proyección del meridiano central de la misma faja.

En los planos que intervienen coordenadas Gauss-Krüger se suele trazar un reticulado especial adecuado, llamado “Cuadrícula” razón por la cual dichas coordenadas se denominan también “Coordenadas de Cuadrícula”.

En todas las cartas oficiales argentinas, la red de cuadrícula se representa por medio de líneas colocadas a 4 cm. de distancia, lo que equivale a:

- 1 Km. en la carta a escala 1:25.000
- 2 Km. en la carta a escala 1:50.000
- 4 Km. en la carta a escala 1:100.000

Empleo de las Coordenadas de Gauss-Krüger

El sistema cuadrículado explicado precedentemente facilita la lectura de cartas, pues permite ubicar con rapidez y seguridad puntos sobre las mismas por medio de sus coordenadas, ya sea conociendo estas o no.

A este efecto, las líneas horizontales de la cuadrícula vienen numeradas ascendiendo la numeración de abajo hacia arriba y las verticales de izquierda a derecha, es decir que el origen está en la esquina inferior izquierda de la carta.

Tendremos que un punto identificado como $X=6148$ e $Y=5478$ equivale al punto que está ubicado a 6.148.000 mts. al Norte de su origen $0'$ en el Polo Sur y a 22.000 mts. al Oeste del meridiano -60° ($5.500.000 - 5.478.000 = 22.000$ mts.)

Partiendo de una carta en escala 1:50.000 donde cada tramo representa 2 Km. veamos el siguiente ejemplo que nos permitirá ubicar un punto de la carta conociendo sus coordenadas y viceversa:

Sea un punto Q de coordenadas $X=6.154.320$ m., $Y=5.489.250$ m.

Del segundo par de números de cada coordenada se hallará el mayor múltiplo de 2, obteniéndose así 54 para X y 88 para Y, por lo tanto, el punto Q se encuentra en la cuadrícula (54-88). La diferencia del segundo par de números con el múltiplo de 2 contenido en él y las 3 últimas cifras, serán los incrementos DX y DY que deben ser medidos vertical y horizontalmente sobre los lados de la cuadrícula indicada (54-88), con origen en el vértice de la misma.

En este ejemplo, $DX=320$ mts. y $DY= 1.250$ mts.

Considérese ahora el caso inverso, es decir, calcular las coordenadas de un cierto punto de la carta.

Supongamos que el punto se halla representado en la cuadrícula (56,88).

Como la escala de la carta es 1:50.000, cada tramo de 4 cm. representa 2.000 mts. y como se sabe que para calcular las coordenadas de cualquier punto de la carta se toma como origen la intersección de la primera recta vertical izquierda con la primera recta horizontal inferior se tendrá las coordenadas del punto A.

Supongamos que el punto incógnita de la carta sea P.

Sus coordenadas se calcularán de la siguiente manera:

$$X = 6.148.000 + 8.000 + DX$$

$$Y = 5.478.000 + 10.000 + DY$$



La primera cifra corresponde a las coordenadas del punto A.

La cantidad 8.000 se obtiene contando a partir del vértice A sobre el eje X, el número de cuadrículas hasta la línea horizontal que pasa por B y será

$$2.000 * 4 = 8.000 \text{ mts.}$$

La cantidad 10.000 se obtiene contando sobre el eje horizontal Y, a partir de A hasta la recta vertical que pasa por B, y entonces por igual razón será:

$$2.000 * 5 = 10.000 \text{ mts.}$$

Las cantidades DX y DY se determinarán luego midiendo con una "regla" o "escala de coordenadas" las distancias horizontales y verticales a partir de B y hasta P.

En este caso se tiene:

$$DX = 27 \text{ mm.}$$

$$DY = 32 \text{ mm.}$$

como:

$$40 \text{ mm.} = 2.000 \text{ mts.}$$

$$27 \text{ mm.} = 27 * 2.000 / 40 = 1.350 \text{ mts.}$$

por lo tanto, $DX = 1.350 \text{ mts.}$

Asimismo, como:

$$40 \text{ mm.} = 2.000 \text{ mts.}$$

$$32 \text{ mm.} = 32 * 2.000 / 40 = 1.600 \text{ mts.}$$

por lo tanto, $DY = 1.600 \text{ mts.}$

Finalmente se tiene:

$$X = 6.148.000 + 8.000 + 1350 = 6.157.350 \text{ mts.}$$

$$Y = 5.478.000 + 10.000 + 1.600 = 5.489.600 \text{ mts.}$$

que son las coordenadas del punto P de la carta.



2.2 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica.

2.2.1 Sistema de información espacial

2.2.1.1 Información Geográfica:

Es un conjunto de datos cuyo significado tiene una relación con una localización específica.

2.2.1.2 Sistema de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica, desde ahora llamado G.I.S. (por Geographic Information System), es el resultado del deseo y la necesidad de ejercer todo tipo de controles sobre procesos ambientales, económicos y sociales. La complejidad de estos procesos en el mundo real y en el ambiente humano requieren de su modelación en ciertos niveles de relación, simplificación, generalización y abstracción. Un G.I.S. provee los datos necesarios para trabajar sobre tales modelos.

2.2.1.3 El G.I.S. como un tipo de sistema de información espacial

Muchos nombres son utilizados para referirse a un G.I.S.: Sistema de Información de Base Geográfica, Sistema Georreferenciado, Sistema de Información Espacial, Sistema de Datos Geográficos, Sistema de Información Catastral, Sistema de Información Catastral de múltiple funcionalidad. Esta gran variedad de términos se debe a que G.I.S. es un área nueva y está relacionado con gran cantidad de disciplinas y campos tecnológicos que manipulan datos espaciales.

2.2.2 Conocimientos relacionados con un G.I.S.

Dado que G.I.S. es una convergencia de varias ramas de la tecnología, cada rama provee alguna técnica o metodología para desarrollar un G.I.S.

Algunas áreas tecnológicas enfatizan su accionar en la recolección de datos, otras en el ajuste y relación de los mismos, como así también existen las que optimizan las formas de análisis y muestreo de la información.

2.2.2.1 Disciplinas involucradas en G.I.S.

Un aspecto fundamental para estructurar un G.I.S. es tener una visión multidisciplinaria del problema, de los componentes necesarios para su construcción y de un proyecto para su desarrollo.

Algunas de la disciplinas relacionadas con G.I.S. son las siguientes:

- **Sensado remoto:** Involucra técnicas de adquisición y procesamiento de datos de imágenes satelitales. El potencial de esta tecnología reside en la fácil captura y actualización de datos a bajo costo y en poco tiempo.
- **Geodesia:** Determina y controla la posición precisa de cada objeto utilizando tecnología moderna como GPS* para la adquisición de datos.

* Global Positioning Systems



- **Fotogrametría:** Es una herramienta para la captura de datos en forma tridimensional, asegurando una precisa distribución y localización espacial de los mismos para luego convertirlos en mapas digitales.
- **Cartografía:** Tecnología que muestra información espacial de forma organizada y padronizada. Actúa en el banco de datos gráficos permitiendo una interpretación topológica de las entidades.
- **Investigación operativa:** Sistemas que proporcionan herramientas de optimización y técnicas de decisión.
- **Informática:** Ciencia que proporciona las técnicas de computación gráfica, bases de datos y algoritmos de implementación y análisis.
- **Matemática:** (Geometría, Teoría de Grafos, etc.) Se utilizan modelos matemáticos para el diseño y análisis de datos espaciales.
- **Ingeniería Civil:** (Transporte, Urbanismo, Servicios, etc.) Provee parámetros y modelos en las diferentes áreas de aplicación.
- **Estadística:** Permite realizar modelos y utilizar métodos de análisis de los datos, sean estos descriptivos o espaciales.

2.2.2.2 Tecnologías relacionadas con G.I.S.

- Inteligencia Artificial (AI): El sistema computacional actúa como un experto en funciones de diseño y administración de las características de un mapa.
- Mapeamiento automatizado (AM): Es una especie de cartografía auxiliada por computadora que provee, a través del software, métodos de visualización, acercamiento (zoom) y medición. Posee módulos para crear y editar entidades, modelos de entidades espaciales, capacidad de agregación y desagregación de entidades, formas de representación en 2D o 3D, etc. En realidad, estamos hablando de un CAD especializado en cartografía.
- Administración de Bases de Datos (DBMS): Son sistemas que implementan modelos y estructuras de datos proveyendo mecanismos para la manipulación de grandes volúmenes de información.
- Ingeniería asistida por computadora (CAE): Son sistemas que permiten especificar un problema, definir una arquitectura y una estructura de control de los fenómenos, simular el comportamiento del fenómeno con gran cantidad de variables, realizar pruebas comparativas entre distintos fenómenos, etc.
- Administración de servicios (FM - Facilities Management): Incluye la tecnología que ayuda a la eficiente administración de servicios como ser la recolección de residuos, construcción de rutas, redes de alumbrado público, de agua, etc.

2.2.3 Subsistemas de un G.I.S.

- Subsistema de procesamiento de datos:
 - Adquisición de datos: Mapas, imágenes, relevamientos de campo, etc.
 - Entrada de datos: Ingreso de información a la base de datos.
 - Almacenamiento de datos: Frecuencia de uso, políticas de uso, actualización y seguridad.
- Subsistema de análisis de datos:



- Recuperación y análisis: Para dar respuesta a preguntas de todo tipo (espaciales o no) teniendo en cuenta los datos almacenados.
- Salida de información: Para mostrar resultados (mapas, tablas, etc.) o para alimentar algún otro sistema digital.
- Subsistema de uso de la información:
 - Incluye a los usuarios que pueden ser investigadores, planificadores, gerentes, etc.
 - Debe haber una interacción entre el personal de desarrollo del G.I.S. y los usuarios a fin de planificar la funcionalidad y las estructuras de datos.
- Subsistema de administración:
 - Estructura Organizacional: El sector de G.I.S. muchas veces está ubicado en forma separada del resto de las partes de la Organización.
 - Equipo humano: Incluye al gerente de sistemas, al administrador de la base de datos, al analista de sistemas y al operador de digitalización. Un buen equipo debe tener entre 5 y 10 personas.
 - Procedimientos de administración: Incluye las pautas a seguir para una eficiente interacción entre el grupo de G.I.S. y los usuarios. La eficiencia en la interacción contribuye a la eficiencia del sistema.

2.2.4 Principales formas de uso y aplicaciones de un G.I.S.

2.2.4.1 Formas de uso

- En la administración de servicios, recursos, propiedades y proyectos el G.I.S. se usa para la toma de decisiones.
- En estudios científicos, donde el G.I.S. es un gran aporte para el análisis estadístico.
- En integración de áreas de conocimiento (multidisciplinaridad), donde el G.I.S. colabora en la recolección y visualización de datos espaciales.

2.2.4.2 Áreas de aplicación

- Aplicaciones comerciales: Debido a la facilidad de retratar los datos geodemográficos y de poder analizarlos brinda la posibilidad de interacción comercial.
- Administración política: Determinación de zonas electorales para la manipulación geodemográfica y decisiones políticas.
- Administración de infraestructuras: Contribuye a la planificación de redes cloacales, de agua, servicios eléctricos, televisión por cable, etc.
- Publicación de bases de datos y mapas: Se utiliza para este fin en Departamentos estatales, Municipios, y también en empresas privadas.
- Exploración de zonas petroleras, de gas y de minerales son realizadas por geofísicos, geólogos realizando modelos sobre el G.I.S.



- Seguridad pública: Combatiendo crímenes, robos, incendios y epidemias.
- Administración de información en tiempo real: Brinda información de este tipo para ser usada en las diversas áreas del conocimiento.
- Administración de recursos naturales: Estudios y proyecciones sobre el uso de agua, contaminación del aire, forestación, hábitat, etc.
- Transporte y apoyo logístico: Contribuyendo al control de cargas en las rutas y redes ferroviarias, cartas náuticas, control de tráfico aéreo.
- Planeamiento regional y urbano: Aconsejando los lugares por donde es conveniente construir una nueva ruta, playa de estacionamiento, hospital, escuela, destacamento policial, puesto aduanero, etc. Considerando para esto los datos geodemográficos.
- Investigación y educación: Suministra información de base para los investigadores y brinda una forma práctica y eficiente para la educación.
- Análisis y monitoreo ambiental: Permite evaluar los impactos de obras civiles ya sea en áreas urbanas o rurales.



2.3 Sistemas de Información Geográfica

2.3.1 Introducción

En sus principios, la tecnología G.I.S. se limitaba a superponer y combinar distintos tipos de datos en un mismo mapa. Hoy en día, es mucho más que un sistema CAD, dado que un G.I.S. asocia atributos geográficos y no geográficos de recursos cartográficos. Los mapas resultantes muestran datos geográficos, ambientales o demográficos separadamente o en conjunto.

El G.I.S. posee una estructura flexible de datos basados en relaciones topológicas. Los sistemas típicos permiten trabajar con puntos, líneas y áreas, teniendo cada uno de estos objetos atributos de índole espacial. Por lo tanto, cada objeto gráfico tiene un vínculo recíproco con datos que residen en un archivo de atributos. Mediante esta estructura topológica, se pueden realizar variados tipos de análisis de datos geográficos, característica ésta que potencializa al G.I.S.

2.3.2 Evolución histórica de los G.I.S.

Mucho tiempo antes de la aparición de las computadoras, la descripción geográfica era realizada mediante mapas analógicos. Los mapas fueron usados por los chasquis, Cristóbal Colón, Napoleón Bonaparte, etc. para mostrar rutas, movimientos de tropas y cualquier otro fenómeno que aconteciese en un territorio. Dada la importancia que llegó a tener la cartografía comenzaron a elaborarse atlas detallando redes de comunicación, geografía y topología en un mismo mapa. Luego de ello, comenzaron a darse situaciones como la de John Snow, quien usó un mapa para mostrar la localización de las muertes por cólera en el centro de Londres en 1854, de modo de indicar el origen y la expansión de la enfermedad.

Otros importantes acontecimientos en la evolución histórica del G.I.S. son:

- Existen innumerables fenómenos que son descriptos mediante cartografía.
- Los estudios socio-económicos, geográficos y antropológicos son cada día más complejos y deben hacerse mediante procedimientos científicos.
- Se realizan cada vez más proyectos de transporte.
- Entre 1958 y 1961 en la Universidad de Whashington se elaboraron métodos estadísticos y sistemas computacionales para mapeamiento.
- NYSTUEM desarrolló el concepto ESPACIAL: distancia, orientación, corrección, etc.
- TOBLER desarrolla algoritmos para proyecciones de mapas.
- BANGE anuncia, en el área de la geografía teórica, una geometría básica para la geografía: puntos, líneas y áreas.
- BERRY anuncia las matrices geográficas, esto es, localización de entidades por sus atributos, concluyendo con la elaboración de mapas con diferentes temas agrupados cada uno de ellos en capas.
- En 1962 surge un G.I.S. en Canadá. Este sistema permitía analizar datos de áreas respecto a diferentes asuntos con el propósito de inventariar territorios.



- En 1964, MIDAS, en el servicio forestal de EE.UU desarrolla el primer G.I.S. para administración de recursos naturales.
- En la década del '70 se desarrollaron definiciones de uso de cartografía y de la estructura topológica de los datos.
- Durante la década del '80 se realizaron diferentes estudios ente CAD, DBMS, G.I.S., etc. En Harvard, la computación gráfica y el análisis espacial impulsaron el desarrollo del G.I.S.
- Los años '90 se proyectan como la "década del G.I.S.". Se prevé que las Organizaciones del mundo invertirán billones de dólares en este concepto antes de finalizar la década. La complejidad del mundo actual, su dinámica y cantidad de variables intervinientes en una toma de decisiones incrementan la necesidad del uso de G.I.S. al finalizar el siglo.

2.3.3 Definiciones

La representación gráfica digital de los datos cartográficos se realiza a través de la computación gráfica, generando de este modo lo que se denomina Cartografía Asistida por Computadora, la cual, apoyada en técnicas de Administración de Bases de Datos pasa a denominarse Sistema de Información Cartográfica; cuyo enfoque principal reside en confeccionar documentos cartográficos mediante procesos automatizados.

Un Sistema de Información Cartográfica con capacidad de producir nuevas informaciones a través del análisis de datos relacionados, se denomina Sistema de Información Geográfica (G.I.S.).

Las siguientes son algunas definiciones del concepto de G.I.S.:

"Caso especial de los sistemas de información donde la base de datos consiste en las obtenciones de las características, actividades o eventos distribuidos espacialmente, los cuales están definidos en el espacio como punto, línea o área. Un G.I.S. manipula los datos sobre estos puntos, líneas y áreas para la recuperación de atributos y análisis" (Dueker, 79).

"Un conjunto automático de funciones que provee a los profesionales especializados el almacenamiento, recuperación, manipulación y reproducción gráfica de los datos localizados geográficamente" (Ozemoy '81).

"Los G.I.S. son sistemas o herramientas asistidas por computadora para captura, almacenamiento, transformación, análisis y reproducción gráfica de datos espaciales" (Star & Estes '90).

"Una Tecnología de información que almacena, analiza y muestra datos espaciales y no espaciales. Se entiende por tecnología, el conjunto de métodos y materiales utilizados para alcanzar objetivos" (Goodchild, Maguire y Rhind, '91).



Lo que debe quedar claro en esta instancia, es que un G.I.S. significa mucho más que una simple codificación, almacenamiento y recuperación de datos espaciales. Generalmente, estos datos representan un modelo del mundo real, que permiten realizar simulaciones con situaciones específicas, algunas de las cuales no serían posibles en el mundo real; por ello es indispensable la capacidad de transformación del sistema. Esta es precisamente la característica que diferencia a un G.I.S. de la cartografía asistida por computadora.

2.3.4 Recursos básicos de un G.I.S.

Los recursos de un G.I.S. son ilimitados (Dias '91) ya que en este preciso momento probablemente estén surgiendo nuevos recursos para G.I.S. Mientras tanto identificaremos los principales:

2.3.4.1 Acercamiento

Es la capacidad de ampliación o zoom. Es el recurso más trivial que debe poseer un G.I.S. Hoy en día es común tener una capacidad de acercamiento de hasta 10^9 puntos por eje de coordenadas. Esto significa que podemos pasar instantáneamente de una escala de 1:1.000.000.000 a una escala de 1:1. Tal vez no sea utilizada nunca tal magnitud de acercamiento, pero esto nos permite pensar que en un mapa de Argentina podemos acercarnos hasta ver una ciudad, y dentro de ésta hasta ver sus casas y por que no también, sus habitaciones y muebles. Para tener una idea de las ventajas de este recurso basta imaginar la cantidad de mapas de papel (a diferentes escalas) que deberíamos tener para poder visualizar los datos del ejemplo precedente.

2.3.4.2 Tematización

Es la capacidad de separar en niveles distintos, llamados capas (layers), los diferentes temas representados en la cartografía. Acá está incluido el concepto de agregación y desagregación de datos. Mediante este recurso se puede agrupar toda la información cartográfica que está relacionada, de manera tal de poder activarla o desactivarla como un todo. Por ejemplo, tomando como base un mapa de Argentina, podríamos representarlo en un G.I.S. en varias capas que podrían ser las siguientes: Provincias, Partidos, Ciudades, Ríos, Lagos, etc., de manera tal que podríamos "encender" o "apagar" cada una de las capas independientemente para obtener diferentes efectos visuales y de análisis.

2.3.4.3 Edición gráfica

El editor gráfico que provee el sistema es capaz de editar cualquier entidad geométrica. Esto puede hacerlo a través de una edición manual o por medio de operaciones analíticas que poseen una precisión matemática. Al señalar un vértice para trazar una recta a partir del extremo de otra, el editor gráfico puede detectar cual es el vértice deseado con solo seleccionar en las proximidades de él.

2.3.4.4 Análisis

Son muy restrictos en las estructuras vectoriales y dominantes en las estructuras topológicas y raster. Mediante un análisis de los datos, un sistema puede generar nuevos modelos espaciales. Imaginemos la utilidad que tendría la realización de un análisis en



una zona propensa a deshielos como podría ser un valle. En este caso, utilizando los sensores adecuados que transmitan al G.I.S. la información necesaria para prevenir un deshielo, se podrían tomar los recaudos necesarios con debida anticipación para prevenir una catástrofe. El sistema daría los informes resultantes del análisis en forma cartográfica y/o alfanumérica a los efectos de coordinar la acción humana.

2.3.4.5 Otros recursos

Mencionaremos los más utilizados

- ◆ **Redes:** Es un recurso destinado a la administración de flujos. Permiten conocer los valores de las variables relacionada con una red caminera, una red de agua potable o cualquier otra red en la que sea necesario tener el control de dirección de la circulación, caudal, etc.
- ◆ **DTMs (Digital Terrain Model)** Los "modelos digitales de terreno" son recursos destinados a tridimensionalizar. En los DTM los modelos son sólidos irregulares limitados por planos finitos generalmente de forma triangular o cuadrática. Este recurso permite obtener información acerca de volúmenes, gradientes y otras características de una representación en 3D.

2.3.5 Características funcionales de un G.I.S.

Generalmente un G.I.S. realiza las siguientes funciones básicas:

- Adquisición
- Administración
- Análisis
- Demostración de resultados

La **función de adquisición** está relacionada con el proceso de conversión de informaciones analógicas en digitales. Los datos pueden provenir de diferentes fuentes como fotografías aéreas, ortofotos, levantamientos topográficos y aerofotogramétricos, imágenes satelitales, mapas bidimensionales y tridimensionales, informes estadísticos, censos de población y otras fuentes de información obtenidas por medio de restituidores (analógicos, analíticos, digitales u ortofotográficos), cintas magnéticas, digitalizadores y entrada de datos por medio de teclado.

La **función de administración** consiste en la inserción, borrado o modificación de los datos y es realizada generalmente por un DBMS que soporta:

- Almacenamiento en bases de datos
- Mantenimiento y recuperación de datos
- Preservación de la integridad de los datos
- Control de procesos
- Manipulación de archivos



La **función de análisis** efectúa el examen de los datos que contienen información relacionada, a fin de generar nuevas informaciones que satisfagan los requerimientos del usuario. En esta etapa se pueden realizar las siguientes tareas:

- Selección y agregación de información
- Controles de la geometría y topología
- Conjugación de las informaciones temáticas
- Extracción de informaciones estadísticas

La **función de exhibición de resultados** se refiere principalmente a la presentación de los resultados, ya sea en forma de datos geográficos o no geográficos. Para que el G.I.S. pueda emitir estos resultados, debe previamente realizar operaciones de unión y combinación de datos espaciales con datos "no espaciales":

☞ Operaciones espaciales: Muchos programas usados en el mercado como ser planillas de cálculo, paquetes estadísticos y paquetes para diseño pueden manipular datos espaciales. ¿Por qué, entonces, estos programas no son identificados como productos para G.I.S.? En general, un sistema es un G.I.S. cuando permite operaciones espaciales sobre los datos. Veamos algunos ejemplos:

- Ejemplo N° 1: ¿Cuál es el promedio de personas que trabajan en electrónica en cada ciudad?. Para satisfacer esta pregunta, no es necesario usar datos como latitud y longitud de las ciudades, ni tampoco es necesario conocer la relación geográfica que existe entre ellas.

- Ejemplo N° 2: ¿Cuántas personas trabajan en electrónica en el sur del país? ¿Cuáles de las ciudades que poseen gente que trabaja en electrónica están a menos de 400 Km. una de otra? ¿Cuál es la ruta más corta que me permitiría visitar todos esos centros poblacionales?. Este tipo de preguntas necesitan ser respondidas usando datos de latitud y longitud como así también otras informaciones como la curvatura de la tierra.

En este contexto, la pregunta del ejemplo N° 1 puede ser respondida con programas como los antes mencionados (planillas de cálculo, etc.), mientras que las preguntas del ejemplo N° 2 solamente pueden ser respondidas usándose un G.I.S.

☞ Unión de datos: Solamente un G.I.S. puede unir datos geográficos y no geográficos.

Supongamos que queremos conocer el índice de mortalidad por accidentes de tránsito entre personas menores de 25 años (dato no geográfico) en cada ciudad, provincia o país (dato geográfico). Tenemos que tener en cuenta que datos está en archivos separados que necesitan ser relacionados para obtener resultados.

A continuación se detallan las diferentes formas en que un conjunto de datos puede ser combinado.



- **Combinación exacta:** Ocurre cuando se tiene información de las entidades geográficas en un archivo (por ej. de los municipios) y se tiene además, otro conjunto de informaciones adicionales en otro archivo (conteniendo la misma serie de entidades). En este caso, la operación para recuperar datos es bastante simple, ya que se puede usar una clave común a ambos archivos para relacionarlos.

- **Combinación jerárquica:** Algunos tipos de información son recolectados con mayor detalle y con mayor frecuencia que otros. Por ejemplo, los datos de finanzas y desempleo cubren grandes áreas, pero son recolectados en áreas pequeñas y en intervalos pequeños de tiempo. Cuando es necesario agrupar varias áreas pequeñas (ciudades, pueblos, etc.) para obtener datos de un área mayor (partidos, provincias, países) es necesario usar una combinación jerárquica. El proceso consiste en tomar secuencialmente los valores de las áreas pequeñas hasta obtener totales por zona, los cuales serán utilizados para hacer una combinación exacta. Por ejemplo, si queremos tener datos sobre el desempleo en Argentina, será necesario totalizar los valores de las ciudades de cada provincia para luego realizar una combinación exacta con información geográfica de las provincias.

- **Combinación por cobertura:** Generalmente los límites de áreas que representan diferentes cosas no coinciden. Por ejemplo, los límites de plantaciones están dados por el perímetro del establecimiento rural en el cual está la plantación, por lo tanto, rara vez coinciden con la división natural que existe en cuanto a la productividad del suelo. Entonces, si se quisiera determinar el suelo más productivo para un determinado cultivo sería necesario analizar dos tipos de datos. Para resolver situaciones de este tipo es necesario tener la información agrupada por temas para poder realizar la cobertura del área y obtener los resultados esperados.

2.3.6 Características operacionales de los G.I.S.

- La representación de datos debe soportar:
 - Datos descriptos en términos de funciones con atributos.
 - Una adecuada codificación de redes (geometría y topología) con vistas a operaciones de ruteo.
 - Un lenguaje de definición de datos que relacione las necesidades de los usuarios y las aplicaciones.
 - Estructuración topológica de datos geométricos.
 - Distinción de la representación gráfica de los datos y de su representación geométrica.
 - Datos en 2D y 3D.
 - Almacenamiento de conjuntos temporales de datos.
 - Modelos básicos o funciones de análisis espacial de manera que algunos análisis elementales puedan ser realizados sin que el usuario tenga que escribir su propio software.



➤ En cuanto a la arquitectura de datos un G.I.S. debería:

- Disponer de un servidor de archivos central que soporte un único volumen de disco o múltiples volúmenes distribuidos.
- Permitir el enlace de Bases de Datos Geográficas con otras bases de datos relacionales.

➤ Con respecto al acceso de los datos el sistema tendría que disponer de:

- Acceso multiusuario.
- Análisis de conjunto de todos los datos que componen la BD sin que sea necesario crear subconjuntos de la misma.
- Sistemas de optimización que agilicen los procesos de búsquedas espaciales como ser el uso de curvas de nivel.
- Un lenguaje de alto nivel que permita el acceso a los datos además de menús e iconos que sirvan para tal fin.
- Un mecanismo que permita separar los datos propiamente dichos de los programas que los usan.
- Independencia entre BD y programas.

➤ Para la integridad de datos es necesario que:

- Existan dispositivos para asegurar la integridad de datos geométrica, topológica y de atributos especialmente cuando los datos no están en una misma BD.
- Se asegure la propagación, en las BD, de las modificaciones que afecten a la geometría, topología y atributos.
- Cualquier segmentación física de los datos debe ser transparente al usuario, es decir, que la BD debe parecer continua para el usuario.
- Puedan manipularse datos, siempre y cuando no estén estos siendo modificados por otro proceso.

➤ Se provee consistencia de datos si:

- La consistencia de datos se realiza automáticamente durante todos los procesos de entrada y actualización de estos.
- El sistema debe permitir asociar "indicadores de calidad" a cada función, atributo, capa, etc.

➤ Seguridad de datos:

- Se debe proveer regulación de uso a través de passwords.
- Deben existir restricciones de acceso a:
 - Datos espaciales de la BD.
 - Clases de funciones o capas.

➤ Protección de datos:



- Debe proveer un mecanismo para la realización de Backups en intervalos de tiempo regulares.
- Se debe tener el registro permanente de la transacciones (usuario-sistema) de manera de permitir la recuperación en caso de falla del sistema.

➤ Lenguaje de consultas:

- Debe tener una interfase amigable con el usuario.
- La interfase para consultas debe permitir al usuario generar y manipular consultas SQL.
- Debe permitir la integración de extensiones del lenguaje SQL de manera de poder utilizar operadores espaciales (además de los operadores lógicos existentes).
- Debe disponer de mecanismos para posibilitar el agrupamiento lógico temporario de campos de más de una tabla.
- Tiene que permitir la administración de conjuntos seleccionados de datos por parte de funciones de análisis de datos.
- Tiene que ser posible que los registros extraídos de un conjunto seleccionado de datos sean ordenados por más de una clave de ordenación.
- Las operaciones de selección y salida de datos deben realizarse de manera independiente.

➤ Generación de informes impresos:

- El usuario debe poder definir el contenido y formato de sus informes.
- Debe brindar la posibilidad de WYSIWYG (What You See Is What You Get) para que el usuario pueda ver en pantalla el aspecto que tendrá su informe.

➤ Administración de la base de datos:

- Debe permitir cambiar de lugar una Base de Datos sin que el usuario note algún efecto.
- Algunos usuarios con privilegios deben poder crear y/o modificar Bases de Datos.

➤ Entrada de datos:

- Se deben poder absorber archivos existentes (en diferentes formatos).
- Debe permitir entradas por teclado, tableta digitalizadora, scanner, etc.
- Debe soportar procesamientos elementales de topografía.
- Tiene que poderse asociar funciones a puntos, líneas o áreas.
- En las entradas de texto debe verificar que sean valores válidos.
- Debe disponer de recursos para "Generalización" en la etapa de digitalización de manera tal de eliminar automáticamente las redundancias generadas por el usuario.
- Debe apoyar al usuario en procesos como cerramiento de polígonos, reconocimiento de extremidades de líneas, como así también en crear topología.
- Se tiene que disponer de una amplia gama de transformaciones entre sistemas de proyección.
- Debe facilitar el ajuste de bordes entre hojas de mapas.



- Tiene que ofrecer recursos automáticos de backup durante la entrada de datos (por ejemplo, en la etapa de digitalización).
- Debe soportar la transferencia de datos entre Bases de Datos.

➤ Durante la edición de datos debe:

- Localizar con eficiencia y rapidez cualquier característica o conjunto de características.
- Permitir eliminación de características o parte de ellas. Creación de características y creación o modificación de sus atributos.
- Permitir la unión forzosa de puntos o alineamiento forzoso de puntos de una línea.
- Realizar posicionamiento automático de textos y símbolos en mapas realizando el reposicionamiento automático cuando se realizan cambios de escalas.
- Permitir que el usuario defina el posicionamiento de texto y símbolos.
- Permitir que el usuario defina límites de tolerancia para que dos puntos sean considerados como el mismo punto en procesos de edición y análisis.

➤ En cuanto a la manipulación de datos debe:

- Permitir la recuperación de datos por código o clase de característica, por atributo o clase de atributo, por ubicación o por criterios combinados (espaciales y no espaciales).
- Realizar operaciones geométricas tales como cálculos de distancias, perímetros, áreas, etc.
- Disponer de recursos para la generación de buffers (áreas de influencia) alrededor de puntos, líneas o regiones.
- Brindar facilidades para funcionar en red.
- Permitir la superposición entre polígonos o familias de polígonos, favoreciendo la generación de operaciones de unión y de intersección. El resultado de esas operaciones debe ser un conjunto de polígonos identificables (nuevas características).
- Generar áreas de búsqueda a través de la utilización de recursos de "buffer" y "overlay".
- Realizar operaciones de generalización y suavización de líneas y polígonos de acuerdo a los cambios de escalas.
- Disponer de recursos para la generación y utilización de MDT (Modelo Digital de Terreno).
- Brindar facilidades para trabajar con isovalores a partir de modelos digitales de terreno.
- Permitir la generación de perspectivas de modelos digitales de terreno con superposición de características o temas.

2.3.7 Manipulación de datos en G.I.S.

La manipulación de datos comprende varios aspectos:

2.3.7.1 Recuperación de datos

Dado que un G.I.S. debe permitir la recuperación de información según criterios espaciales y no espaciales veremos algunos ejemplos que ilustran las posibilidades de obtener información de un G.I.S.



- Recuperación de datos espaciales según criterios no espaciales:
"Quiero ver las parcelas de una ciudad que tengan más de 600 m² de superficie.
- Recuperación de información no espacial según criterios no espaciales:
"Quiero saber cual es la capacidad de drenaje de los tipos de suelo con buen potencial de urbanización".
- Recuperación de información espacial según criterios espaciales:
"Deseo ubicar las escuelas que están a un radio menor de 2000 metros alrededor del obelisco".
- Recuperación de información no espacial según criterios espaciales:
"¿Que cantidad de habitantes tienen las ciudades que están ubicadas a más de 1000 metros sobre el nivel del mar ?".

La manipulación de datos no espaciales conforme a criterios no espaciales puede hacerse mediante bases de datos convencionales, mientras que las otras solamente pueden ser realizadas con un G.I.S.

2.3.7.2 Manipulación de datos vectoriales

Acá serán analizadas operaciones sobre datos de características posicionales y topológicas (conceptos que serán descriptos más adelante).

- Determinación de polígono envolvente

El polígono envolvente de uno o más objetos está formado por una poligonal cerrada que envuelve los objetos con un margen de tolerancia.

El cálculo de polígono envolvente puede ser usado en la solución de una gran cantidad de problemas en un G.I.S. Tal vez el caso más común es la identificación de objetos cuya distancia a otros objetos es menor o mayor que un cierto valor.

- Unión de áreas

Esta operación se utiliza para transformar áreas contiguas en una única área. La unión de áreas puede usarse, por ejemplo, para hacer que dos establecimientos rurales contiguos que tienen el mismo propietario se conviertan en un único establecimiento.

- Intersección

Esta operación se utiliza para calcular objetos a partir de la intersección de objetos de uno o más mapas y puede servir para recuperar información del tipo "quiero identificar los barrios de Capital Federal que están localizados alrededor de las vías del ferrocarril". Otro ejemplo, es determinar la erosibilidad del suelo de una región determinada a partir de información sobre tipo de suelo, tipo de vegetación, precipitaciones e inclinación de terreno.



➤ Cálculo de distancias y áreas

Permite calcular el área y la distancia entre dos objetos.

➤ Manipulación de conexiones entre puntos

Este tipo de manipulación permite solucionar problemas como calcular costos de desplazamiento entre dos nodos y definir caminos en una red. Aquí podemos citar una aplicación bastante interesante que consiste en calcular el mejor lugar para ubicar un servicio (hospital, escuela, comercio, etc., etc.) de manera tal de beneficiar al mayor número de usuarios y minimizar el costo de desplazamiento hasta el local de servicios.

2.3.7.3 Manipulación de datos raster

Muchos G.I.S. comerciales ofrecen manipulación de datos raster debido a la simplicidad de implementación de estas operaciones. Las principales operaciones con datos de este tipo son:

➤ Cálculo de área

Calcula el área ocupada por los píxeles o células de un determinado peso o valor.

➤ Reclasificación

Asocia un mismo valor a células cuyos valores son especificados. Es semejante a la unión de áreas.

➤ Operaciones lógicas

Permite realizar combinaciones entre uno o más datos raster. El mapa resultante suministra informaciones combinatorias.

➤ Operaciones aritméticas

Estas operaciones permiten obtener nuevos datos a través de operaciones de suma, resta, multiplicación y división de los valores de las células.

2.3.7.4 Manipulación de datos en MDT (Modelo Digital de Terreno)

Entre las principales operaciones con este tipo de datos tenemos:

➤ Cálculo de contornos

Consiste en calcular isolíneas.

➤ Cálculo de perfiles

Consiste en calcular como se comporta el terreno a lo largo de una línea.



➤ Cálculo de visibilidad

Comprende la determinación de visibilidad o no visibilidad de un punto teniendo en cuenta las variaciones del terreno.

➤ Cálculo de volumen

Permite calcular el volumen comprendido entre un plano de corte y el terreno.

➤ Cálculo del camino mínimo

Consiste en determinar el camino mínimo (mínimo = menor distancia, menor costo, etc.) para desplazarse de un punto a otro del terreno.

➤ Rellenos

Consiste en redefinir el MDT indicando los valores de terreno que deben estar sumergidos.

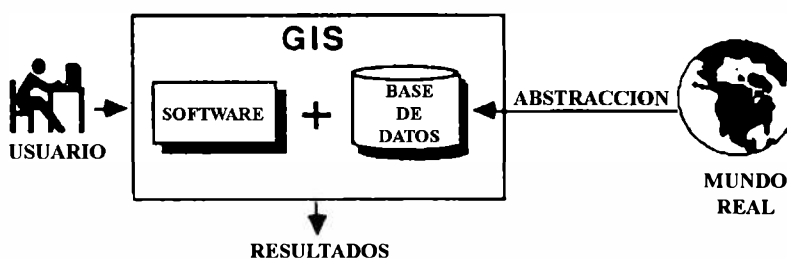
➤ Cálculo de gradiente

Se trata de calcular la inclinación y orientación de partes del terreno.

Además de las operaciones mencionadas cabe destacar la capacidad de visualización en 3D que poseen los MDTs.

2.3.8 Componentes de un G.I.S.

La siguiente figura presenta los principales componentes de un G.I.S.

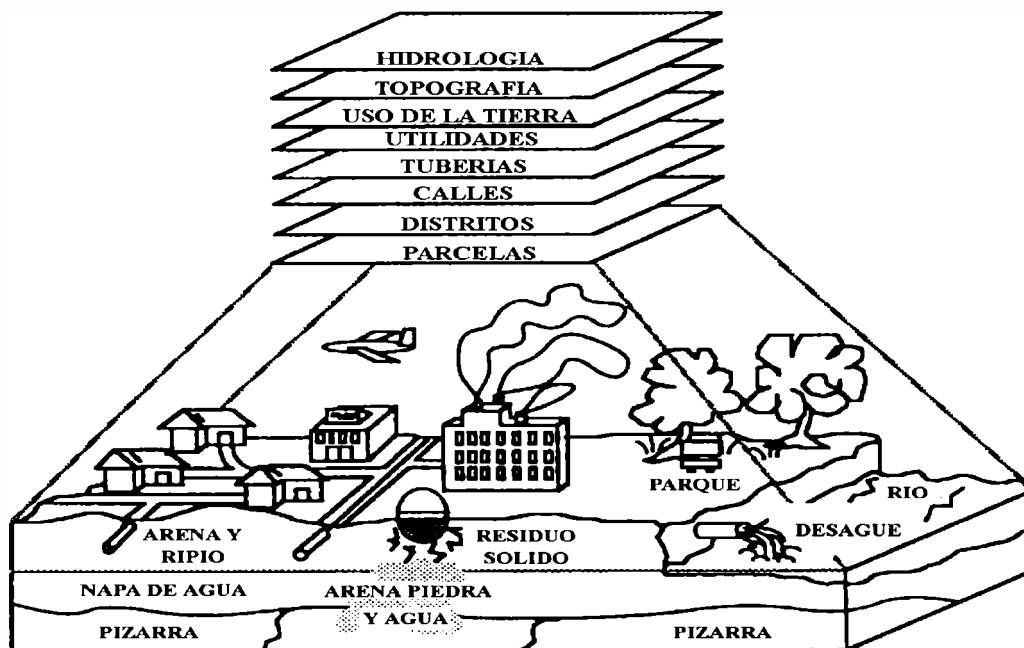


- ◆ El **usuario** es un componente ya que de él dependen las entradas y las salidas. Deberá conocer del dominio de la aplicación, usar la información almacenada, buscar soluciones, simular problemas y generar prototipos e informes.
- ◆ El **sistema** es una herramienta que permite:
 - Entrada de datos
 - Análisis de datos
 - Manipulación de datos



- Consultas
- Visualización y generación de informes

- ◆ La **Base de Datos** tiene como objetivo registrar y mantener la información.
- ◆ El **mundo real** comprende todos los objetos geográficos de la superficie y subsuelo de la Tierra que pueden ser representados numérica o gráficamente. Esta es la fuente de información de un G.I.S.



2.3.8.1 Preguntas que un G.I.S. debe responder

➤ Preguntas de localización

¿Donde está un objeto, fenómeno o evento determinado? Esta localización puede ser descripta de varias maneras, por ejemplo, usando el nombre del lugar, el código postal, o una referencia geográfica como puede ser latitud y longitud de lugar.

➤ Preguntas de condición

En vez de identificar lo que existe en un determinado lugar, acá se quiere encontrar algún sitio que cumpla con determinadas condiciones. Por ejemplo, "deseo saber en que lugar existe un terreno sin forestación con más de 2000 m². de superficie y que esté ubicado a menos de 100 mts. de una ruta pavimentada".

➤ Preguntas sobre tendencias

Al responder a este tipo de preguntas un G.I.S. informa los cambios producidos dentro un área en un determinado período. Por ejemplo, "¿Qué empresas de la Capital Federal han cambiado de domicilio en el último semestre?".



➤ Preguntas sobre modelos

Al ser respondidas, permiten identificar si existen situaciones fuera de modelo. Es decir que si hacemos una pregunta tendiente a determinar los índices de mortalidad por cáncer en las zonas cercanas a centrales nucleares, podríamos sacar conclusiones respecto de si coinciden ambas zonas o no (las zonas con alto índice de mortalidad por cáncer y las zonas cercanas a las centrales nucleares).

➤ Preguntas para simulación

Estas son preguntas del tipo "Que pasaría si ...". Se utilizan para realizar simulaciones en base a supuestos para determinar su efecto en caso de convertirse en realidad. Por ejemplo, ¿QUE PASARIA SI una nueva ruta se agregara al sistema de carreteras existente?, ¿QUE PASARIA SI un elemento tóxico fuera volcado a la red de agua potable de una ciudad?. Para responder este tipo de preguntas muchas veces es necesario analizar, además de la información geográfica, otro tipo de información como ser la legal.

2.3.9 ¿Que cosa NO es un G.I.S.?

☞ Un G.I.S. no es simplemente un sistema computacional para hacer mapas, aunque puede crear mapas en diferentes escalas, en diferentes proyecciones y con diferentes colores. Un G.I.S. es un sistema de análisis. La principal ventaja de un G.I.S. es que este permite identificar las relaciones espaciales entre las entidades de los mapas.

☞ Un G.I.S. no almacena un mapa en las formas convencionales. No almacena imágenes o señas particulares de un área geográfica. Por el contrario, un G.I.S. almacena los datos teniendo en cuenta que estos podrán ser editados y rediseñados para propósitos específicos.

2.3.10 Sistemas de Información Geográfica. Una realidad de hoy

Analizando los conceptos hasta acá vertidos, podemos pensar en las ventajas que ofrecen estas tecnologías hoy por hoy.

Considerando el potencial del G.I.S. tenemos:

- Una nueva era de manejo de información.
- Realimentación de datos.
- Análisis de datos.
- Bajo índice costo/beneficio.

Considerando la eficiencia operacional observamos:

- beneficios tangibles:
 - Tiempo
 - Dinero



Recursos
Productividad

- Beneficios intangibles:
 - Toma de decisiones precisas
 - Motivación
 - Eficiencia original

Considerando una visión corporativa o comercial contamos con:

- Precisión de información (estrategia técnica).
- Datos tratados por la misma Organización.
- Ventaja competitiva en el mercado.
- Productividad con reducción de esfuerzo.
- Administración eficiente de datos evitando duplicaciones.

Considerando al usuario final tenemos:

- Tecnología madura, flexible y amigable.
- Capacidad de nuevos análisis.
- Disponibilidad comercial de mapas digitales y bases de datos para evitar esfuerzos de relevamiento.

Considerando a la sociedad como la destinataria de lo producido a través de tecnologías G.I.S., tenemos que tener en cuenta los beneficios obtenidos cuando se construyen escuelas, hospitales, redes de gas, agua y transporte que previamente han sido analizadas y/o simuladas en un G.I.S.



2.4 Datos Geográficos

La geografía, así como los datos que la describen, forma parte del mundo nuestro de cada día. Periódicamente, cada decisión que tomamos está influenciada por factores geográficos. Pensemos en situaciones como mudar nuestra residencia habitual, buscar un nuevo trabajo, o simplemente localizar una dirección en una gran ciudad como Bs. As.

Cada una de estas experiencias cotidianas se ven relacionadas en mayor o menor medida con datos geográficos. Para mudarnos, tendremos en cuenta algunos datos de nuestro potencial nuevo domicilio: cercanía a los medios de transporte, cercanía a escuelas, cercanía a Instituciones (Bancos, Municipalidad), servicios que tiene la zona (cloacas, gas, etc.), como así también, tendríamos que pensar en algunos de estos aspectos si estuviéramos por cambiar de lugar de trabajo.

Según estudios realizados, el 90 de las decisiones tomadas por comisarías, Municipalidades, Gobernaciones y Ministerios están influenciadas por datos geográficos.

Un G.I.S. debe permitir el entendimiento de fenómenos espaciales realizando análisis sobre datos geográficos. Un dato geográfico se puede descomponer (conceptualmente) en dos elementos: por un lado, la *observación o soporte*, una entidad de la realidad sobre la cual se observa un fenómeno, por otra, la *variable o atributo temático*, que puede ser cualquier hecho que adopte diferentes modalidades en cada observación. Es decir, que los objetos espaciales están dotados de propiedades intrínsecas que se pueden medir, cada una de ellas constituye una variable o atributo temático asociado a un objeto. Los dos tipos de elementos (observaciones y variables temáticas) pueden ser manejados eficientemente por un G.I.S.

Además, las unidades de información geográfica (o entidades geográficas) se pueden dividir en dos clases: Naturales y Artificiales.

Las unidades de observación Naturales son aquellas donde la referencia espacial es intrínseca al propio hecho observado, por ejemplo, la subdivisión de un territorio de acuerdo al uso del suelo. Por otra parte, las unidades de observación artificiales son aquellas creadas por el hombre, en las cuales la referencia espacial es extrínseca y ajena a los fenómenos o variables temáticas medidas en ellas. Un ejemplo es la división del espacio en unidades administrativas. En este caso no existe ninguna razón natural para establecer fronteras de separación, dado que la definición humana de límites generalmente es arbitraria.

2.4.1 Componente espacial de datos geográficos

La componente espacial de un objeto geográfico puede considerarse desde dos aspectos: la "localización geométrica o absoluta" y las "relaciones topológicas".

En el primer aspecto se hace referencia a la localización en relación a algún sistema de referenciación como ser un sistema de coordenadas, mientras que en el segundo enfoque se consideran las relaciones topológicas cualitativas que mantiene el objeto con otros objetos espaciales.



2.4.2 Combinación entre componente temática y componente espacial

La existencia de dos clases de elementos en un dato geográfico, el aspecto espacial y el aspecto temático, ocasiona que el análisis de los datos geográficos se pueda plantear desde tres perspectivas diferentes.

Considerando únicamente el aspecto temático y haciendo abstracción de que los objetos a los cuales se ha medido las variables son espaciales, se pueden estudiar los hechos desde una perspectiva puramente estadística o de análisis de datos, usando para ello la gran variedad de procedimientos disponibles en este sentido. Muchos de ellos han sido desarrollados para otro tipo de datos y luego han sido incorporados a la geografía sin ninguna variación, lo cual ocasiona algunos problemas.

En segundo lugar, es posible considerar aisladamente el aspecto espacial de los datos geográficos y estudiar sus características geométricas puras. En este sentido, la Geografía a desarrollado procedimientos que constituyen el denominado Análisis Espacial.

Finalmente, lo más oportuno y completo es el estudio simultáneo de los dos aspectos, el temático y el espacial, pues es evidente que ambos interaccionan permanentemente y que los G.I.S. constituyen una herramienta de primer orden para esta tarea.

2.4.3 Mapas e información geográfica

La utilidad de un mapa es amplia y variada; almacena de un modo económico grandes cantidades de datos, y lo hace de tal modo que permite y facilita ciertos tipos de análisis de la estructura espacial de la información en él contenida. En cierto sentido los G.I.S. han heredado muchas de sus cualidades y las han mejorado.

2.4.3.1 Mapa tradicional y G.I.S.

Los aspectos que se pueden distinguir en un mapa tradicional coinciden esencialmente con los ya mencionados de los datos geográficos. Así, por un lado está la componente espacial de los datos geográficos con sus dos elementos constituyentes: la *localización geométrica* sobre la superficie del mapa que se refleja generalmente en ejes coordenados ortogonales X e Y y las *relaciones topológicas* entre los objetos geográficos (conectividad, contigüidad, proximidad, inclusión, etc.) representadas implícitamente en los mapas tradicionales pero no muy claras para los usuarios.

El segundo aspecto es la información temática contenida en el mapa, la cual se puede considerar como que está referida a un tercer eje perpendicular a los otros dos (eje Z).

La información recogida en un mapa se puede definir, por lo tanto, en relación a ambos aspectos mencionados, los tipos de objetos o unidades de observación y las diversas formas en que se mide u observa la característica temática, es decir, el contenido. De esta manera se puede establecer una tipología de los mapas.

2.4.3.2 Tipos de Mapas

Existen, inicialmente, dos tipos de mapas: de base (o referencia) y mapas temáticos. En los primeros la información temática contenida es amplia y variada



representándose en ellos varios hechos simultáneamente. Su finalidad principal es proporcionar la localización de alguna característica. Ejemplos de ellos son las cartas del I.G.M. (Instituto Geográfico Militar) y los mapas de rutas utilizados comúnmente por viajeros.

Los mapas temáticos, por su parte, contienen una menor cantidad de información generalmente referida a una sola variable o tema. Su objetivo básico es facilitar el conocimiento de la estructura espacial de la variable representada, mientras que la información sobre la mera localización de un hecho es de menor importancia.

Por otra parte, en función de los dos elementos que se han definido en los datos geográficos, los mapas se clasifican en varios tipos a partir de dos criterios diferenciadores:

- El tipo concreto de información temática contenida en el mapa, que es diferente según el nivel de medida empleado en su obtención.
- Las características topológicas de las unidades de observación en las cuales se ha medido la información temática.

2.4.4 Medición de la información temática

El proceso de medir un hecho empírico es el conjunto de procedimientos que permite asignar símbolos (normalmente numéricos) a las distintas variantes que adopta una característica (una variable) en cada unidad de observación.

La medición pone en relación dos mundos diferentes ; uno físico, en el cual el hombre puede realizar observaciones, con otro mundo formal y teórico donde solamente se manejan relaciones abstractas y lógicas. Por ello, es necesario tener varias escalas de medida, cada una de ellas adaptada a las propiedades de alguna/s variable/s de la realidad. Las escalas de medida difieren en el número de relaciones matemáticas que se pueden establecer entre las modalidades o variantes de una característica real; en concreto, se pueden enumerar cuatro escalas de medida: nominal, ordinal, de intervalos y de razón.

2.4.4.1 Escala nominal

En esta escala, la única relación que se establece entre las variantes de la característica estudiada es la de ser *iguales* o *diferentes*. Sobre una característica observada en dos objetos espaciales lo único que se puede afirmar es que es igual en los dos objetos, o que es diferente. Los hechos de este tipo son habituales en Geografía y en el resto de las ciencias sociales. Por ejemplo, la característica sexo medida en las personas pertenece a este tipo.

El nivel de medida nominal posee las propiedades de simetría y transitividad.

Como se ve, este nivel de medida es elemental y se observa que acá los números operan como simples etiquetas de identificación que se asignan a las modalidades de la variable temática observada. De este modo se realiza una operación de clasificación la cual para ser válida necesita que las modalidades empleadas sean exhaustivas (ninguna unidad de observación debe quedar sin clasificar) y mutuamente exclusivas (ningún objeto espacial puede pertenecer a más de una categoría); de este modo es posible aplicar ciertos métodos de análisis estadísticos a este tipo de variables.



2.4.4.2 Escala ordinal

El segundo nivel de medida es el ordinal. Acá las relaciones que se pueden establecer entre las modalidades de una variable empírica son dos: la ya conocida *igualdad/desigualdad* de la escala nominal, pero además, también es posible decir si una modalidad es *mayor/menor* que otra modalidad de la variable. En este caso, las variables medidas en la escala ordinal son tales que además de diferenciar entre las modalidades de ellas, como ocurría en el nivel anterior, es posible establecer un juicio comparativo del orden de magnitud de la diferencia existente entre dos modalidades y de ese modo afirmar si una variante es mayor o menor que otra. Este nivel cuenta con las propiedades de *simetría* y *transitividad* a igual que el nivel anterior y además cuenta con la propiedad de *antisimetría*.

Es importante saber que la distancia entre las variantes de una variable ordinal no están definidas, por lo tanto, no se puede afirmar nada sobre la diferencias entre los números a ellas asignadas. Por lo tanto las operaciones aritméticas (suma, resta, etc.) no están legitimadas en estas variables. Un ejemplo sobre el uso de este tipo de escalas es el caso de las encuestas sociales donde es frecuente pedir a los encuestados que ordenen de mayor a menor su preferencia sobre algunos hechos, ya que resultaría poco razonable pedir una precisión mayor en algunas respuestas de preferencia (no es posible indicar cuantas veces más/menos nos gusta ir a un comercio de barrio que a un hipermercado).

2.4.4.3 Escala de intervalos

En este caso, entre las modalidades de una variable observada es posible establecer hasta tres relaciones matemáticas: la de *igualdad/desigualdad*, la de *mayor/menor* y la capacidad de asignar valores numéricos a las *distancias/diferencias entre dos modalidades* de la variable. Para ello es necesario poder establecer, por una parte, una unidad empírica de medida y por otra, que sea posible contabilizar cuantas veces está contenida dicha unidad de medida en la distancia entre dos modalidades de la variable. Igualmente, es necesario que se pueda fijar un cero u origen de la medición, el cual se establece arbitrariamente en una modalidad concreta. Entre los números utilizados para medir una variable de intervalos es posible realizar ciertas operaciones aritméticas como la suma y la resta. Además, la multiplicación y la división se pueden realizar entre las diferencias de esos números (pero no entre ellos mismos). Para comprobarlo se puede observar el siguiente ejemplo:

Se han tomado tres mediciones de una misma variable (la temperatura de un cuerpo) usando dos *escalas de intervalo* diferentes (Celsius y Fahrenheit) y se observó lo siguiente:

CUERPO	CELSIUS	FAHRENHEIT
A	0	32
B	10	50
C	40	104

En este caso, el cociente entre dos diferencias permanece constante para ambas



escalas. La división de las diferencias entre C y B, y entre B y A en ambas escalas es:

$$\text{Celsius: } (40-10) / (10-0) = 3$$

$$\text{Fahrenheit: } (104-50) / (50-32) = 3$$

Sin embargo, no se puede afirmar que la temperatura C (40 grados Celsius) sea cuatro veces la B (10 grados Celsius) ya que la relación entre C y B en la escala Fahrenheit indica que es solamente 2,08 veces mayor.

La causa de este problema es la existencia de un cero arbitrario fijado en la temperatura en la que se congela el agua en la escala Celsius y en otro valor diferente en la escala Fahrenheit. En este nivel solo son admitidas transformaciones lineales ($Y=aX+b$ siendo a,b constantes).

Un ejemplo de variables sociales medidas en este nivel es el tiempo. Para su medición se establece una unidad, por ejemplo el año, y de este modo se averigua cuantos años (cuantas unidades de medida) existen entre dos modalidades de la variable, como ser la fecha de creación de la U.N.L.P. y la fecha de creación de la Facultad de Ciencias Exactas, pero no existe un origen o cero absoluto como lo muestra la existencia de calendarios con distintos orígenes: el cristiano, el musulmán, etc.

2.4.4.4 Escala de razón

En este caso, a las relaciones antes mencionadas se agrega la posibilidad de que en una variable se determinen cuantas unidades de medida existen entre una modalidad y un punto cero u origen absoluto de la variable. De este modo es posible averiguar cuantas veces la modalidad A es mayor que la B, es decir cuantas unidades de medida está esa modalidad más que la otra alejada del origen. Todas las variables geográficas obtenidas mediante la agregación de individuos se pueden incluir entre las variables de razón: la edad de una persona, la población de una ciudad, los gastos de una región, etc.

Todas ellas se establecen contando algo: años desde el nacimiento, personas, dinero y en todas ellas existe un cero absoluto que representa la no existencia del elemento contabilizado. En este nivel, las medidas soportan las cuatro operaciones básicas (+, -, *, /) y el único elemento arbitrario es la unidad de medida establecida para la variable. En un mapa temático, un ejemplo de variable de razón puede ser el número de habitantes de las regiones en que se encuentra dividido el mapa, o la densidad de población de las regiones. Otro ejemplo es la superficie de partidos, provincias, etc. ya que la extensión territorial es una característica que posee un cero absoluto: la no existencia del partido o provincia en cuestión.

2.4.4.5 Variables discretas y continuas

En muchas ocasiones es importante diferenciar entre variables de tipo continuo y discreto. Una variable continua es aquella cuyas modalidades pueden adoptar infinitos valores extraídos de una escala numérica ininterrumpida y una variable discreta tiene modalidades que solo adoptan algunos de los números enteros posibles. Un ejemplo de variable continua es la latitud y longitud geográfica, ya que siempre es posible pensar en un valor intermedio entre otros dos cualesquiera; mientras que una variable discreta

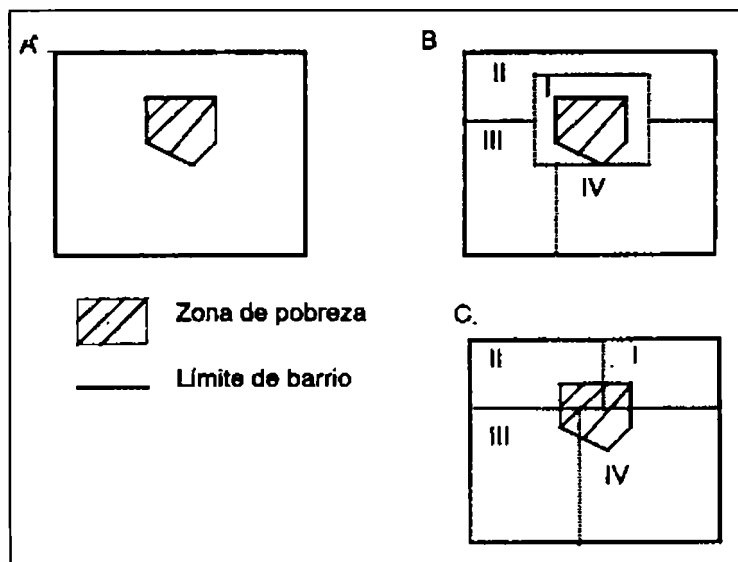


podría ser la cantidad de ganado que hay en una provincia, dado que no es posible pensar en un número que no sea entero para tal modalidad.

2.4.5 Problema de la unidad espacial modificable (PUEM)

La utilización de unidades de observación geográfica de carácter artificial determina la aparición de problemas específicos muy importantes en el análisis de los datos geográficos. El PUEM reside en el hecho de que algunas entidades geográficas son artificiales y arbitrarias, por lo tanto sus fronteras no son naturales ni tampoco fijas, con lo cual podríamos modificarlas sin ningún impedimento. El cambio de las fronteras de una entidad geográfica puede traer grandes repercusiones sobre los valores alcanzados por una variable asociada a ella.

Veamos el siguiente gráfico:



La existencia de una zona de pobreza que muestra la figura A puede quedar de manifiesto como se muestra en B o ser enmascarada como se observa en C según por donde pasen las fronteras de los barrios de la ciudad. De este modo, un intendente interesado en la desaparición estadística del foco de pobreza solamente tiene que modificar el trazado de los barrios para que ninguno de ellos quede por encima de un nivel predefinido de pobreza.

Este mismo fenómeno tiene grandes efectos sobre cualquier procedimiento de análisis estadístico o matemático aplicado a variables temáticas medidas sobre unidades de observación artificiales.

De hecho, muchos políticos han utilizado esta circunstancia para ganar elecciones sin llegar a reunir la mayoría de los votos creando distritos electorales que favorezcan a un partido y perjudiquen a otro. Esto se logra repartiendo la zona de apoyo más firme de un partido político entre varios distritos contiguos en cada uno de los cuales predomina la otra opción electoral.



2.5 Captura y entrada de datos geográficos

2.5.1 Métodos de captura de datos espaciales

La captura y manipulación de datos espaciales es una de las tareas necesarias para la creación y mantenimiento de un G.I.S.

La precisión de los mapas depende del método de captura de datos, de la calidad de la fuente de datos y del patrón de precisión adoptado (este varía de aplicación en aplicación), por lo tanto, una misma región puede estar representada mediante diferentes patrones de precisión, causando limitaciones para ciertos tipos de usos que no fueron pensados en el momento de decidir el patrón de precisión.

Los métodos más comunes usados para la captura de datos son:

- ✓ Geodésico
- ✓ Fotogramétrico
- ✓ Conversión de mapas
- ✓ Sensado remoto

2.5.1.1 Método geodésico

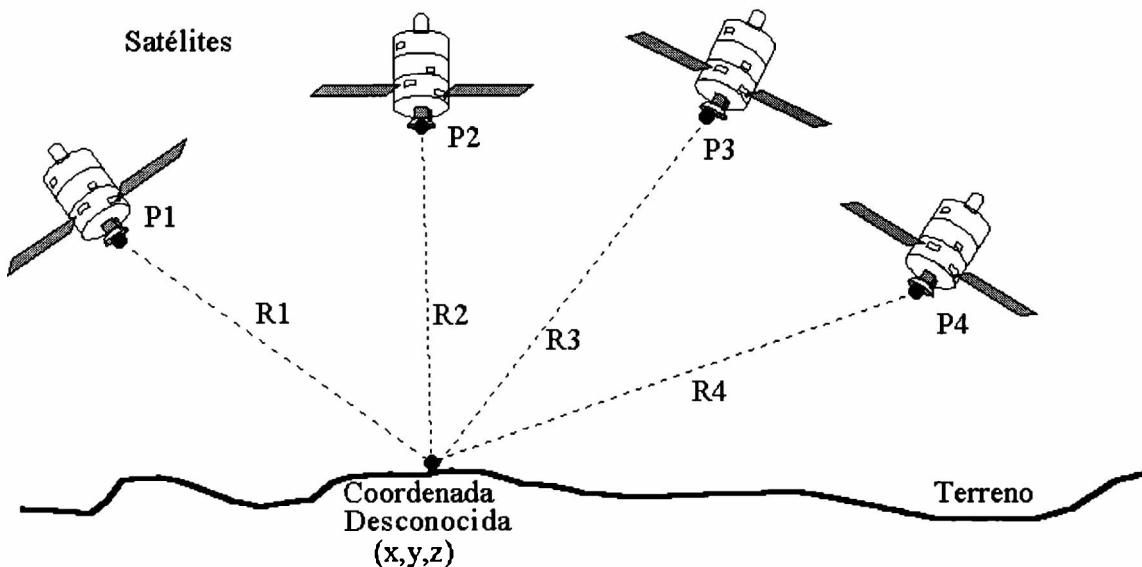
En este método, las observaciones pueden realizarse de dos maneras:

- En forma remota
- En el lugar

Estas observaciones son realizadas para determinar las coordenadas de los puntos de control, teniendo en cuenta la curvatura de la tierra, interferencias atmosféricas, etc.

Para realizar observaciones **en forma remota** se utiliza una técnica denominada GPS (Global Positioning Systems) que consiste en recibir y registrar señales de satélites para poder determinar las coordenadas de los puntos de control de un lugar determinado.

La tecnología GPS se basa en el siguiente principio: "Si las coordenadas tridimensionales $P1(X1, X2, X3)$, $P2(Y1, Y2, Y3)$ y $P3(Z1, Z2, Z3)$ de tres estaciones de control son conocidas, como así también sus distancias ($R1, R2, R3$) respecto de una estación desconocida, es posible calcular la posición tridimensional de esta última".



En GPS, las estaciones de control son los satélites, cuyas coordenadas de órbita pueden ser determinadas con precisión. Para medir distancias, los satélites poseen relojes atómicos de máxima precisión (podrían variar un segundo cada 30.000 años).

Cada satélite transmite su tiempo y su posición hacia la Tierra. Si se colocara un reloj con la misma precisión en una estación desconocida, la distancia Tierra-Satélite se obtendría calculando el tiempo que demora la señal en llegar desde el satélite a la estación desconocida sobre la Tierra. Este método exige que al menos tres satélites sean vistos simultáneamente, debido a que los relojes de los receptores son de menor precisión y por lo tanto las distancias calculadas resultarían inexactas. Esa diferencia de tiempo es un error sistemático que puede ser determinado si se tiene información de un cuarto satélite por órbita. Hasta el año 1992 había 21 satélites en órbita sobre la Tierra girando a una altura de 21.000 Km. en 6 planos orbitales.

Cuando las observaciones son realizadas en forma directa, **en el lugar**, se utiliza la técnica topográfica, que mide los ángulos, los azimutes y las distancias de la superficie terrestre. En un sistema de relevamiento topográfico se utilizan teodolitos y distanciómetros. En el distanciómetro, el transmisor y el receptor se combinan en un único instrumento. Dada una velocidad constante de radiación (299.792,5 Km./seg.), la medida del intervalo entre la transmisión y la recepción de la señal permite calcular la distancia. La precisión con la que se trabaja utilizando este método ronda el valor de $D \times 10^{-5}$, donde D es la distancia. La precisión de medición se estima en ± 5 mm. por kilómetro medido.

Combinando los distanciómetros y los teodolitos se miden distancias y ángulos simultáneamente. Cabe aclarar, que estos equipos poseen dispositivos magnéticos para almacenamiento de datos, lo cual facilita el análisis computacional de las mediciones.

Estas mediciones son procesadas y transformadas a más de un sistema de coordenadas. Esto es necesario pues la curvatura de la Tierra influye en las mediciones cuando las distancias son grandes, mientras que en distancias pequeñas las diferencias son despreciables. Para tener una relación de lo antedicho consideremos que la diferencia entre el plano y la distancia con curvatura es de 1,5 cm. en una medición de 18,75 Km.



2.5.1.2 Método fotogramétrico

Este método se considera uno de los más precisos y es aplicado en dos fases. La primera se llama aerotriangulación donde la coordenadas de puntos de control adicionales son calculadas a partir de unos pocos puntos de control conocidos. La segunda fase consiste en la compilación de los mapas digitales. En esta etapa, los restituidores analíticos o analógicos se conectan con sistemas de computación gráfica, que se utilizan como herramientas para la producción de mapas digitales. El punto débil del método fotogramétrico está en la dependencia de la resolución y de la escala de los fotogramas.

2.5.1.3 Método de sensado remoto (SR)

El sensado remoto está apoyado por la tecnología satelital, la cual, si la consideramos en conjunto con la fotogrametría podría definirse como: "El arte, ciencia y tecnología de obtención de informaciones acerca de objetos físicos y del ambiente a través de procesos de registro, medidas e interpretación de imágenes, como así también, de representaciones digitales derivadas de sistemas de sensores sin contacto".

2.5.1.4 Método de conversión de mapas

Uno de los métodos más simples para la captura de datos espaciales es la digitalización de mapas. El método consiste en convertir datos geográficos existentes (mapas, fotogramas, ortofotos, etc.) en datos digitales, con el objeto de que estos puedan ser manipulados computacionalmente. Este método presenta limitaciones a nivel de actualización y precisión.

Los principales métodos de conversión de mapas son:

- **Digitalización manual:** Las características de los mapas son trazadas sobre las mesas digitalizadoras con periféricos trazadores (mouse o cursor) y almacenadas en archivos digitales.
- **Digitalización automática:** Los mapas son "scaneados" y luego se convierten a formato vectorial.
- **Digitalización mediante inteligencia artificial:** Se utilizan conceptos de I.A y robótica para capturar las entidades de un mapa.

Digitalización manual de datos espaciales

Las entidades como puntos, líneas y áreas que comprenden el mapa son convertidas a coordenadas (X,Y). Un punto se representa con una única coordenada (X,Y), una línea por una lista de coordenadas $((X_1, Y_1); (X_2, Y_2); \dots (X_n, Y_n))$, como así también una combinación de líneas es representada por una lista de coordenadas (X,Y); además, cuando la coordenada inicial y la final coinciden se está representando un área (polígono).

De este modo observamos, que la digitalización consiste en la captura de una serie de puntos.

➤ **Técnicas de digitalización:** Los digitalizadores más comunes consisten de una grilla fina de líneas ortogonales en toda la superficie de la tableta. Esas líneas son usadas para



detectar impulsos eléctricos en un determinado punto indicado a través de un cursor. De esta manera las coordenadas de los puntos son transmitidas a la computadora. Se debe colocar el mapa sobre la tableta digitalizadora y se deben recorrer las características del mapa utilizando el cursor. Al presionar el botón lector del cursor, la posición es transmitida a la computadora.

➤ Etapas de la digitalización: Para asegurar una eficiente digitalización deben seguirse algunos criterios:

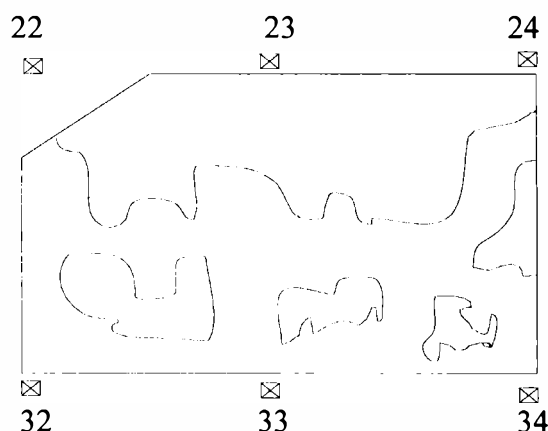
◆ **Uso de mapas de buena calidad**: La precisión de los datos digitales es directamente proporcional a la calidad de los mapas disponibles. Se debe trabajar siempre con mapas confiables, donde confiables significa que estén limpios y que se pueda hacer una buena lectura de las entidades descritas en él. Además, los mapas no deberían ser afectados por condiciones físicas como la humedad, el polvo, etc., o por el manoseo. La mínima distorsión causadas por alguno de estos factores ocasionará lecturas con errores acumulativos. Para evitar estas distorsiones es aconsejable utilizar mapas a base de poliéster.

◆ **Definición de procedimientos**: Es muy importante determinar como serán digitalizados los mapas antes de comenzar un proyecto G.I.S., para ello es conveniente hacer pruebas de digitalización sobre sectores pequeños del mapa a fin de determinar si las lecturas funcionan como se espera. A continuación se detallan algunos criterios que deben ser considerados:

- Establecer una secuencia para hacer las lecturas. Por ejemplo, se podrían digitalizar primero las líneas y luego los puntos a fin de que el operador evite la duplicación u omisión de características.
- Establecer cronogramas de digitalización. Es importante conocer los tiempos de digitalización de una parte del mapa o de todo él, a fin de optimizar el trabajo.
- Mantener el control de las entidades que están siendo digitalizadas. Esto puede lograrse manteniendo a la vista una ventana que refleje la situación de la Base de Datos.

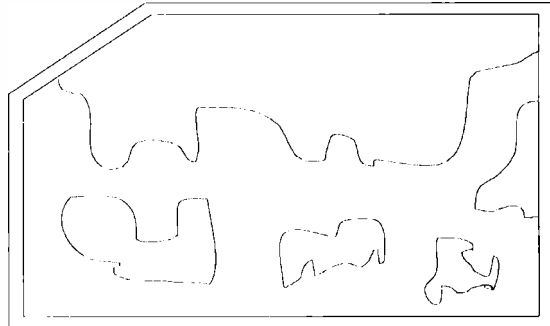
◆ **Preparación de los mapas**: La correcta preparación de los mapas ayuda a minimizar los problemas en la digitalización. Algunos criterios a seguir son los siguientes:

a)- Ubicar los puntos que servirán como referencias y asignarles un número único. Se deben conocer las coordenadas terrestres de estos puntos.

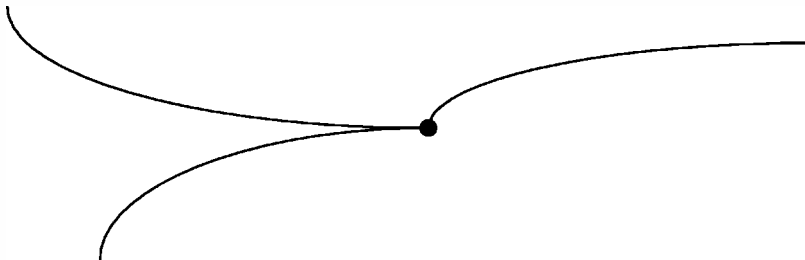




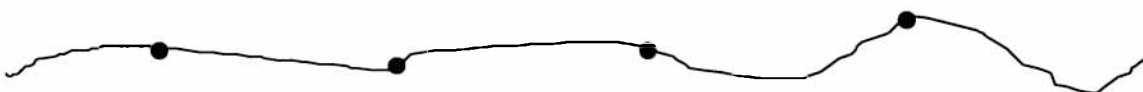
b)- Efectuar un nuevo margen mayor que el límite del área a ser digitalizada para poder extender las líneas más allá de los márgenes originales. Esta manera se asegura que los datos a digitalizar cubrirán completamente el área de estudio. Posteriormente, se usaran los límites reales del área de estudio para eliminar sobrantes.



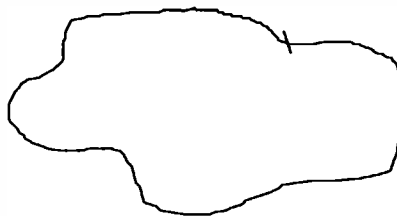
c)- Cuando las intersecciones de líneas no estuviesen bien visibles, es aconsejable realizar un marca que mejore la identificación de tales intersecciones. Esto dará mayor consistencia a las intersecciones.



d)- Construir nodos a lo largo de las líneas. La precisión aumentará a medida que la distancia entre los segmentos disminuya.

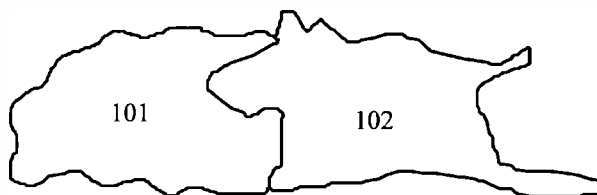


e)- Realizar un marca inicial para indicar el lugar por el cual se comenzará a digitalizar un polígono. Esto ayudará en el momento de finalizar la lectura para determinar que se ha digitalizado TODA la entidad.





f)- Se deben cerrar correctamente todos los polígonos y se debe colocar un rótulo UNICO que lo identifique.



Digitalización automática de datos espaciales

Dado que la digitalización manual es un método extremadamente lento considerando la gran cantidad de cartas y otros documentos existentes en una Organización y que por tal motivo se convierte en una técnica demasiado cara para la mayoría de las aplicaciones, es mejor pensar en tecnologías que utilicen métodos de "scaneo".

El scaneo de un mapa se lo conoce con el nombre de **rasterización** dado que el resultado de la operación es una imagen en formato raster o matricial. La principal característica de los sistemas raster es la velocidad con la que se obtiene un producto digitalizado. Un tamaño A-1 tarda aproximadamente 3 minutos en digitalizarse. Aunque también existen algunos problemas con el uso de estas tecnologías como ser los grandes volúmenes de almacenamiento que se necesitan para trabajar con imágenes, la dificultad de crear estructuras topológicas sobre la imagen, la gran velocidad de procesamiento necesaria para manipular tales datos, etc.

Actividades involucradas en la metodología raster

- ☞ Rasterización
- ☞ Compresión/expansión
- ☞ Edición
- ☞ Almacenamiento
- ☞ Impresión
- ☞ Conversiones RASTER/VECTOR

☞ Rasterización (scaneado)

Es la fase inicial del proceso, en la cual la pieza fundamental es el scanner. Por eso, es necesario conocer algunas características de este periférico:

- ⇒ Resolución
- ⇒ Mecanismo

⇒ **Resolución:** Los scanners poseen dos tipos de resoluciones: espacial y radiométrica.

- La resolución espacial se mide en dpi (dot per inch o puntos por pulgada). La resolución adecuada debe definirse siempre en función del menor



detalle que se quiera digitalizar. Los scanners con resoluciones entre 800 y 1200 dpi son útiles para la mayoría de las aplicaciones, mientras que la utilización de resoluciones mayores trae consigo la necesidad de mayores fuentes de almacenamiento, mayores velocidades de procesamiento, etc. Con una resolución de 400 dpi se pueden identificar trazos de hasta 0.067 mm. de espesor, aunque de acuerdo a la teoría de procesamiento digital de imágenes, para asegurar la presencia de un trazo de estas características será necesaria una resolución de 600 a 800 dpi.

- La resolución radiométrica permite detectar la cantidad de luces reflejadas por cada punto o grupo de puntos de la imagen, es decir, la cantidad de tonos que se pueden diferenciar. Este parámetro depende principalmente del número de bits destinados para almacenar la información de cada pixel.

⇒ **Mecanismo:** Lo más importante es el mecanismo de transporte. Existen tres tipos de scanners: de tambor (el documento es rotado por un cilindro mientras que la parte sensible se mueve transversalmente), de superficie plana (el documento queda fijo mientras la parte sensible se mueve sobre él) y de alimentación continua (el documento se mueve en relación a la parte sensible).

La productividad de un scanner puede ser medida en términos de minutos por diseño. Por ejemplo, un scanner monocromático con resolución espacial de 400 dpi, con una resolución radiométrica que reconoce 32 niveles de grises, mecanismo tipo tambor demora entre 10 y 15 minutos para rasterizar un mapa urbano de tamaño A-0. Los scanner de alimentación continua son más rápidos pero pueden causar distorsiones considerables.

☞ Compresión/expansión

Como se indicó, los formatos raster producen archivos muy grandes. Un diseño A-1 rasterizado con 200 dpi produce un archivo de aproximadamente 4Mb. y una foto aérea de 23 x 23 cm. produce un archivo de 13 Mb. y si aumentáramos los dpi, por ejemplo a 1600, obtendríamos imágenes de aproximadamente 200 Mb. Afortunadamente, estos archivos pueden ser comprimidos reduciendo su tamaño hasta 30 veces. El método que suele utilizarse con frecuencia es el run-length, el cual consiste en almacenar solamente el número de pixels que poseen una determinada característica en lugar de los pixels mismos. Imaginemos un diseño en donde la mayoría de los pixels son blancos. En este caso, el método de compactación almacena la información necesaria para saber cuantos pixels blancos hay y cuales son, pero no almacena los pixels mismos.

Los archivos que han sido compactados no pueden editarse ni visualizarse a menos que se realice el proceso inverso denominado expansión.

☞ Edición

Es necesaria la edición de una imagen raster cuando se quiere mejorar su aspecto o cuando se quieren hacer actualizaciones. Se puede editar directamente mediante un



proceso manual de "pintado" o automáticamente usando técnicas de procesamiento de imágenes como ser los *filtros*.

Para los casos más complejos de correcciones es recomendable hacer las alteraciones usando un fondo raster y creando líneas, textos, círculos, etc., en formato vectorial. Un buen sistema debe permitir la superposición de una o más capas vectoriales sobre una raster. El producto final de este método de edición es casi transparente al usuario.

☞ Almacenamiento

Considerando que una imagen de 24" x 24 " digitalizada en 400 dpi con 256 niveles de grises produce un archivo de 25 Mb. es indispensable la utilización de CD-ROM para el almacenamiento de datos raster. Para aquellos casos en los cuales sea necesario la actualización de la información y no pueda utilizarse tecnología R.O.M. podrán usarse cintas que pueden almacenar entre 200 y 650 Mb. aunque poseen un tiempo de acceso mayor.

☞ Impresión

La impresión de un tamaño A-1 en una impresora matricial lleva de 1 a 5 minutos independientemente de la complejidad del diseño. Es aconsejable que la resolución de la impresora sea coherente con la resolución del scanner.

☞ Conversiones RASTER/VECTOR

Los diseños raster son totalmente compatibles con los diseños vectorizados, por ello podemos citar que:

- Uno o más diseños digitalizados manualmente en tableta digitalizadora pueden ser superpuestos a un diseño raster.
- Un diseño vector puede ser fácilmente rasterizado a nivel "output". Un ejemplo, es la impresión de un diseño vectorizado en una impresora matricial.
- Un diseño raster puede ser convertido en vector mediante una operación llamada *vectorización* o viceversa (mediante un método denominado *matriciación*).

◆ Métodos de vectorización

- Vectorización automática: Se trata de un proceso computacional realizado por un software y es la forma más rápida de vectorización. Su limitación está en que el programa puede tener dificultades en reconocer cierto tipo de elementos gráficos como textos, círculos, símbolos, etc., lo cual genera la necesidad de que haya presencia humana para dar apoyo en puntos donde el software no puede cumplir su función. La inteligencia artificial está tratando de profundizar en este tema a fin de llegar a tener softwares más inteligentes.
- Vectorización interactiva: Consiste en el trabajo de un operador que digitaliza manualmente sobre un diseño raster creando automáticamente un archivo vector



superpuesto al raster. El operador está asistido por un software que le permite decidir que tipo de entidades va a usar, que dirección desea tomar cuando se encuentra con una intersección de rectas, etc. Una ventaja del proceso interactivo es que el operador posee el control total sobre los datos que deben ser vectorizados. Puede eliminar información que no sea necesaria y corregir cualquier dato que no sea consistente.

- **Vectorización visual:** En este caso el operador utiliza una imagen raster como fondo del monitor, sobre la cual va "calcando" las entidades y generando de esta manera las mismas entidades en formato vectorial. Se usan los mismos criterios que se siguen cuando se digitaliza sobre la mesa o tableta digitalizadora.
- **Vectorización incremental:** Este proceso permite la conversión en etapas según la necesidad del usuario. Nuevamente, se usan datos raster como punto de partida y luego se usa alguna forma de vectorización (visual o interactiva). La ventaja está en la amortización de los costos, ya que la conversión puede llevarse a cabo en varios períodos que podrían tardar años.

◆ **Control de calidad**

Luego de la conversión se debe verificar la precisión e integridad de los datos. En esta etapa se realizan impresiones, se comparan las entidades con las del documento original y se realizan superposiciones de informaciones gráficas. Dependiendo de la complejidad de los datos y de la calidad del proceso de edición, la validación de datos, revisión y corrección puede comprender entre un 25 y 35 % del tiempo de conversión.

Digitalización mediante inteligencia artificial (IA)

Como se ha visto, la rasterización requiere demasiado espacio de almacenamiento y es de difícil actualización; por otro lado la digitalización manual requiere demasiado tiempo y en consecuencia se elevan los costos. Entonces, el desafío consiste en construir una herramienta que permita convertir mapas topográficos en modelos digitales de terreno (MDT). Para llevar a cabo este desafío es necesario proveer a esa herramienta de una simulación de los ojos y las manos humanas.

La IA simula las mismas reglas de razonamiento que sigue el operador humano en el proceso de digitalización y la aplica a la robótica. De este modo surgieron los *vectorizadores* (herramientas que "ven" las entidades de los mapas y las convierten a formato vectorial automáticamente).

Identificación y corrección de errores de digitalización

Para hacer que las coberturas (áreas a digitalizar) estén libres de errores es necesario estar seguro de que:

- ✓ Todas las entidades fueron digitalizadas.
- ✓ Todas las entidades están contenidas en la cobertura.
- ✓ Las entidades están en los lugares correctos y los arcos tiene las formas correctas.



- ✓ Todos los polígonos tienen un solo rótulo.
- ✓ Todas las entidades están dentro del límite de la cobertura.

Para que haya una correcta construcción topológica debemos estar seguros de que la captura de los datos espaciales fue correcta. Algunos de los errores más comunes detectados en la construcción de la topología son:

- ✓ Arcos que no se conectan con otros arcos.
- ✓ Polígonos que no están cerrados.
- ✓ Polígonos que no tienen rótulo o tienen más de uno.
- ✓ Identificadores (ID) de entidades que no son únicos.

Consideraciones Finales

En cuanto a los métodos de conversión de mapas podemos concluir que:

2.5.2 Precisión de los mapas digitales

La precisión espacial de los mapas digitales vectoriales es importante en los G.I.S. Según estimaciones, un error aceptable debe estar entre 0.35 y 1.20 mts. en el terreno. Para asegurar este nivel de precisión, se debería digitalizar las entidades y establecer los puntos de control con una precisión de 1/100 pulgadas en relación a la posición verdadera en la cuadrícula.



2.6 Estructura de representación de los datos espaciales

2.6.1 Introducción

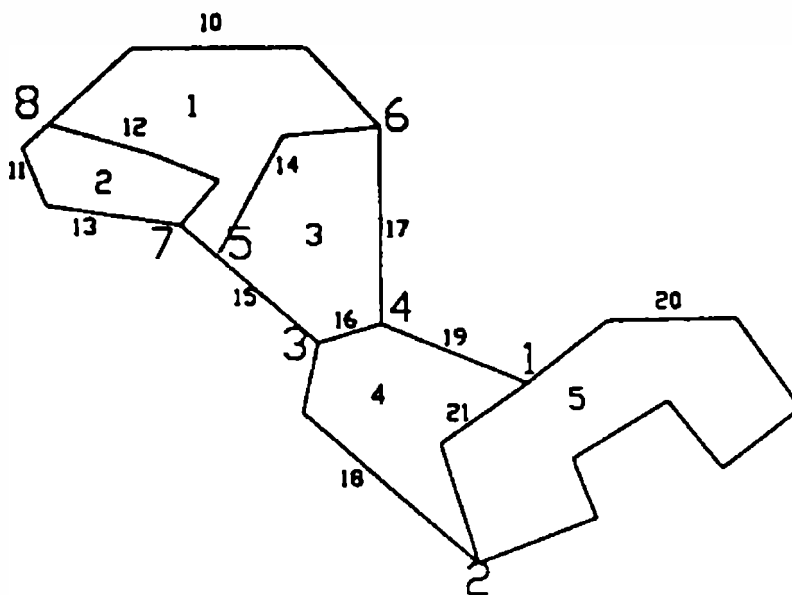
En los capítulos anteriores, se describe que un G.I.S. es un sistema integrado, útil para manejo y análisis de datos geográficos. Un G.I.S. difiere de acuerdo con la estructura geométrica que un usuario establece para los datos, es decir, el *modelo de datos* que será usado. El modelo de datos escogido determina la estructura de los procedimientos usados en la etapa de análisis de un G.I.S. Cada modelo tiende a satisfacer ciertos tipos de estructuras de datos y aplicaciones. Entonces, un modelo escogido para un proyecto particular de una determinada aplicación es influenciado por:

- ✓ Tipo de software disponible;
- ✓ Entrenamiento de las personas;
- ✓ Precedentes anteriores.

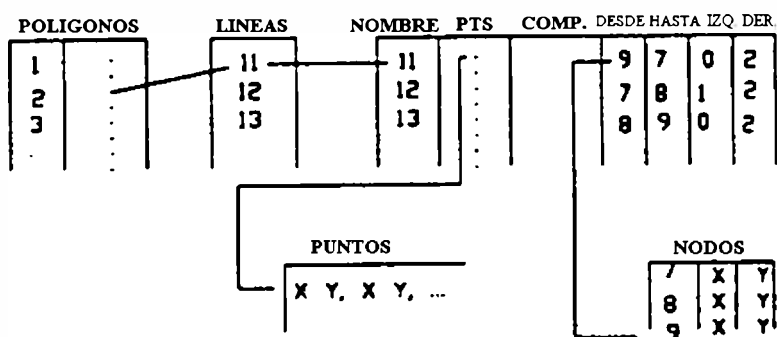
Un *modelo de dato* se define como una abstracción del mundo real, incorporando solamente aquellas propiedades relevantes para aplicaciones predefinidas, o sea, es una conceptualización de la realidad. Diferentes usuarios y diferentes aplicaciones pueden tener diferentes modelos.

Existen otras definiciones de modelo de datos en el campo de los sistemas de administración de datos (DBMS). Por ejemplo, se define como una composición de un conjunto de entidades y de las relaciones existentes entre esos conjuntos. Para implementar o validar ese modelo de datos, esos datos necesitan ser organizados en niveles o ser procesados desde una realidad hasta lo concreto, a través de la abstracción y de la estructuración orientada por el usuario.

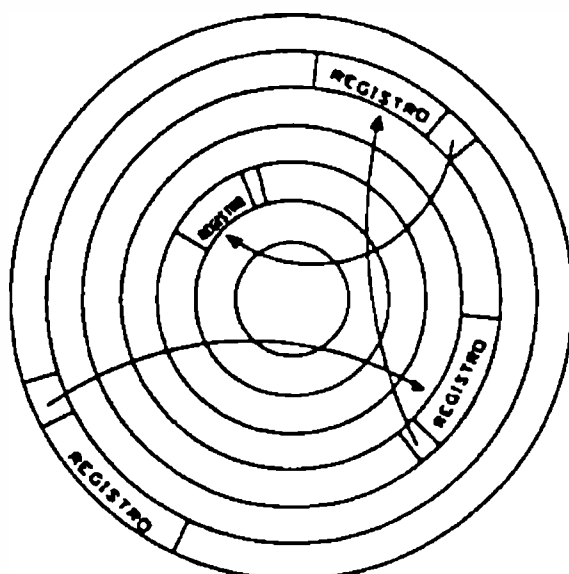
La figura siguiente muestra, esquemáticamente, los conceptos de *modelo de datos* (conceptualizando la estructura de la información), de *estructura de datos* (evidenciando la implementación orientada por el hombre) y de *estructura de archivos* (implementación orientada a nivel de hardware, que refleja el almacenamiento físico de los datos en algunos medios específicos de almacenamiento).



MODELO DE DATOS



ESTRUCTURA DE DATOS



ESTRUCTURA DE ARCHIVOS



El proceso de implementación de cualquier diseño de modelo de datos específicos es visto como un proceso de abstracción, el cual debe representar todos los aspectos de la realidad, así, será posible diseñar modelos de datos para propósitos generales y de utilidad para todas las situaciones. Eso es verdadero en la medida en que se manipulen fenómenos geográficos complejos. Por ejemplo, algunas estructuras de datos espaciales son buenas para una visualización cartográfica, pero ineficientes para procesos analíticos; otras estructuras de datos pueden ser excelentes para procesos analíticos, pero extremadamente ineficientes para producir gráficos.

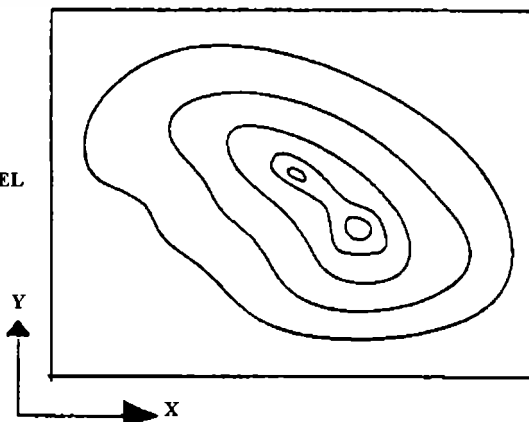
Dentro de esos modelos opuestos se debe buscar uno, cuya robustez y flexibilidad permita diversas aplicaciones, responda a grandes cantidades de datos y sea eficiente en el almacenamiento y uso.

De esta forma, el diseño de un modelo de datos debe ser basado tanto en la naturaleza de los fenómenos que esos datos representan como en los procesos específicos de manipulación que serán exigidos para ejecutar esos datos.

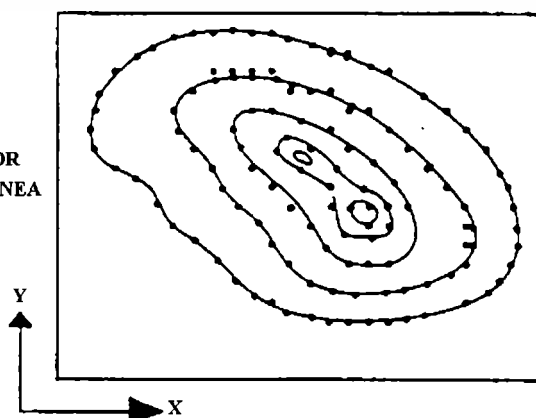
Los datos geográficos han sido representados, tradicionalmente, por medio de modelos analógicos bidimensionales (conocidos como mapas). Un mapa provee un método conveniente de almacenamiento de los datos espaciales, facilitando su visualización, actualización manual y otros procesamientos. Los tipos de modelos cartográficos existentes son:



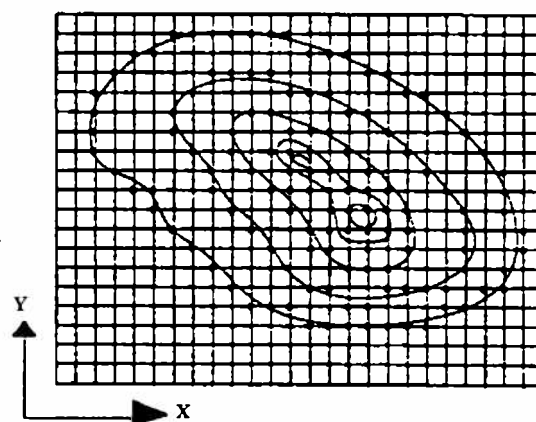
MODELO ANALOGICO
MAPA CON CURVAS DE NIVEL



MODELO VECTORIAL
ORGANIZACION VECTOR
ELEMENTO BASICO = LINEA



MODELO MATRICIAL
ORGANIZACION DE GRILLA
ELEMENTO BASICO = CELDA



La **estructura de datos** puede ser definida como una organización lógica de las informaciones para preservar la integridad y facilitar el uso de los mismos, es decir, los almacena con precisión de manera consistente y coherente, para garantizar la manipulación de la información correcta. Las estructuras de los datos espaciales se pueden diferenciar por:

- ✓ El tipo de dato geométrico (punto versus región);
- ✓ La manipulación de los objetos (fragmentado versus no-fragmentado);
- ✓ La realimentación (directa versus jerárquica);



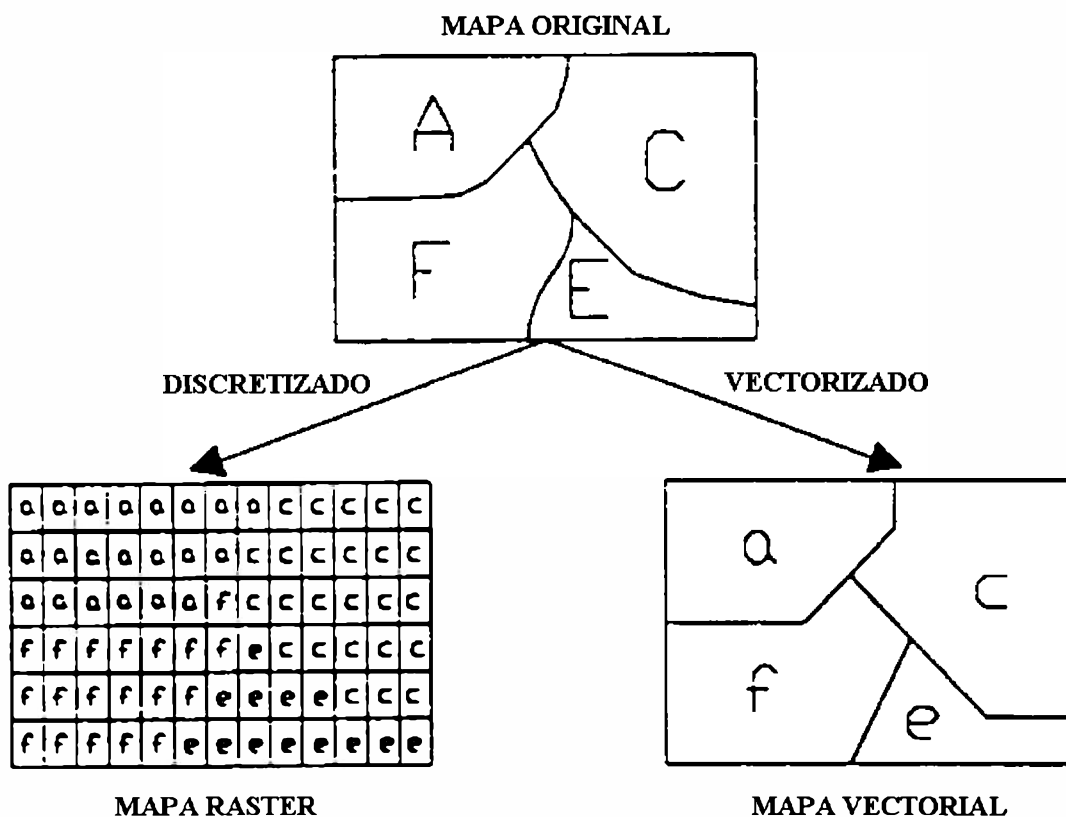
- ✓ La subdivisión del espacio (regular versus dato determinado).

Dos clases de modelos de datos geográficos han sido usados para almacenar y representar la información localizada en forma digital: una *estructura matricial* (región, fragmentado, directo y regular) y una *estructura vectorial* (región, no-fragmentado, directo y dato determinado)

Una *estructura matricial* divide toda el área de estudio en celdas regulares (pixels). Cada celda contiene un valor único. Es un espacio que, cuando se ha completado, define la localización de las entidades en el área de estudio.

Una *estructura vectorial* usa entidades (como puntos y líneas) para identificar las localizaciones. Objetos discretos (como límites, drenadores, ciudades, etc.) son formados por la conexión de segmentos de líneas. Los objetos vectoriales pueden no completar los espacios.

Se nota que la diferencia básica entre las dos estructuras reside en el modelo del espacio adoptado en cada una. La estructura vectorial considera el espacio geográfico continuo y la estructura matricial divide el espacio en elementos discretos:



Desde el punto de vista de la aceptabilidad, tal vez, el modelo matricial sea el más simple de los modelos de datos disponibles, pero, escogerlo depende de los tipos de aplicaciones.

2.6.2 Estructura matricial o raster

La partición del espacio en la estructura raster es obtenida a través de una *mall*a con líneas verticales y horizontales espaciadas regularmente, formando celdas. Tales



celdas, también llamadas pixels o cuadrículas, generalmente poseen dimensiones verticales y horizontales iguales, que definen la resolución de la malla, o sea el área abarcada en el terreno por cada cuadrícula. Esto equivale a decir que ocurre un proceso de generalización donde los elementos varios que pueden constituir una cuadrícula, dejan de ser individualizados. La relación espacial entre cuadrículas está implícita en función de las coordenadas de la malla, ya que debido a su forma regular, dada la línea y la columna que localizan un elemento, se puede fácilmente ubicarlo y hacer análisis simples como aproximaciones y distancias.

2.6.2.1 Características de la estructura matricial

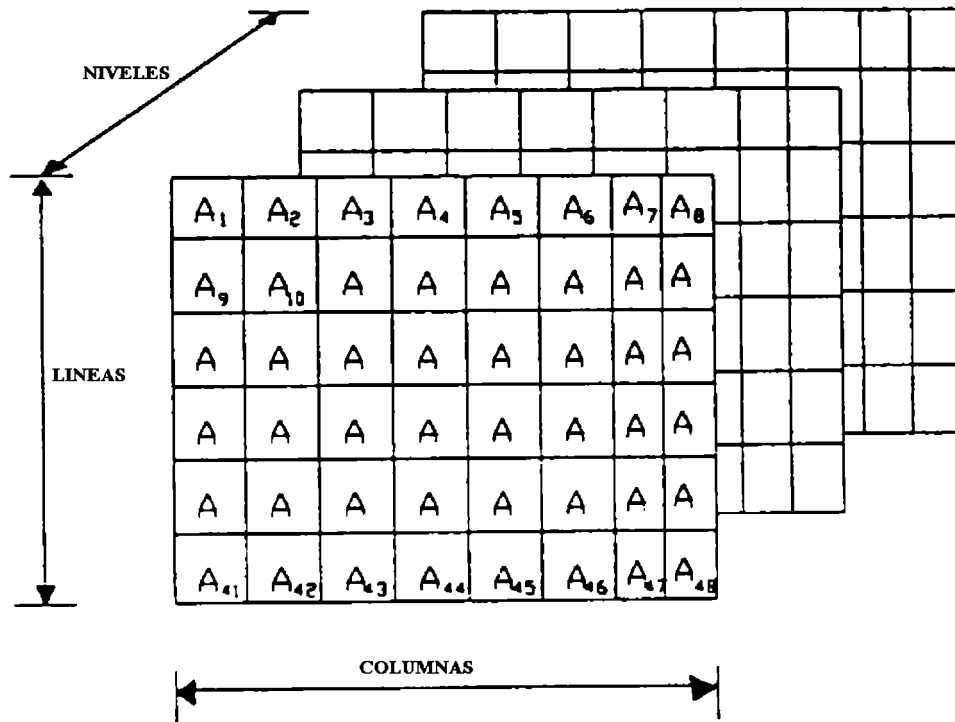
La estructura matricial se agrupa en dos modelos:

1. Modelo cartográfico. Los datos de un área pueden ser visualizados como mapas o capas. Un modelo cartográfico (o base de datos) es un conjunto de datos que describe *las características* seleccionadas de cada localización, dentro de un área geográfica limitada en la forma de mapas o capas;

2. Modelo de capa-mapa. Es un conjunto de datos que describe *una característica* de cada localización, dentro de un área geográfica. Solamente un tema de información está disponible para cada localización dentro de una única capa. En el caso de múltiples temas de información se exigen múltiples capas.



DIVISION MATRICIAL Y LOS NIVELES



Los principales componentes de una estructura de datos matricial son:

- **Resolución** es la mínima dimensión lineal de la menor unidad de un espacio geográfico en el cual los datos son registrados. La menor unidad usada es rectangular (ocasionalmente existen sistemas que usan unidades hexagonales, triangulares, etc.). Esa unidad pequeña es conocida como celda o pixel. El arreglo espacial de esas celdas es conocido como matriz, raster o grilla. Habrá alta resolución cuando esas celdas representen dimensiones muy pequeñas. Así alta resolución significa cantidad de detalles, cantidad de celdas, grandes matrices y celdas bien pequeñas;
- **Orientación** es la diferencia angular entre la localización mostrada, como el norte verdadero y la dirección de la cobertura asignada por el lado superior del plano cartográfico. Esto es, el ángulo entre el norte verdadero y la dirección definida por las *mallas*.
- **Zona** cada zona (área, categoría, clase, región) de una capa-mapa es un conjunto de localizaciones contiguas que muestran las mismas características. Esas características pueden ser: Parcelas; Unidades políticas (municipio, estado y país); Lagos, islas; Porciones individuales de un tipo de suelo, vegetación, etc.



Existen otros términos usados como sinónimos de zonas: porciones, regiones o polígonos.

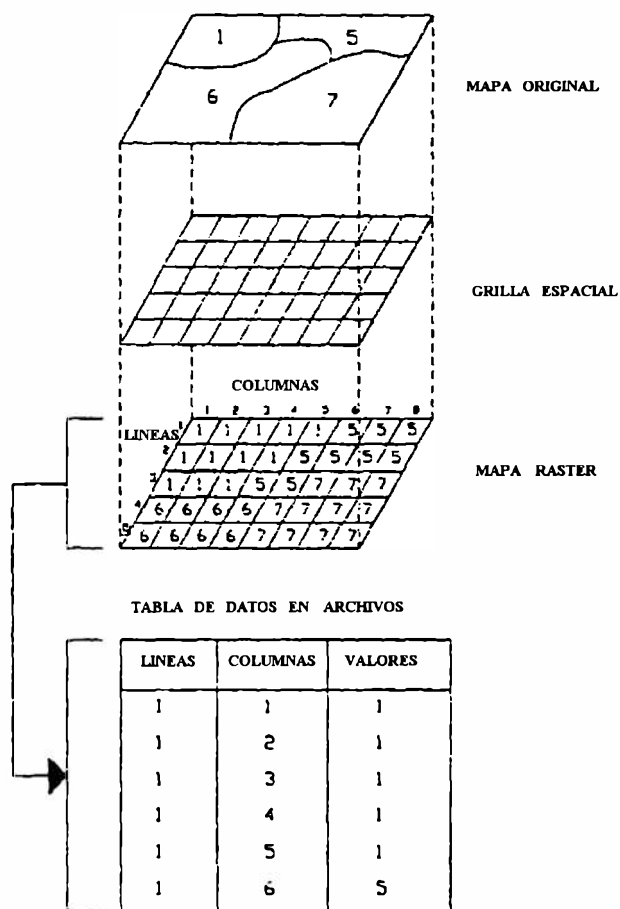
No toda capa-mapa tendrá zonas, pues las celdas en ella contenidas pueden variar continuamente sobre el mapa. Por ejemplo, las imágenes de satélite registran, en valores separados, los reflejos de cada celda.

Los componentes principales de una zona van a ser: el valor y la localización. El *valor* es el ítem (o tema) de información almacenado en una capa, atribuido para cada celda o pixel (las celdas, en una misma zona, tendrán el mismo valor). La *localización* es la menor unidad del espacio geográfico para que los datos sean registrados. En verdad, es aquella porción del plano cartográfico que es únicamente identificada por un par ordenado de coordenadas (número de líneas y columnas).

2.6.2.2 Conceptualización de la estructura de datos raster

Como se definió anteriormente, la estructura de datos en el formato matricial corresponde a una grilla compuesta de celdas (o pixels). Los parámetros definidos de una grilla (como resolución, dimensión, orientación y origen) permiten la valorización de las celdas, atribuyéndoles números enteros, reales o alfanuméricos, como indicativos de los valores asumidos por una variable. Esta variable puede describir simplemente presencia/ausencia de una forma lineal o puntual, o alguna categorización de formas poligonales.

También vimos que una de las características del modelo matricial es el modelo capa-mapa. Si se coloca explícitamente el concepto de estructuración por niveles de información temática, en una dada aplicación, cada tema presentará su grilla correspondiente. Las diversas grillas deberán corresponder a registros, teniendo en vista la manipulación de esos datos. Se ve en la figura siguiente la conceptualización de la estructura de datos raster o matricial.



Para ejemplificar una estructura raster se puede considerar una base de datos referente a un municipio donde están almacenadas informaciones como uso de la tierra, tipos de suelo, de relevo, de precipitaciones, de temperatura, etc. Cada tema puede poseer varias clases que son codificadas a través de números o símbolos. Cada cuadrícula mantiene siempre la misma localización espacial, y sus atributos son asignados de acuerdo con el plano estudiado.

2.6.2.3 Tipos de valores de las celdas

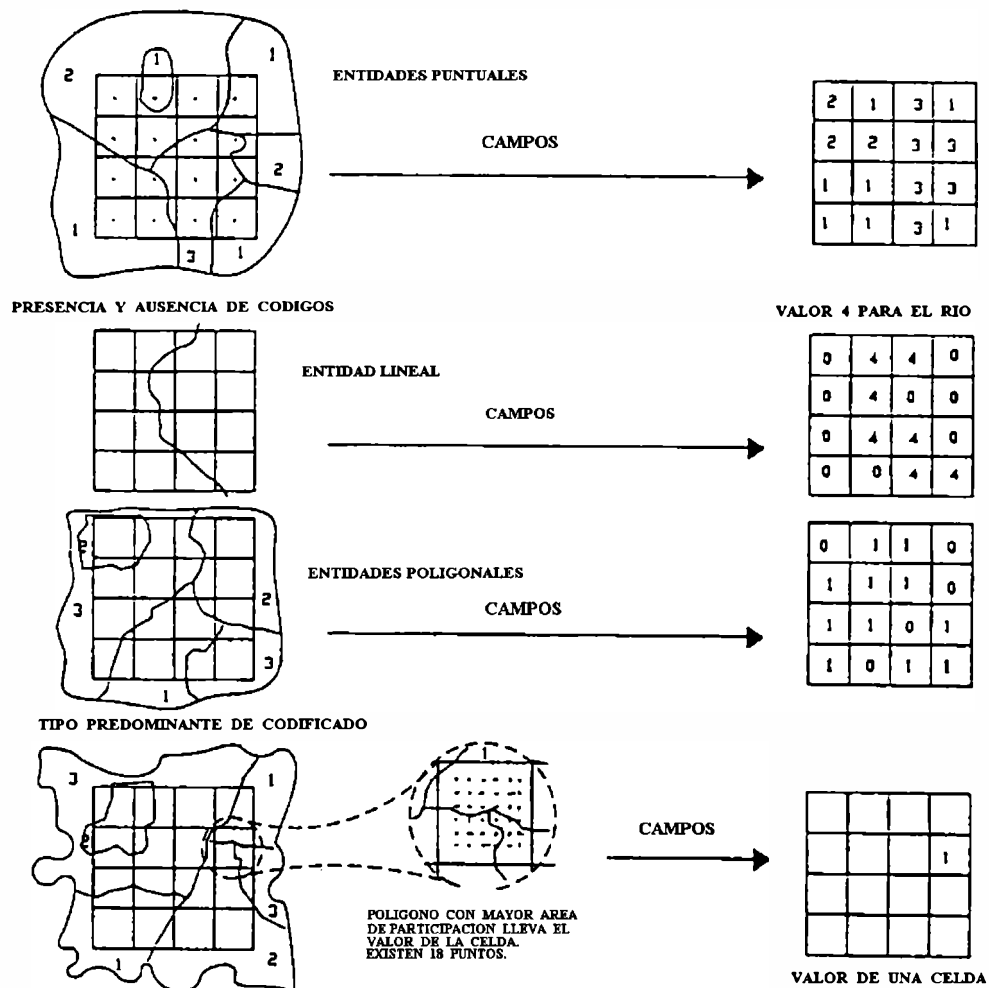
Diferentes sistemas permiten diferentes clases de valores:

- ✓ Algunos usan solamente números enteros para todas las capas;
- ✓ Otros usan números enteros y reales, cuidando que la capa contenga uno de los tipos;
- ✓ Otros usan valores no-numéricos (letras).



Una celda debe tener asociado sólo un tipo de valor. Esta condición puede presentar imprecisiones, pues el límite de dos tipos de suelos puede cruzar por la mitad de una celda. En este caso la celda lleva el valor de su fracción mayor, o el valor del punto medio de la celda, o se puede subdividir esa celda en otras menores y una de esas en otra menor y así sucesivamente hasta llegar al límite de un punto. Pocos sistemas permiten que una celda tenga múltiples valores (pero esto ha ocasionado muchas inconsistencias).

La figura siguiente ilustra la atribución de valores para las celdas que contienen entidades puntuales, lineales y poligonales.



Los valores numéricos, atribuidos a cada celda, pueden ser medidas nominales, ordinales, intervalos o escalas de proporción (razón).

➤ **Razón** Sobre las fajas de proyecciones existen divisiones proporcionales. Por eso, tiene sentido decir que una persona que pesa 50 Kg., pesa la mitad de otra con 100 Kg. de peso. Así el peso en Kg. es la faja de proporción. Otro ejemplo: 20° C es dos veces más que 10° C. Los índices de razones poseen



puntos de cero absoluto (el punto cero de peso (en Kg.) es absoluto, pero el punto cero de la escala Celsius no es absoluto).

➤ **Intervalo** Sobre la faja de intervalos existen divisiones no proporcionales, pero es necesario hacer la substracción. Por eso, tiene sentido decir que 20°C es 10°C más 10°C , así la temperatura Celsius es un índice de intervalo. Entretanto, no tiene sentido decir que el número de teléfono 2269495 es 3340 más grande que el 2266155, porque los números de teléfono no representan índices de intervalos.

➤ **Ordinal** Sobre la faja ordinal, los números son clasificados en orden creciente o decreciente. Por eso, si se dice que el número de teléfono 2269495 es algo mayor que el 2266155, no se está representando ordinalmente. Entretanto, cuando decimos que la clase 1 puede ser mejor que la clase 2 (aunque no se conoce en cuanto), estamos tratando de números ordinales, pero no de intervalos o proporciones

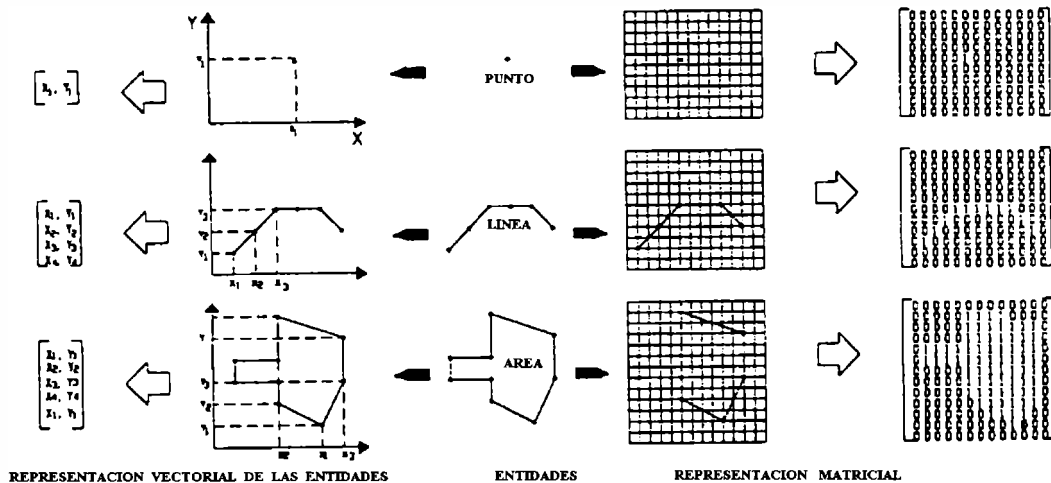
➤ **Nominal** Sobre la faja nominal, los números establecen solamente la identidad. Por ejemplo, el número de teléfono significa solamente un identificador único de teléfono.

Muchos tipos de datos geográficos usados en aplicaciones G.I.S. son nominales u ordinales, valores que establecen un orden de clases, o su identificación diferente, pero raramente son intervalos o razones.

2.6.2.4 Referencia espacial de las representaciones matriciales

En las representaciones vectoriales, los puntos, líneas y áreas son, en general, asimilados como puntos, líneas poligonales y polígonos. A cada uno de los puntos de estas representaciones se le asocia un par de coordenadas cartesianas. Alternativamente, se utilizan coordenadas polares, vectores o vectores unitarios.

En las representaciones matriciales, la referencia espacial es provista por códigos de localización de las matrices sobre las cuales inciden los puntos, las líneas y las áreas. La utilización de matrices cuadradas es la más común, donde la referencia a las cuadrículas sobre las cuales inciden puntos, líneas y áreas se hace a través de una matriz binaria. La figura siguiente ilustra las representaciones vectorial y matricial de las entidades.



La matriz binaria asigna a cada elemento espacial un único valor, dando una información explícita para cada localización. La estructura matricial puede ser de celdas regulares o irregulares y modelos jerárquicos o no jerárquicos.

2.6.2.5 Métodos de compactación de datos

Diversos métodos de compactación de datos han sido desarrollados para almacenar los datos matriciales eficientemente, incluyendo los diferentes esquemas de codificaciones y representaciones jerárquicas como árboles cuaternarios, árboles hexadecimales, etc.

En los G.I.S. y en especial en aquellos que adoptan la estructura raster, un problema frecuentemente encontrado es el volumen de datos a ser almacenados. Por eso existen estrategias de compactación que procuran disminuir la necesidad de medios físicos de almacenamiento, siendo las principales las siguientes:

a) *Códigos de cadena:* Los límites de una región son dados por su origen y una secuencia de vectores unitarios en las direcciones cardinales. Se pueden numerar las direcciones de la siguiente forma: este = 0, norte = 1, oeste = 2, sur = 3, debiendo el límite ser recorrido en el sentido de los punteros del reloj.

Si se toma el siguiente ejemplo y si se comienza a codificar por la celda (10,6) se tiene lo siguiente: 1,2(2), 2(2), 0,1,0,3,2,3(3), 0(3), 3,2(1) donde el número de cuadrículas en cada dirección está dado por el número entre paréntesis.

Este tipo de compactación es muy eficiente y permite ciertas operaciones como estimaciones de áreas, perímetros, concavidades, convexidades, etc. Por otro lado, operaciones como uniones e intersecciones son complicadas en el caso que no se realice una representación raster completa. Otro problema es la introducción de redundancia, debido al hecho de que los límites entre dos elementos tienen que ser almacenados dos veces;

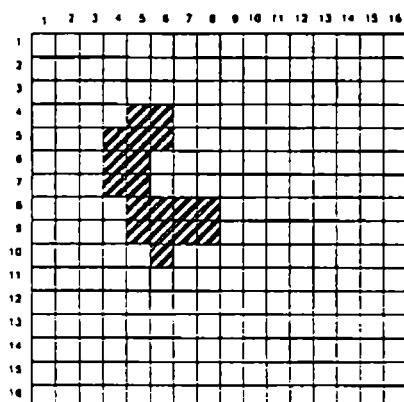


b) *Códigos en secuencia*: Cada región del mapa es almacenada línea a línea, siendo indicada la cuadrícula inicial y final de la línea, así como su atributo. Este método presenta un proceso considerable sobre el convencional y el anterior, pero su eficiencia disminuye en áreas irregulares o con patrones lineales;

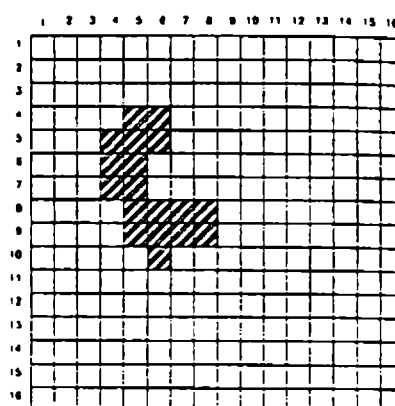
El ejemplo de abajo, toma por base la próxima figura.

línea4 ----- 5,6,x
 línea5 ----- 4,6,x
 línea6 ----- 4,5,x
 línea7 ----- 4,5,x
 línea8 ----- 5,8,x
 línea9 ----- 5,8,x
 línea10 ----- 6,6,x

c) *Códigos de bloque*: Utiliza la idea del método anterior extendida para dos dimensiones, usando bloques cuadrados para el área a ser mapeada. La organización de los datos consiste en tres números que indican el origen, el lado del cuadrado y el valor del atributo. En este caso, cuanto mayores son los cuadrados, y más simples los límites de los elementos, mayor es la eficiencia del método.



5,5 - 2 - X
 5,4 - 1 - X
 7,4 - 2 - X
 9,5 - 2 - X
 9,7 - 2 - X
 10,6 - 1 - X



d) *Modelos jerárquicos*: Los modelos jerárquicos exigen *mallas* que sean descompuestas en patrones similares de tamaños bien pequeños.

- *Árboles cuaternarios*: Se basa en la división sucesiva de los datos en matrices $2^n \times 2^n$, donde la región comprendida por determinado atributo va siendo delineada por la subdivisión en cuadrantes. El área toda (2×2) es la raíz de un esquema en árboles con n niveles divididos en cuadrantes B, C, D, E. Este método es eficiente y puede ser interpretado como una descomposición jerárquica del espacio, como se muestra en la figura siguiente:



- Las matrices cuadradas tienen forma compatible con los píxeles de sensores, dispositivos de barrido, videos, etc. Así, se facilita tanto la colecta como la representación de datos. Otras formas no son compatibles con equipos existentes y la codificación es difícil. Estas últimas son solamente utilizadas cuando resultan de una conversión vectorial-matricial;
- Similarmente a los árboles cuaternarios utilizados en el plano, se ha explorado la utilización de árboles octales para la provisión de referencia espacial en tres dimensiones, a través de jerarquías de cubos. Son excelentes las perspectivas de utilización de estas metodologías en sistemas aplicativos, como los que son utilizados por ejemplo, en proyectos de carreteras. La representación vectorial de volúmenes (poliedros) es bastante complicada y por causa de esto se han tratado volúmenes como resultantes de operaciones con atributos (elevaciones) de áreas. Las representaciones matriciales facilitan bastante la realización de operaciones espaciales.

Las alternativas de referencia espacial y los métodos de compactación de datos antes descritos, constituyen la médula de lo que se utiliza en los G.I.S. En torno de ellos, se componen los esquemas de codificación que incorporan las peculiaridades de cada aplicación.

En el desarrollo de sistemas de información urbanos, por ejemplo, la propiedad (parcela) es la entidad fundamental con la cual se asocia gran variedad de datos y con la cual se desea relacionar otras entidades. Existen muchos sistemas que utilizan la llamada *referencia por segmentos*, en la cual, rutas, ferrovías, ríos, etc. son asimilados a una línea poligonal compuesta de un conjunto de segmentos de recta.

Cuando estas líneas poligonales se interceptan, son formados nuevos nodos. Así los elementos básicos son segmentos, nodos y las áreas por ellos delimitadas. Nodos y áreas son inequívocamente codificados. Los segmentos son identificados por los códigos de los nodos que los delimitan y pueden ser utilizados para describir las áreas que delimitan. El tipo de codificación aplicado a medios urbanos permite innumerables operaciones de integración de datos y de referencias espaciales implícitas y explícitas.

A través de búsquedas en esos archivos se puede por ejemplo:

- ✓ Asociar un ítem de datos referenciados por direcciones (Av. Santos Dumont 77) a un segmento (definido por los nodos 68 y 72) o a una cuadra (10) y correspondientes coordenadas;
- ✓ Asociar un ítem de datos referenciados por código inmobiliario (por ejemplo, sector/cuadra/parcela) a una cuadra, y correspondientes coordenadas;
- ✓ Definir zonas, delimitadas por segmento;
- ✓ Definir pertenencia de propiedades, segmentos y cuadras a zonas;
- ✓ Agregar datos de propiedades y segmentos, cuadras y zonas.



Existen innumerables sistemas de referencia utilizados en sistemas urbanos y que son composiciones de los esquemas básicos abordados. Similarmente, en otras áreas de aplicaciones se desarrollan composiciones adecuadas a las peculiaridades de cada aplicación.

2.6.2.6 Algoritmos básicos en las estructuras matriciales

Almacenamiento matricial

Es interesante analizar la siguiente pregunta: ¿porqué se usa la representación en el formato matricial? Las siguientes respuestas muestran sus ventajas:

- Los datos son adquiridos en los mismos formatos de las imágenes del Sensoreamiento Remoto, fotogrametría y de los Scanners;
- Es la forma más usual para reconstituir el modelo digital del terreno;
- El raster supone un conocimiento no a priori de los fenómenos, y las muestras son hechas uniformemente;
- Los datos son convertidos para raster como un formato común de intercambio de datos, de modo de juntarlos con las imágenes de satélite;
- Los algoritmos en raster son generalmente bien simples y fáciles (por ejemplo, la generación de las áreas de influencia (buffers));
- El formato raster debe ser el más apropiado si la solución requiere una resolución uniforme (por ejemplo en redes, encontrar la ruta óptima para las entidades lineales).

Opciones de almacenamiento de los datos raster

Por convención, los datos raster son normalmente almacenados línea por línea, a partir de la parte superior izquierda (idéntico a la lectura de una matriz en matemática). Por ejemplo en una matriz de 4 x 4, tenemos:

```
AAAA
BBBB
AABB
AAAB
```

Esto implica que los datos serán almacenados en 16 posiciones de memoria, uno para cada pixel, en la siguiente secuencia: AAAA BBBB AABB AAAB

Cuando existe más de una capa, se tienen dos opciones:

- Se almacena cada capa separadamente, siendo éste el proceso más común.
- Se almacena toda la información para cada pixel simultáneamente. Este almacenamiento requiere espacios extras para ser alocados inicialmente dentro de cada pixel almacenado y debe ser localizado en cada capa que será generada para su análisis.
- Todo sistema raster permite atribuir, en cada pixel, uno de los siguientes valores:
- Algunos permiten solamente números enteros, en una faja fijada. Por ejemplo 127 para + 127 (1 byte por pixel) o -32767 para + 32767 (2 bytes por pixel);



- Otros permiten números enteros reales (decimales) y formatos mixtos (alfanuméricos) en cada pixel.

Manejo de la codificación

Todo dato geográfico tiende a ser "autocorrelacionado espacialmente", significando que los objetos que son cercanos en relación a otro, tienden a tener atributos similares. Todas las cosas están relacionadas, pero objetos próximos están más relacionados de lo que lo están las cosas distantes.

Por esta razón, los pixels vecinos poseen valores similares, permitiendo codificarlos como pares de valores.

Así en lugar de repetir los valores de los pixels, se pueden codificar en pares de valores. Por ejemplo, en una matriz de 16 valores de pixel como matriz original, ahora tenemos: 4A, 1A, 3B, 2A, 2B, 3A, 1B.

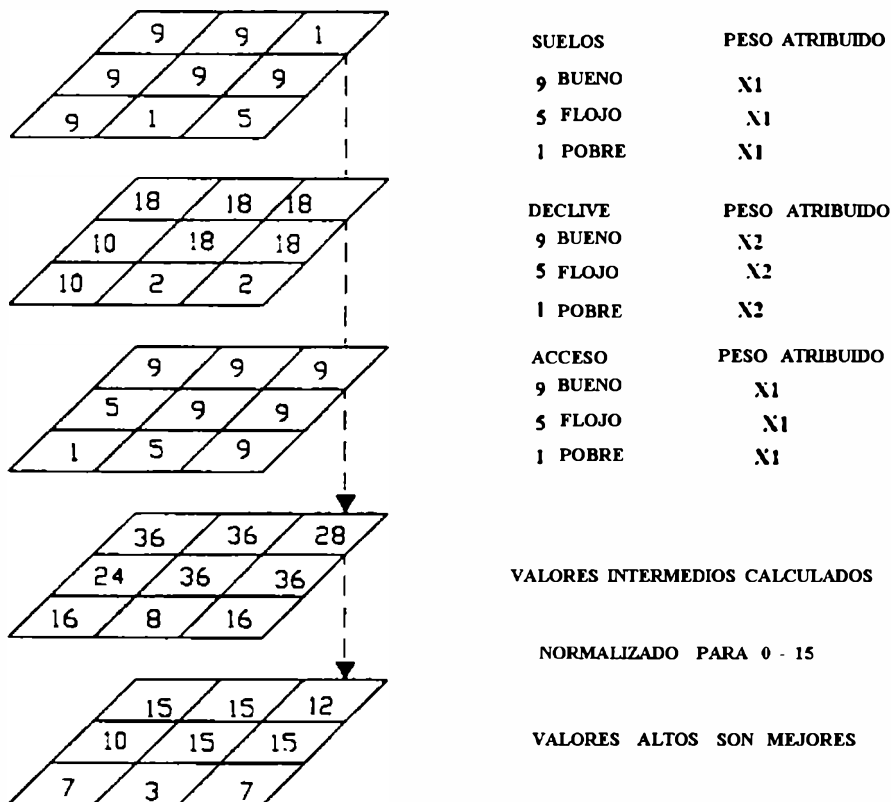
Resulta que hay 7 pares de valores enteros a ser almacenados. Así este sistema usa menor espacio para almacenar.

Combinación raster/vector

Muchos sistemas raster permiten entrada de datos en el formato vector. Por ejemplo, un polígono, definido por sus vértices es ingresado para ser convertido, asignando el valor 1 para todos los pixels dentro del polígono y cero 0 para todos los pixels fuera del polígono.

2.6.2.7 Técnicas de análisis con datos raster

La figura siguiente ilustra las técnicas de análisis utilizando datos raster.



TECNICAS DE ANALISIS CON DATOS RASTER

2.6.2.8 Sistemas matriciales existentes

Existen 3 tipos de G.I.S. matriciales (o raster):

- Comercial desarrollado por grupos especializados. Es generalmente bastante suficiente, completo y para aplicaciones de múltiple propósito, con poca limitación en el volumen de datos. Por ejemplo ERDAS (versiones para PC, WS, Mainframe);
- De dominio público desarrollado por órganos públicos, cuyo objetivo es atender propósitos específicos o dentro de un área de aplicación afín. Por ejemplo, GRASS (versiones para workstation y Unix);
- Educativo desarrollado por profesores de universidades, cuyo objetivo es didáctico y asimilación de la conceptualización en sí. Por ejemplo, IDRISI, MAP, etc. (normalmente para PC).

Cada tipo se diferencia en costo, plataforma exigida, funcionalidad (para entrada de datos, conversiones, construcción de base de datos, análisis, calidad, etc.), interface con el usuario (menús), disponibilidad de ayuda "on line", etc.

Sin duda las aplicaciones deben ser múltiples. Lo importante es que sirvan como herramienta de investigación espacial de los fenómenos, o en la sintetización de unidades organizadas.



2.6.2.9 Ventajas y desventajas del modelo matricial

- ☞ El G.I.S., en el modelo matricial, presenta las siguientes **ventajas**:
 - Fuente de datos: fácil de implementar si la entrada de datos fuera realmente matricial. Las principales fuentes son imágenes de satélite y datos de curvas de nivel digitalizadas;
 - Modelo de datos: el modelo matricial, conceptualmente es simple y fácil de trabajar;
 - Funciones: las funciones son fáciles de implementar en microcomputadores, sin perder velocidad;
 - Costo: la mayoría de los G.I.S.s matriciales son de bajo costo, porque la exigencia de plataformas es pequeña;
 - Resolución: las capas poseen resoluciones previamente fijadas. Se las puede determinar en función de disponibilidad de datos o de la exigencia de estudios;
 - Representación de entidades: es bastante simbólica para las formas puntuales, lineales, y las fronteras de formas areales;
 - Interface: posibilita interface con un banco de datos alfanumérico;
 - Operaciones: presentan buen desempeño en operaciones "booleanas" con mapas del mismo área que describen variables distintas;
 - Compactación: facilita técnicas de compactación para almacenamiento más eficaz de los datos;

- ☞ Como **desventajas**, se puede apuntar lo siguiente:
 - Análisis: se muestra ineficaz para realizar análisis espaciales complejos, condicionados por varios atributos descriptivos de los temas mapeados;

 - Aplicaciones: desempeño comprometido en aplicaciones que demanden resoluciones elevadas;

 - Formas: las fronteras entre formas sólo pueden ser detectadas como discontinuidades en los valores de los pixels.

2.6.2.10 Estructura vectorial

En la descripción de los datos espaciales, basados en vectores, se supone que un elemento puede ser localizado en cualquier lugar, sin imposición como en el modelo matricial.

En verdad, la estructura vector está basada en elementos puntos, cuyas localizaciones son conocidas con una precisión arbitraria, diferente de la matricial que fue previamente descripta. Por ejemplo, para almacenar un círculo en la estructura matricial, se deben encontrar y codificar todas las celdas (de tamaño predefinido) cuyas localizaciones correspondan al perímetro del círculo; pero en el modelo vector, además de ser más eficiente en la cantidad de datos y presentar mayor precisión, el círculo es definido como una entidad geométrica círculo.



2.6.2.11 Elementos de la estructura vectorial

La representación vectorial de un elemento es una tentativa de reproducirlo lo más exactamente posible. Se asume el espacio como continuo, lo que permite que todas las posiciones de distancias y áreas sean definidas con un grado de precisión mucho mayor. Los métodos vectoriales asumen que las coordenadas de los puntos son matemáticamente exactas. Además de eso, usan relaciones implícitas permitiendo que datos complejos sean almacenados en menos espacio en la computadora.

En forma vectorial, cualquier elemento puede ser reducido a tres formas básicas: puntos, líneas y áreas o polígonos.

1) **Elementos puntuales:** Los elementos puntuales abarcan todas las entidades geográficas que pueden ser perfectamente posicionadas por un único par de coordenadas x,y. Establecen su localización en el espacio, considerado como superficie plana. Además de las coordenadas, otros datos (no geográficos) deben ser archivados para indicar de que tipo de punto se está tratando.

2) **Líneas:** Los elementos lineales son un conjunto de por lo menos dos puntos. Además de las coordenadas de los puntos que componen la línea, se deben almacenar informaciones que indiquen de que tipo de línea se está tratando, o sea, a que atributo ella está asociada.

3) **Redes:** Las líneas no tienen ninguna información al respecto de las ligaduras entre ellas. El conocimiento de como ocurren tales ligaduras puede ser de fundamental importancia, como en el caso del estudio de la red de drenaje. Para estudiar una red de líneas que pueda ser *reconstruida* por la computadora, deben ser usados apuntadores dentro de la estructura de datos. Esos elementos se basan en el uso de puntos a que damos el nombre de nodos.

Además de apuntadores para la cadena de líneas formadas, los nodos traen ligadas a sí, informaciones sobre el ángulo de confluencia, mostrando el modo con que cada línea se liga a cada nodo. De esa forma, la topología de la red está totalmente definida.

Cabe aquí resaltar la importancia de la topología en la concepción de un G.I.S. La topología define la localización de los fenómenos geográficos, uno en relación a los otros, no requiriendo necesariamente el uso del concepto de coordenadas, pero considerando su posición en el arreglo de red, por ejemplo.

4) **Polígonos:** Áreas o polígonos pueden ser representados de varias maneras en formato vectorial. El objetivo de la estructura poligonal es describir las propiedades topológicas de áreas como forma, vecinos, jerarquía, etc., de tal manera que los atributos asociados a los elementos áreas puedan ser manipulados de la misma forma que en un mapa temático analógico.

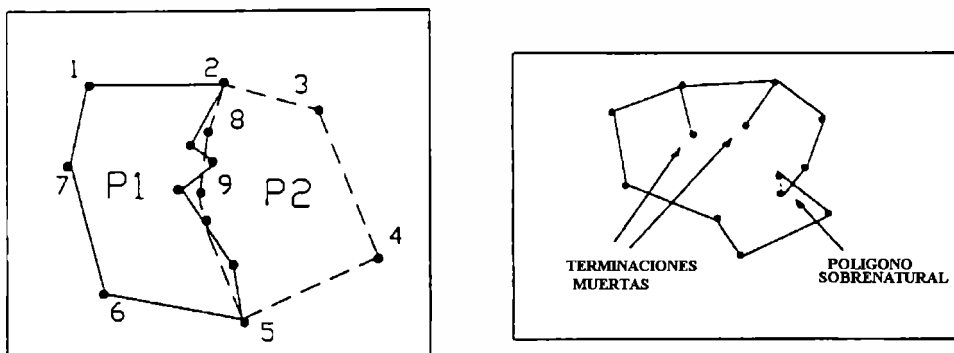


En la representación por polígonos, cada elemento tiene área, perímetro y formato individualizados. Es diferente del sistema raster, donde una unidad posee áreas, formato y perímetro patronizados, igual para todas las unidades elementales (cuadrículas).

Para el análisis de los datos se hace necesario almacenar informaciones referentes a los elementos vecinos, de la misma forma que en la estructura de redes debían ser definidas las ligaduras entre las líneas. Otro problema a ser considerado es que, en los mapas temáticos, los polígonos no están en el mismo nivel jerárquico. Islas pueden ocurrir en lagos, que por su vez son islas dentro de polígonos mayores.

♦ **Polígonos simples:** La manera más simple de representar un polígono es semejante a aquella usada para elementos lineales, o sea, por un conjunto de coordenadas (x,y). En cuanto presenta la ventaja de ser simple, el método tiene varias desventajas a saber:

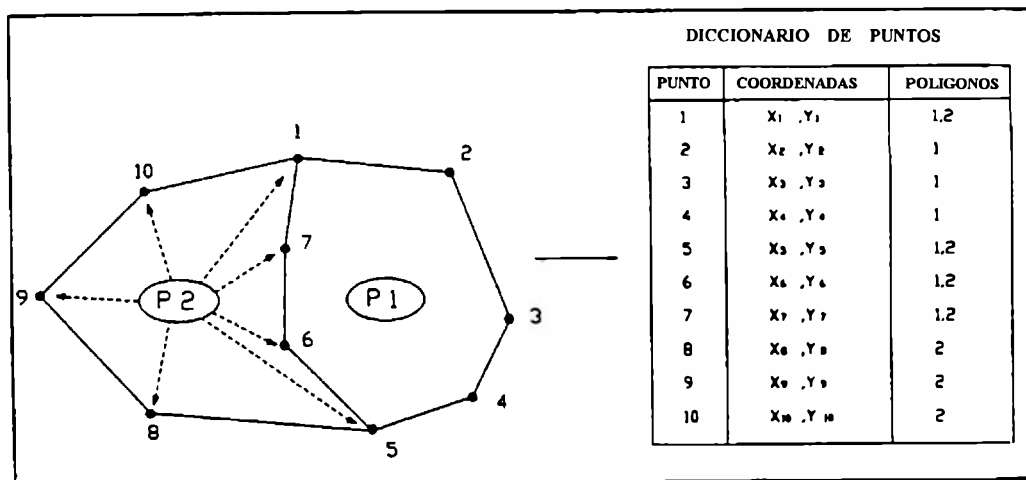
- Las líneas entre polígonos adyacentes tienen que ser digitalizadas dos veces, lo que aumenta la posibilidad de ocurrencia de errores. Para el polígono P1 se digitalizan los segmentos comprendidos por los números 2,1,7,6,5,9,8,2. Para el polígono P2 se digitalizan los segmentos comprendidos por los números 2,8,9,5,4,3,2. Se nota que el segmento 5,9,8,2 fue digitalizado dos veces, ilustrándose en la siguiente figura:



- No existe información sobre los polígonos vecinos.
- Islas no son posibles sino como construcciones puramente gráficas.
- No hay una manera fácil de chequear si la topología está correcta o incompleta, se pueden crear situaciones topológicamente inadmisibles, como muestra la figura anterior.

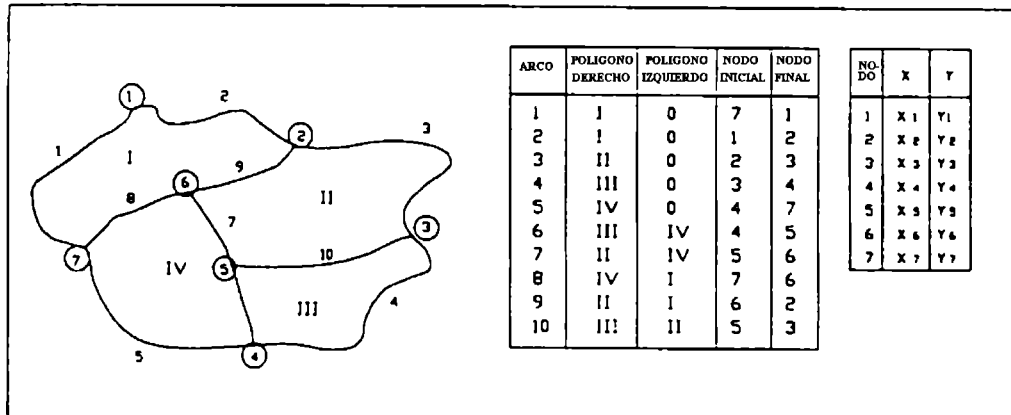


♦ Polígonos con Diccionario de Puntos: En este caso, cada par de coordenadas es numerado secuencialmente y referenciado a un diccionario donde son registrados que puntos pertenecen a cada polígono (figura siguiente). Aunque no resuelve el problema de inmediación, tiene como ventaja el hecho de que los límites entre polígonos adyacentes son únicos. Otra ventaja de usar este procedimiento es el hecho de que cadenas con exceso de puntos pueden ser reducidas en tamaño por un algoritmo específico, sin que sea necesario cambiar el diccionario. Uno de los problemas consiste en la dificultad de suprimir líneas entre polígonos, como es el caso cuando, tras una determinada operación, se torna necesario fusionar dos polígonos de clases diferentes en otro. Permanece el problema de islas, como el problema de "terminaciones muertas" y "polígonos sobrenaturales" (Figura anterior)



♦ Polígonos con Estructura Topológica Explícita: Los problemas como islas e inmediaciones sólo pueden ser resueltos si se incorporan relaciones topológicas explícitas en la estructura. La estructura topológica puede ser construida de dos maneras: durante la entrada de datos, o a través del uso de programación específica que crea la topología a partir de un conjunto de líneas o cadenas.

En el primer caso, el trabajo recae sobre el operador. En el segundo, sobre la capacidad de computación. Ambos resultan en un aumento significativo de datos a ser almacenados, a fin de describir totalmente la estructura poligonal. La figura siguiente ilustra este tipo de estructura. En ese caso, para montar el arco (1) se procede de la siguiente forma: se verifica el polígono a derecha o a izquierda, el número inicial (7) y el número final (1) en el sentido horario. Para cada número se almacenan las coordenadas x e y.



En la forma vectorial, la digitalización de los datos gráficos (mapas) puede ser hecha por procesos manuales (se usan mesas digitalizadoras), semiautomáticos (con equipamientos del tipo line-follower) o automáticos a través de scanners. Otra posibilidad es la restitución analítica (digital) de fotografías aéreas que, en ese caso, forman la base topográfica sobre la cual serán digitalizados los temas.

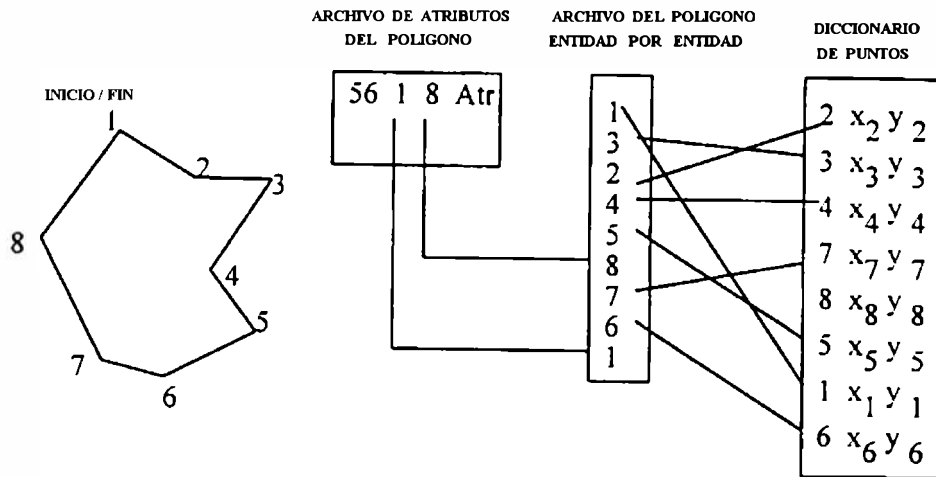
Los atributos no gráficos deben ser almacenados en base de datos propias. Se usan normalmente administradores de banco de datos encontrados en el mercado tales como dBASE, ORACLE, etc., siendo los más avanzados aquellos que utilizan los modelos relacionales. Para la unión de los atributos a los elementos gráficos se deben crear mecanismos de unión entre las dos bases de datos.

Con respecto a la forma vectorial, se debe considerar también la calidad visual de la información. En ese caso, las formas de salida convencionales como impresoras y plotter permiten una presentación más adecuada de los resultados, no sólo desde el punto de vista estético sino también por el hecho de que el producto final se asemeja mucho más a la forma convencional (analógica) de elaboración de mapas.

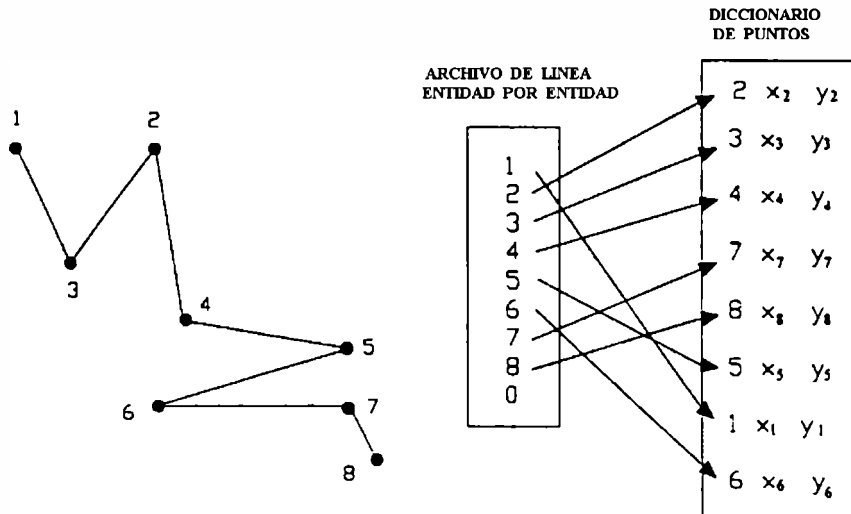
2.6.2.12 Formas de las estructuras vector

Las diversas formas de las estructuras vector son de uso común y representan los tipos de BD cartográficas de los G.I.S. Estas representaciones se transformarán en patrones para transferencia de datos entre los sistemas:

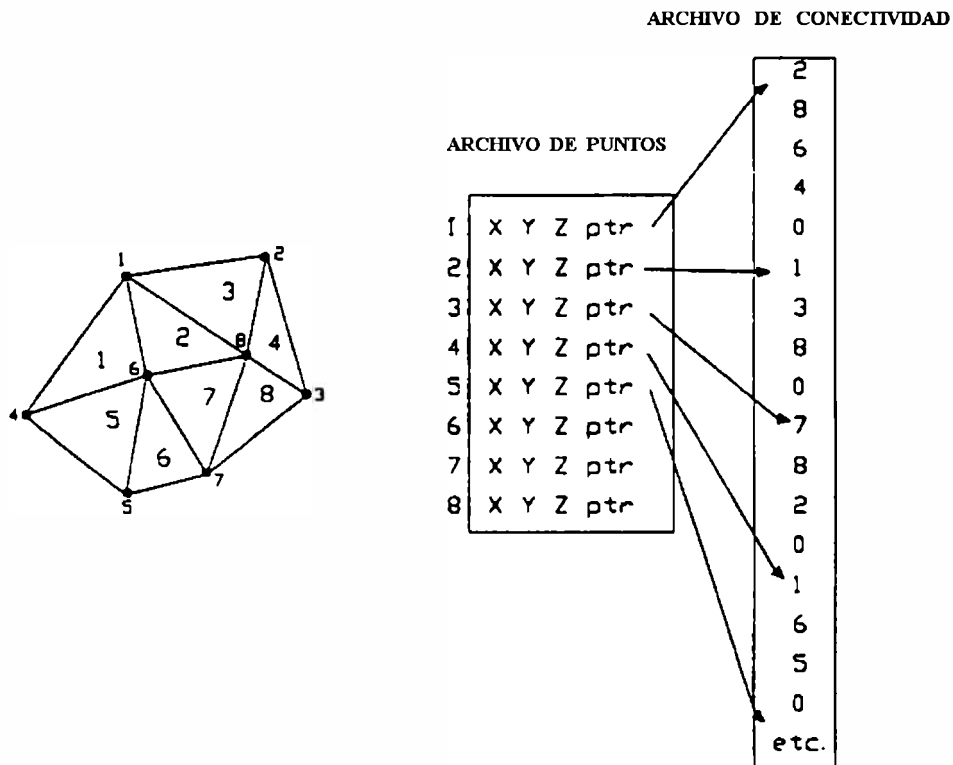
- **Estructura poligonal** Cada capa se divide en un conjunto de polígonos. Cada polígono se codifica en una BD como una secuencia de localizaciones, definidas por coordenadas. Cada polígono se almacena como entidad independiente. Los atributos de esos polígonos son almacenados como relación de coordenadas.



➤ **Estructura DIME** (Dual Independent Map Encoding) El elemento base del DIME es la línea definida por dos nodos. Cada línea es almacenada con 3 componentes esenciales: nombre del segmento, identificador del nodo e identificador del polígono.



➤ **Estructura arco-nodo** En esta estructura, los objetos son dispuestos jerárquicamente. Los puntos son elementos básicos de la estructura. Los arcos son segmentos individuales definidos por serie de coordenadas (X,Y). Los nodos están en los extremos de los arcos que forman los puntos de intersección entre los arcos. Los polígonos son áreas limitadas por conjunto de arcos. De este modo los nodos son compartidos por arcos y polígonos.



➤ **Estructura relacional** Es una variante de la anterior, solamente se incorporan las informaciones topológicas. Los atributos son almacenados separadamente.

➤ **Estructura DGL (Digital Line Graph)** Estructura basada en cartas topográficas de 7,5 x 15 minutos. Los datos en la BD son subdivididos en diferentes capas temáticamente clasificados. De una forma general contienen las estructuras arriba relacionadas.

2.6.2.13 Ventajas y desventajas de la estructura vectorial

☞ Como **ventajas** tenemos:

- ✓ Buena representación de líneas y polígonos;
- ✓ Capacidad de alta resolución y precisión;
- ✓ Estructura compacta;
- ✓ Representa líneas complejas con mínima calidad de informaciones;
- ✓ Reduce redundancias debido al uso de coordenadas;
- ✓ Mejor descripción topológica;
- ✓ Soporta realimentación interactiva, permitiendo actualización y generalización de los datos;

☞ Como **desventajas** tenemos:

- ✓ Estructura compleja y poco intuitiva para ser entendida;
- ✓ Combinación de capas complejas (requieren tarea intensa);



- ✓ Visualización y dibujo caro (especialmente si fuera de buena calidad).



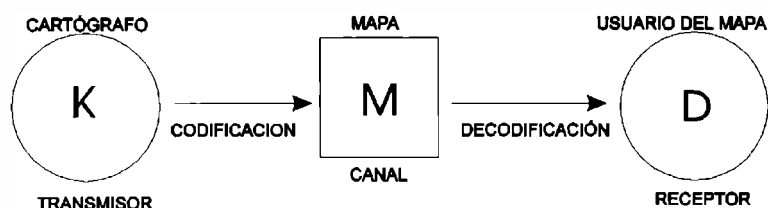
2.7 Topología y geocodificación.

2.7.1 El mapa como medio de comunicación

2.7.1.1 Información cartográfica

La cartografía debería incluir todos los aspectos de confección y uso de mapas y debería ser incorporada como parte de la ciencia de información o de la nueva y gran ciencia de comunicación.

Ciertos modelos de transmisión cartográfica adoptan conceptos y terminologías de las teorías de transmisión de información, que están resumidas en la siguiente afirmación: los mensajes son transmitidos del cartógrafo (K) para el receptor (D), a través de un canal de transmisión, esto es, a través de un mapa (M).

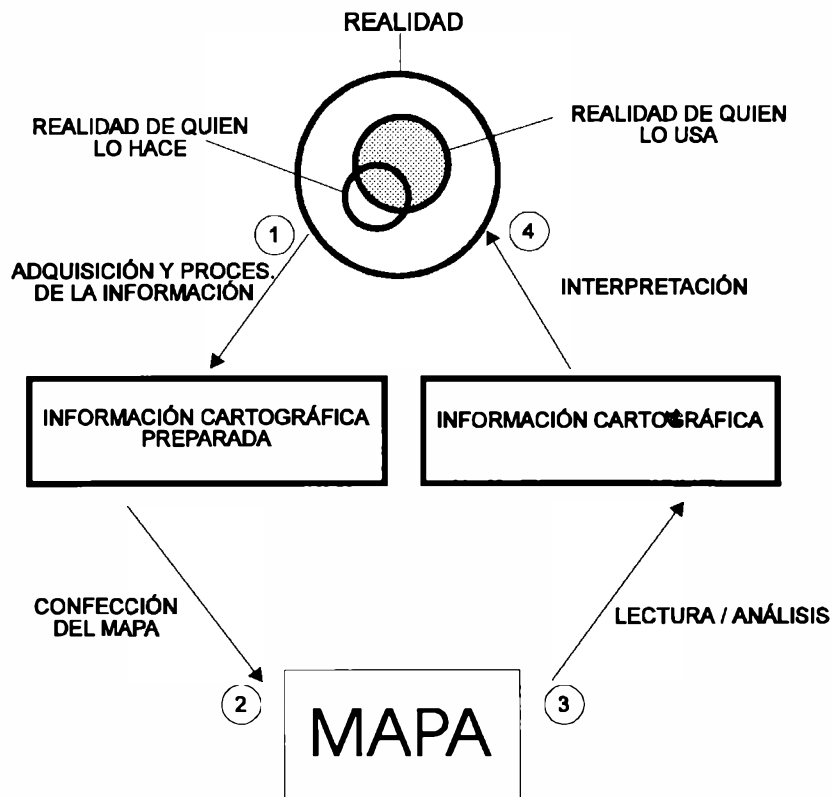


Según otros, aunque pueda parecer axiomático que los mapas deban ser preparados para uso intencional, ellos frecuentemente están a escalas desproporcionadas, con diversos niveles de detalles, categorización, o simbolización. Considere, por ejemplo, la variedad de mapas que pueden resultar de elecciones alternativas con respecto a sistemas de clasificación, detalles cartográficos, datos de la imagen y escala de mapeo.

No hay, naturalmente, una sola combinación correcta que sea adecuada para todas las circunstancias. Una elección pobre en esas mismas características puede llevar el mapa final a la inadecuación para su uso pretendido.

Además de estas dificultades, es preciso notar que las necesidades del usuario tampoco son siempre obvias o aparentes.

El diagrama de Kolacny muestra los estados que la información cartográfica atraviesa cuando es transmitida. El usuario de mapas es involucrado en un proceso de comunicación, y de esa manera insertado en el propio proyecto cartográfico.



Se afirma que muchas exigencias están siendo generadas por la "creciente importancia y alcance de los mapas en la vida moderna", por lo tanto se propone que el trabajo creativo del cartógrafo debe ser basado totalmente en las necesidades y condiciones subjetivas del usuario del mapa. Eso significa un conocimiento profundo de las condiciones que constituyen los problemas asociados al uso de mapas.

Salichev presenta una propuesta en que los procesos de estudios del mapa y formación de ideas sobre la realidad derivada de informaciones extraídas de mapas por los lectores, proporciona un aumento de conocimiento de aquella parte de la realidad que está siendo investigada.

Además de esto, ese modelo describe un proceso cíclico que incluye una nueva visión del mundo real, muy parecida a la propuesta de Kolacny que indica una discrepancia entre la realidad del cartógrafo y la del usuario del mapa.

En el caso de los productos cartográficos generados como sistemas de apoyo para la toma de decisiones o sistemas de información geográficas, se les exige que "presenten informaciones objetivas respecto de la realidad concebida en las relaciones espaciales, de manera verdadera y eficaz. Se espera que tales productos contengan mucho más sobre la realidad de lo que puede ser percibido a través de los sentidos.

2.7.1.2 Características principales del mapa

Además de la localización de las entidades y de sus atributos, los mapas poseen otras características técnicas que definen e indican su uso. Entre ellas tenemos: escala, resolución, proyección, precisión entre áreas de representación.

A) Escala del mapa: depende de la información y del tamaño del área que está siendo representada. Escalas grandes muestran entidades con bastante detalle, pero



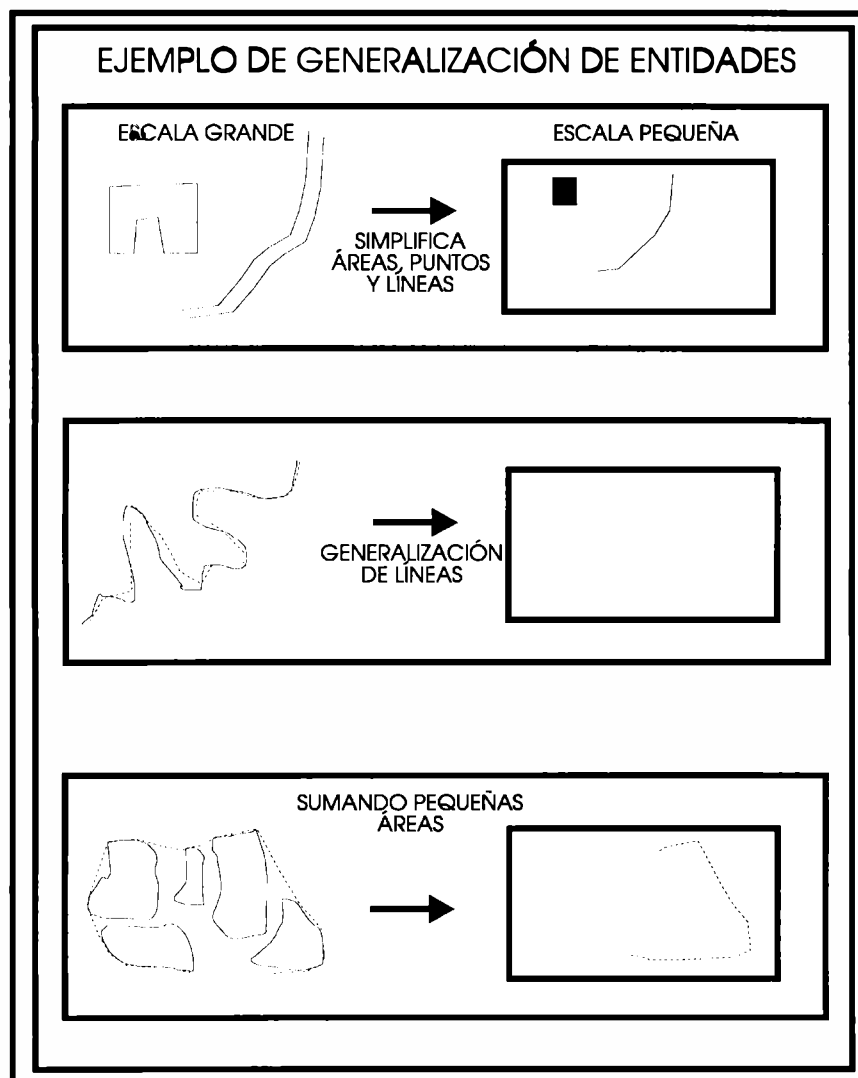
representan áreas menores. A escalas pequeñas muestran grandes áreas pero se pierden muchos detalles.

B) Resolución del mapa: representa la precisión con la cual la localización y las formas de las entidades de los mapas pueden ser representadas para una escala dada del mapa. En escalas grandes, la resolución de entidades combina mejor con las entidades del mundo real porque la reducción del terreno para el mapa, es menor.

C) Generalización de los mapas: una de las principales fases de un proyecto cartográfico es la generalización. Su importancia se torna aún más evidente si se considera el mapa como medio de comunicación.

La generalización simplifica detalles complejos presentes en los archivos de datos brutos, como imágenes aéreas, para una forma conveniente al usuario. La generalización lógica y visual es inherente a todos los mapas y necesaria para una representación cartográfica legible, así mismo tal simplificación también signifique que detalles, a pesar de importantes, sean ocultados al usuario. En consecuencia de esto, siempre habrá presencia de "impurezas" (distorsiones, omisiones, etc.) que perjudiquen la utilidad del mapa. Como el usuario no tiene acceso a los datos originales de los cuales los mapas son preparados, sigue dependiendo completamente de que el cartógrafo presente la información de manera lógica y consistente. Entre tanto, hay técnicas que no acostumbran valorizar o llegan a despreciar la generalización.

En ambientes que suministran ayuda en forma de informaciones distribuidas espacialmente, como los sistemas de apoyo a las decisiones, la cartografía garantiza que los mapas tengan funciones específicas para grupos específicos de usuarios. Koeman, destaca la importancia de considerar los mapas como herramientas, donde se incluye "tanto los esbozos como los mapas de base". De manera que la generalización se presta para proveer las informaciones relevantes al individuo o grupo de individuos interesados.



D) Precisión de los mapas: adicionalmente a la resolución, la precisión de los mapas depende de la representación, calidad de la fuente de los datos, escala del mapa, experiencia del dibujante y espesura de la línea utilizada para representar las entidades. Además hay que considerar los errores humanos y del material base del mapa.

E) Extensión de los mapas: la extensión real de un mapa es el área sobre la superficie de la tierra que es representada en el mapa. Es el límite del área definido normalmente por un rectángulo suficientemente grande para incluir todas las entidades del mapa. El tamaño de la extensión del mapa depende de la escala del mismo.

F) Sistemas de coordenadas: las coordenadas son usadas para identificar sitios sobre la superficie terrestre. Están basadas en mediciones de desplazamiento, a partir de un origen dado. Normalmente existen dos tipos: planas y globales.



- El sistema de coordenadas planas es determinado a través de dos valores X, Y en relación al origen. Es útil para calcular distancias entre dos puntos. En el caso de coordenadas polares, usadas en mediciones radiales, pueden ser transformadas en coordenadas absolutas o relativas.
- El almacenamiento de las coordenadas se realiza normalmente con números, ya sea en notación científica o en números reales.
- Las coordenadas globales son medidas en longitud y latitud. Por ejemplo, para calcular una distancia entre dos puntos de la superficie terrestre usamos también el radio de la tierra y asumimos que su forma es esférica.

G) Proyecciones de Mapas: la proyección de un mapa es un sistema donde la localización de la superficie de la Tierra es mostrada en hojas cartográficas, obedeciendo a una regla matemática. Así, la proyección es un proceso de transformación de la localización global hacia la representación plana(X, Y).

En el G.I.S., los mapas son fuentes básicas para la entrada de datos. Los mapas digitales deben ser representados en proyecciones planas. La más común en la proyección de Mercator, entre otras como la de Lambert (preserva las representaciones de las áreas) y la Cónica (preserva la distancia en una misma escala).

2.7.1.3 El mapa como medio de almacenamiento de datos

El mapa registra o almacena informaciones topográficas importantes en forma analógica, numérica o fotográfica. Son ellas las que permiten respuestas a preguntas acerca de los objetos en el contexto geográfico y a sus relaciones implícitas.

La primera etapa en un proyecto G.I.S. es crear el mapa-base digital. Para que los mapas sean automatizados, se debe explicitar como debe ser almacenada la información, como serán estructurados y registrados los datos, y como se espera usar dicho mapa-base.

La geocodificación, después de definidas las estructuras, permite almacenar el mapa en forma digital.

2.7.1.4 Tipos de conceptos y datos contenidos en los mapas

Un mapa es una representación gráfica de las entidades geográficas o de otros fenómenos espaciales. Este transfiere muchos tipos de información acerca del área representada.

La información de localización describe la posición de las entidades geográficas particulares de la superficie de la tierra, así también como la relación espacial entre la entidades. Un mapa contiene también información que describe las entidades geográficas representadas, como nombres y muchas veces alguna información cuantitativa como área, longitud, etc.

La información transcrita por el mapa es representada gráficamente como un conjunto de componentes del mapa (puntos, líneas y áreas). Normalmente las



características de las entidades, en el mapa, son representadas por símbolos o convenciones gráficas.

Los datos gráficos representan las imágenes del mapa en forma digital. Hay seis tipos de elementos gráficos contenidos en los mapas, que pueden ser agrupados como siguen:

A) Entidades espaciales. Las informaciones compuestas por un mapa son representadas gráficamente como si fuesen componentes geométricos debidamente ajustados. La información de localización es representada por puntos para entidades como árboles y postes de teléfonos; por líneas para entidades como rutas, redes de desagüe y entubaciones; por áreas para entidades como lagos, municipios, divisiones censales, parcelas, etc.

➤ **La entidad punto:** es representada por una localización discreta, definiendo un objeto del mapa, cuyo límite o forma es demasiado pequeño para ser mostrado como una línea o un área. Ella puede representar un punto que no tenga área, como elevaciones de montañas. Un Símbolo espacial o un texto, generalmente es representado por una localización de punto.

✓ **El nodo (o nudo):** es un tipo especial de punto, también es un objeto unidimensional, que representa una unión topológica, un punto final y una localización geométrica específica.

➤ **La entidad línea:** es representada por un conjunto de coordenadas ordenadas que juntas, representan la forma lineal de un objeto estrecho como para ser mostrado como área en el mapa. Ella puede ser una entidad que no tiene espesura, tal como las líneas de las curvas de nivel. En algunos sistemas, las líneas son referidas como arcos.

✓ **Un segmento de línea:** es una línea entre dos puntos. las formas especiales de líneas son:

- **String**, una serie de segmentos.
- **Arco**, un grupo de puntos formando una curva definida por una función matemática.
- **Cadena**, una secuencia direccionada de segmentos no intersectados o arcos con nodos en cada final.

➤ **La entidad área:** es una figura con límites cerrados, representando áreas homogéneas, tal como un Estado, Municipio, cuerpo de agua, etc. Esta entidad es un objeto bidimensional continuo que puede o no incluir su límite; las áreas individuales son representadas como polígonos.

✓ **Un pixel**, un conjunto bidimensional que representa una unidad indivisible de una imagen.

✓ **Una grilla**, un objeto bidimensional que representa un elemento único de una superficie continua.

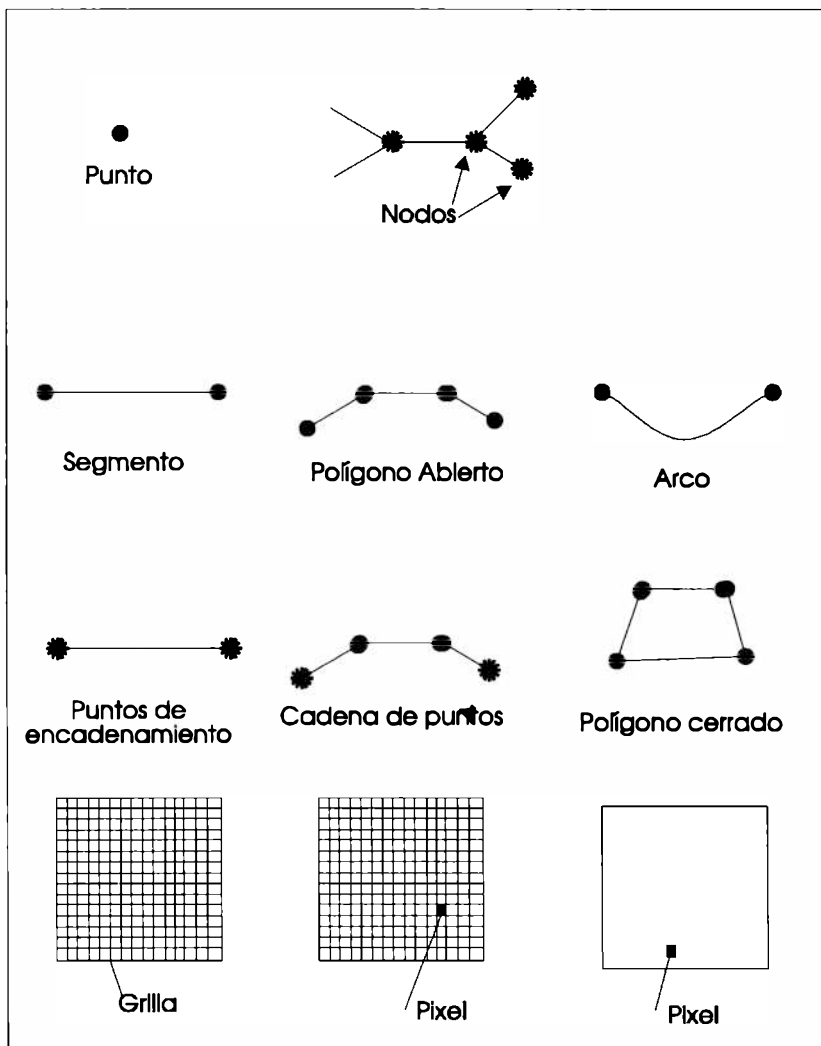
B) Relaciones espaciales. La relación espacial entre entidades es también representada gráficamente sobre los mapas, pero depende del usuario para ser interpretado. Por ejemplo, se puede observar un mapa y decir que una ciudad está próxima a un lago; encontrar la distancia relativa a lo largo de rutas entre dos ciudades, así como el camino más corto a ser tomado; identificar el hospital más próximo y las rutas usadas para dirigirse hasta allí; estimar la elevación de un lago a partir de las



curvas de nivel asociadas, etc., aunque esta clase de información no está representada explícitamente sobre los mapas. Estas relaciones deben ser derivadas o interpretadas a partir de los mapas gráficos.

C) Símbolos y anotaciones. En la visualización gráfica, los mapas representan la localización de las entidades y sus características significativas, de modo que la interpretación pueda ser hecha fácilmente. La descripción de las entidades de los mapas (esto es, sus atributos) es representada como símbolos gráficos. Por ejemplo, para representar los distintos tipos de caminos existentes, ellas son dibujadas con diversas espesuras de líneas, de patrones, de colores y de títulos.

Otra tarea que merece que se destaque en un proyecto cartográfico, es el de la elección de símbolos que representarán la entidades seleccionadas para componer un mapa. Se afirma que el cartógrafo debe proveer informaciones sobre la distribución espacial de fenómenos de manera adecuada. Para ello, debe conocer las reglas de la comunicación: "como lo digo, que digo, para quién".





2.7.1.5 Almacenamiento de Datos Geográficos

En una Base de Datos (BD) digital, dos tipos de informaciones: espacial y descriptiva, son almacenadas como una serie de archivos en la computadora que contienen las informaciones espaciales y descriptivas de las entidades de los mapas. El potencial de un G.I.S. está en la unión de esos dos tipos de datos, y en mantener la relación entre las entidades del mapa.

La integración de datos es una forma poderosa y variada de observar y analizar esos datos. Se puede transferir información de las tablas de la BD para el mapa, o se puede crear mapas basados en información de las tablas de la BD.

Existen diversas formas de representar el mapa en la computadora:

A) Representación individual de entidades. Entidades de la superficie terrestre son mapeadas en el plano (bidimensional) a través de puntos, líneas y áreas. Un sistema de coordenadas es usado para referenciar la localización en el mapa en relación a la localización del terreno.

Cada punto es registrado como una localización x,y . Las líneas son registradas como una serie de coordenadas x,y ordenadas. Las áreas son registradas como una serie de coordenadas x,y , definiendo segmentos de líneas que cerrarán un área; este es el origen del término polígono, que significa "figura de muchos lados". Con las coordenadas x,y , se pueden representar puntos, líneas y polígonos. La primera y la última coordenada del polígono que forma un área son iguales.

Conceptualmente, la relación de esas coordenadas representa cómo las entidades de los mapas son almacenadas en la computadora: como componentes de dígitos x,y (aquí surge el término de "digitalización", usado para referirse a la automatización de datos de los mapas).

Los mapas usan, generalmente, el sistema llamado UTM (Universal Transverse Mercator), cuya unidad es el metro.

B) Representación múltiple de entidades. Es fácil ver cómo las coordenadas de una entidad pueden ser almacenadas. Entre tanto, si hay muchas y variadas entidades, se utiliza un identificador para diferenciarlas. Así, las coordenadas registran cada entidad, guardando una secuencia de números o códigos como una lista de coordenadas para cada entidad.

2.7.2 La Topología y su importancia

2.7.2.1 Definición

Es preciso saber interpretar la relación espacial entre las entidades. Por ejemplo, se puede trazar en el mapa un camino a lo largo de calles de una ciudad para encontrar el recorrido del aeropuerto al hotel; igualmente, se puede querer identificar dos parcelas de terrenos contiguas y la ruta a lo largo de la cual ellas están ubicadas, etc.

Entre tanto la computadora no "ve" los datos cartográficos como un hombre ve el mapa. Ella no puede observar en el mapa dos intersecciones y describir los caminos que están conectadas como el hombre podría hacerlo. Nosotros vemos una imagen visual de las entidades y entonces asociamos implícitamente que los caminos convergen en el punto de la intersección. Nosotros efectuamos esa "relación espacial (izquierda, derecha,



próximo, a parte, etc.) desde nuestra infancia. Desde entonces, hemos estado aptos para interpretar los mapas y conocer dónde y cómo las entidades se relacionan con otras.

La computadora, por eso, necesita conocer esas relaciones espaciales definidas explícitamente, dentro de formatos que ella pueda entender. Así, la computadora necesita o depende de la definición explícita de como las entidades se relacionan entre sí antes que ella pueda procesar los datos geográficamente.

Entonces, debemos interpretar esas relaciones para identificar conexiones de líneas a lo largo de un camino, para definir áreas cerradas dentro de esas líneas y para identificar áreas contiguas.

En mapas digitales, las relaciones espaciales son descriptas usando la topología. Por eso es importante conceptualizar la topología para direccionar su uso para las diversas aplicaciones.

La topología es parte de la matemática que estudia las propiedades geométricas que permanecen invariables bajo deformaciones, se interesa por las propiedades geométricas que no cambian cuando un objeto es deformado. Esto significa que para el mundo real no importan las coordenadas y las formas, porque ellas cambian cuando los objetos son extendidos (alargados). Lo que importa son los elementos (como contigüidad, conectividad, etc.) del modelo topológico.

Así, la topología es un modelo matemático para definir explícitamente las relaciones espaciales.

Para los mapas, la topología define conexiones entre entidades, identifica polígonos adyacentes y puede definir una entidad como área, o determinar otras entidades.

Creando y almacenando relaciones topológicas obtenemos muchas ventajas. Como se verá más adelante, los datos son almacenados en forma más eficiente cuando se usa la topología, la cual nos permite procesar datos más rápidamente y en grandes volúmenes. Cuando la relación topológica existe, se puede también ejecutar funciones de análisis tales como: modelación de flujos a través de líneas conectadas en una red, combinación de polígonos adyacentes con características similares y recubrimiento de diferentes entidades geográficas.

2.7.2.2 Tipos de conceptos topológicos

Los cuatros conceptos principales que la topología nos presenta son:

- **La conectividad** - permite que arcos sean ligados uno a otro por nodos.
- **La circunscribidad** - permite que arcos ligados puedan circunscribir un área, definiendo un polígono.
- **La contigüidad** - permite que arcos posean dirección y lados como izquierda y derecha.
- **La orientación** - permite la orientación del flujo de identificaciones de los atributos, como "de nodo" y "hacia nodo".

2.7.2.3 Propiedades topológicas de los mapas



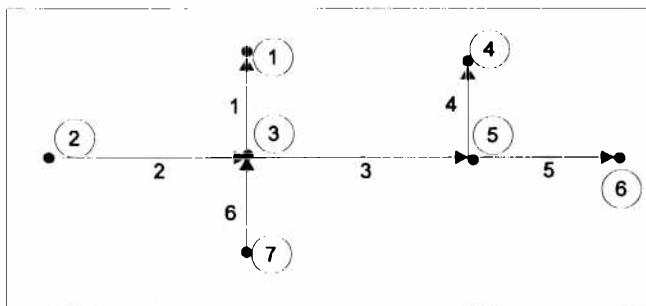
a) Orientación - una superficie es orientada en sentencias topológicas como: derecha, izquierda, indicando consistencia para cualquier dirección cerrada de la superficie.

b) Límites - son segmentos ligados para cerrar una determinada superficie o un objeto bidimensional.

2.7.2.4 Generación de la Topología

Ejemplo

El siguiente mapa de caminos muestra siete nodos debidamente numerados (dentro de los círculos). Utilizamos una tabla para relacionar los "de nodo" y los "hacia nodo", de todos los arcos



ARCO	DE PUNTO	HACIA PUNTO
1	3	1
2	2	3
3	3	5
4	5	4
5	5	6
6	7	3

Observamos que uno o más arcos forman un nodo; por definición, un nodo no puede existir sin un arco. A continuación, relacionamos los arcos a lo largo del recorrido del nodo 6 hacia el nodo 1. También indicamos la dirección del recorrido para cada arco (esto es, iniciando de "de nodo" y viajando hacia el "hacia nodo" o viceversa). Esto demuestra la conectividad de los arcos.

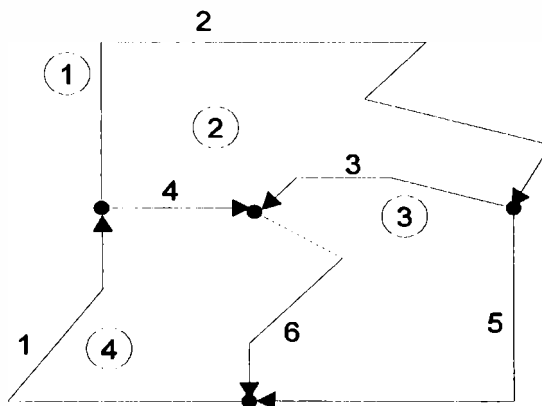
Del nodo 6 al nodo 1

NODO	6	5	3	1
DIRECCIÓN	-	-	+	

+ = "de nodo" hacia "hacia nodo"

- = "hacia nodo" hacia "de nodo"

Ahora definiremos áreas y la continuidad de los polígonos del mapa. Utilizando la primera tabla, definimos cada polígono (numerado dentro de círculos) para relacionar los arcos que conectan y crean cada polígono. Registramos el nodo de cada arco. Luego, en la segunda tabla, para cada arco, relacionamos los lados derecho e izquierdo de los polígonos. Las líneas indican la dirección de cada arco.



POLÍGONO	Nº DE ARCOS	LISTA DE LOS ARCOS
1	3	1-2-5
2	3	2-3-4
3	3	3-5-6
4	3	1-4-6

ARCO	POLÍGONO IZQ.	POLÍGONO DERECHO
1	1	4
2	1	2
3	3	2
4	2	4
5	1	3
6	3	4

2.7.3 Geocodificación

Geocodificación es la conversión de información espacial hacia la forma digital. Como tal, la geocodificación determina el tipo, la escala y la precisión de los mapas digitales. Para el proceso de geocodificación es fundamental el entendimiento claro de las propiedades geográficas básicas de los datos geográficos. Normalmente, se utilizan los elementos o entidades gráficas para la geocodificación, pues estas entidades son las que se fotografian, miden, muestran, levantan y analizan.

Los propósitos de la codificación son: especificar entidades de los mapas (por ejemplo, para capturar líneas que forman parte de polígonos que serán usados para producir mapas temáticos) y coleccionar varias piezas de información de una determinada área, de modo de montarlos para servir en varios contextos cartográficos.

2.7.3.1 Métodos de codificación

El proceso de geocodificación, que determina la localización espacial de cada objeto geográfico, es posible llevarlo a cabo de dos modos diferentes. En forma directa,



usando para ello un sistema de ejes de coordenadas respecto a los que se determina la posición absoluta de cada lugar; y en modo indirecto, otorgando a cada objeto una dirección o referencia espacial que lo difiera de los restantes y permite establecer su posición relativa respecto a los demás, las direcciones postales son un ejemplo de geocodificación indirecta.

A) Geocodificación directa

En este caso se establecen unos ejes de coordenadas ortogonales, respecto a los cuales se miden las separaciones de los objetos a geocodificar. Existen varios tipos de sistemas de coordenadas terrestres: esféricas, adecuadas para los datos espaciales de orden global, que abarcan la totalidad o la mayoría de la superficie del planeta, y planas que son válidas para porciones más o menos reducidas de la superficie terrestre.

Por otra parte, se pueden diferenciar dos variantes en la forma de la geocodificación directa, la continua y la discreta. En el primer caso, las coordenadas (x,y) de los puntos forman dos variables "continuas" que pueden adoptar cualquier valor en el campo de los números reales; esta forma de geocodificación está ligada a la representación vectorial. En la segunda posibilidad, las coordenadas se miden mediante variables discretas o enteras lo que determina que la precisión de la localización sea incompleta o menos adecuada que en el caso anterior. La representación "raster", por ejemplo, sigue un sistema de geocodificación discreta.

Un aspecto importante del uso de un sistema de coordenadas para geocodificar es el problema de la precisión de las coordenadas. Este hecho depende del número de dígitos significativos empleados, es decir, de cuántos dígitos, de todos los que definen una coordenada, son almacenados en la computadora. Su establecimiento depende de dos aspectos: el tamaño del área de estudio y la resolución que se desee o se pueda emplear en la medida de las coordenadas. Así por ejemplo, una superficie de 10 km. de lado, y en la cual las coordenadas de los objetos se midan con una resolución de un metro, puede tener valores de coordenadas que oscilen entre 0 y 10.000 (10^4), que necesita una precisión de cuatro dígitos significativos. Si el programa sólo puede guardar tres de ellos, la precisión posible de las coordenadas solo será de 10 metros.

B) Geocodificación indirecta

La geocodificación indirecta asigna una dirección o nombre a cada lugar, de este modo cada objeto geográfico está diferenciado de los restantes y podemos establecer su posición relativa. La dirección postal de una persona es un caso de georreferenciación indirecta. Otro buen ejemplo es el sistema de los censos de población, donde los datos están referidos a las secciones censales, cuyas posiciones espaciales son diferentes, aunque no se sepa en muchas ocasiones con total exactitud su localización absoluta en el espacio.

Por otra parte, suelen existir tablas que proporcionan las coordenadas (por ejemplo latitud y longitud) de las direcciones empleadas. En algunos países, por ejemplo USA, existen importantes bases de datos codificadas de modo indirecto, éste es el caso de los archivos DIME y TIGER de la Oficina del Censo. En estos casos una operación de gran importancia es la de relacionar las direcciones postales con otros elementos espaciales que estén geocodificados directamente (por ejemplo, los segmentos de calle) incluidos en la base de datos DIME o TIGER, de ese modo se pueden georreferenciar algunos de los datos censales de modo más exacto. Esta



posibilidad de unir información censal a localizaciones concretas tiene grandes aplicaciones en el marketing geográfico.

2.7.3.2 Funciones de la Geocodificación

La geocodificación facilita, básicamente la:

- Minimización de tarea de entrada - reduce tareas y etapas no necesarias o repetitivas, sobre todo en el proceso de digitalización.
- Detección y eliminación de errores - busca la consistencia topológica, identificando líneas discontinuas o polígonos no cerrados.
- Optimización de almacenamiento - todo dato posee volumen e información. La geocodificación elimina el volumen y retiene la información. Es necesario conocer que parte de los datos son redundantes.
- Maximización de estructuras - cada forma digital exige una elección correcta de la estructura, de modo que el análisis y la valuación sean facilitadas.

2.7.3.3 Medios de Geocodificación

El proceso de geocodificación es ejecutado vía un programa (o función del G.I.S.), cuya función es leer cada registro de la base de datos geográfica y encontrar los atributos correspondientes en la BD no geográfica, escribiéndolo en un campo definido en la BD geográfica. Esto es hecho para los registros existentes en la BD geográfica.

Históricamente, diferentes medios han sido utilizados para la geocodificación. Actualmente, existen dos técnicas para la codificación: la primera es aquella que asiste al operador en las tareas de digitalización, y la segunda es aquella que ejecuta tareas en un modo completamente automatizado.

En el primer caso, se utiliza una mesa digitalizadora cuya función principal es derivar coordenadas. Con eso, las entidades gráficas son fácilmente seleccionadas e identificadas. El método de digitalización es importante para la edición de entidades, evitar errores y organizar los datos.

En el segundo caso, se utiliza la digitalización automatizada (raster). Note que hay diferencias de características (por ejemplo el espesor) de las entidades gráficas rasterizadas. La resolución influye mucho en la calidad y precisión de las mismas. También se utilizan cámaras o scanners de video como periféricos de codificación.

2.7.4 Archivos de Base de Datos Geográficos (GDBF)

Los datos geográficos como válvulas de redes de agua, bocas de gas, etc., requieren una referenciación precisa, normalmente se utilizan coordenadas x,y o las distancias a partir de coordenadas. Los datos geográficos como parcelas de suelos y edificaciones requieren puntos que señalen los centroides que representan sus áreas. En el caso de redes de desagüe, pavimentos de caminos, y otros servicios urbanos son



representados por segmentos de líneas, por franjas dirigidas y muchas veces representados por coordenadas x,y de el punto inicial y del punto final de la línea. Por otro lado, la geografía de distritos políticos y administrativos utiliza las líneas (generalmente de segmentos de rutas o formas naturales) para identificar los límites o los puntos para la identificación de centroides de esos polígonos. Esas referencias geográficas (coordenadas x,y, direcciones, franjas de direcciones o señas, distritos, etc.) son utilizadas como geocódigos. Así, los geocódigos son los identificadores (códigos geográficos) que distinguen una entidad del mapa y los registros de la Base de Datos de los atributos, permitiendo que los datos sean combinados y procesados geográficamente (geoprocesamiento).

2.7.4.1 Métodos de Geocodificación y de geoprocesamiento

Los geocódigos a ser usados deben ser únicos para cada entidad individual o función. Por ejemplo, los datos de inspección de construcción, usados para inspeccionar los edificios son hechos con códigos de infracción, pues ellos referencian distritos de inspección, en cuanto que los índices de cómputos, usados para determinar los valores de propiedades, normalmente contienen geocódigos, referenciando para cálculos de índices de distritos. Raramente los límites de esos diferentes distritos son iguales. Por eso, el criterio para establecer los límites difiere de función en función.

Normalmente, existen códigos de distritos o unidades administrativas como: distrito de inspección eléctrica, distrito de inspección de bomberos, distritos de salud pública, áreas de patrullas policiales, distrito de áreas urbanas, zonas de las válvulas de bomberos, divisiones políticas, etc. Todas estas áreas geográficas son diferentes y definidas por las administraciones, por los gerentes o sectores políticos del municipio, pero ninguna es dividida con los mismos límites. Si recubrimos esas áreas, el mapa resultante será completamente confuso. Entre tanto, el municipio local administra directamente sobre individuos y sus propiedades, requiriendo, además de las funciones, un eficiente sistema de direccionamiento como parte de la base de información. Así, cada dirección tendrá un geocódigo a fin de ser localizado en cualquier área geográfica.

La asignación de geocódigos para cada registro en la base de datos de atributos es denominado geocodificación. Por eso, la geocodificación es un proceso que se ejecuta para cualquier dato, en forma manual o computarizada.

Asignar cada dirección como un geocódigo, para cada tipo diferente de distritos y para cada base de datos diferente, es una tarea tediosa. Afortunadamente existen métodos computarizados para ejecutar dicha tarea. Esta geocodificación usa programas y una base de datos de archivos geográficos (GDBF) para ahorrar el tiempo que insume el proceso de geocodificación manual de los datos.

La GDBF es un archivo de datos (generalmente un archivo plano) que contiene solamente atributos geográficos (direcciones, divisiones geográficas, coordenadas x,y, distritos administrativos, distritos políticos, y otros identificadores que pueden ser asignados para obtener las posiciones geográficas).

Esos programas geocodificadores, extraen los geocódigos de las entidades, moviéndolos de los registros de la GDBF hacia los registros de la BD no geográfica, constituyendo atributos de las entidades en los datos no geográficos. Luego son ejecutados procesamientos sobre estos datos en la BD no geográfica, utilizándose esos geocódigos como atributos.



El proceso de geocodificación es acompañado por una serie de programas que leen cada registro de la BD gráfica, usando el índice de propiedades de esos registros para encontrar el registro apropiado sobre el archivo de la base geográfica. Encontrado el registro correcto, en el GBF, son leídos los atributos y son escritos en el campo del registro de la BD no geográfico.



2.8 Diseño y construcción de la Base de Datos del G.I.S.

2.8.1 Base de Datos

2.8.1.1 Introducción

El mundo real es muy complejo para un entendimiento inmediato y directo. Debemos crear "modelos" de la realidad que sean direccionados para tener alguna similaridad con aspectos seleccionados del mundo real. Las Bases de Datos (BD) son creadas a partir de esos modelos, como una etapa fundamental para conocer la naturaleza y el estado de aquella realidad, esto es, los modelos de datos son usados como base de prototipos de los Sistemas de Administración de Base de Datos (DBMS).

Así, una Base de Datos espacial es una colección de entidades referenciadas espacialmente que actúan como modelo de la realidad. Ella debe representar un conjunto seleccionado de fenómenos, que relacionados son aquellos que juzgamos importantes para ser representados en forma digital. Un modelo de datos espaciales más conocido es el mapa. Los mapas son modelos subjetivos de la realidad geográfica, aunque las representaciones no sean medidoras del mundo real.

Ahora, una Base de Datos no geográfica es una colección de atributos no redundantes que pueden ser compartidos por los diferentes sistemas de aplicación. Así, todo modelo de datos, sea analógico o digital, debe reflejar la perspectiva de su proyectista. En una Base de Datos, hay separación entre los programas de almacenamiento físico de los datos y los programas de aplicación, o sea, existe independencia entre programas y datos. El usuario, el programador o el especialista en aplicaciones no necesita conocer los detalles de como los datos están almacenados, sino que deben ser "transparentes para el usuario".

Gracias a esa independencia, se pueden realizar ciertos tipos de cambios (o transformaciones) en los datos, sin afectar a otros componentes del sistema, por ejemplo, cambio de formato de los ítems de los datos (real hacia enteros, operaciones aritméticas, etc.), de estructura de archivos (reorganizar internamente los datos, cambiar el modelo de acceso, etc.) y migrar de un periférico a otro (de almacenamiento óptico hacia magnético, de cinta a disco, etc.).

Desde los inicios de 1960, ha sido interesante utilizar sistemas computacionales para aplicaciones espaciales en campos como la cartografía, geografía, procesamiento de imágenes. Pero recientemente, el interés ha girado hacia el uso de los sofisticados DBMS para almacenamiento de datos y administración de componentes análogos. El uso de las Bases de Datos ha crecido en gran forma fuera de las aplicaciones comerciales, la evolución de los DBMS para manipular datos espaciales y otras aplicaciones menos convencionales están en franco desarrollo. No es suficiente que las aplicaciones espaciales tengan archivos de datos estructurados en algún formato. La información que aquellos datos representan necesitan estar bien organizados para sustentar las aplicaciones pretendidas.



2.8.1.2 Conceptos espaciales relacionados a las Bases de Datos

Los elementos fundamentales de la Base de Datos para un G.I.S. están basados en los dominios de descripción ya vistos, como: entidad, objeto, símbolo y otras categorías de información:

- ✓ **Entidad:** es un fenómeno de interés que no puede ser subdividido dentro de fenómenos de la misma clase. Como unidad espacial primitiva puede ser percibida (o existente) o concebida (proyectada o imaginada). Por ejemplo una escuela. Una escuela no puede ser dividida en otras escuelas, pero puede ser dividida en aulas. Una entidad es referida por un identificador (nombre o código). Esa entidad es perfectamente mapeable, aunque a veces, no realísticamente (como las dunas de arena). La dimensión de una entidad depende de la escala del fenómeno (desde átomos hasta planetas). Dicho fenómeno existe y su definición y demarcación depende de la percepción de cada persona.
- ✓ **Objeto:** es una "representación digital (o física si no es mapa) de todo o parte de una entidad". El método de la representación digital varía de acuerdo a la escala, al proyecto y a otros factores. Todas las cosas que vemos en la superficie de la Tierra son objetos para el G.I.S. Si la entidad es una organización conceptual de un fenómeno, un objeto es una representación digital de ese fenómeno
- ✓ **Símbolo:** es la representación gráfica de un objeto. La representación es compuesta por uno o más de siete elementos gráficos primarios: color, tamaño, forma, espacio, orientación, valor y ubicación;
- ✓ **Instancia geográfica:** ocurrencia particular de una entidad, por ejemplo, Colegio Nacional de La Plata.
- ✓ **Tipo de entidad:** puntos, líneas, áreas y volumen.
- ✓ **Clase de entidad:** categoría de la entidad con cierta similaridad, por ejemplo, establecimientos de educación.
- ✓ **Fenómeno geográfico:** combinación de diversas entidades, formando una entidad compleja.
- ✓ **Atributos:** características descriptivas de una entidad, por ejemplo, tipo de escuela.
- ✓ **Clase de atributos:** categorización por similaridad de atributos, por ejemplo, grado de estudiantes.
- ✓ **Valor de atributos:** medida particular de un atributo para una instancia de una entidad geográfica, por ejemplo, número de estudiantes, tipos de escuelas, etc.

Asumiendo que la superficie de la Tierra contiene los fenómenos geográficos bien definidos y demarcados, se puede considerar las siguientes categorías de información para algunas entidades específicas:

- **Identificador** - provee significado a cada entidad. Los identificadores pueden tener nombres geográficos (inclusive uno particular u organizacional). Algunas entidades no poseen nombres de lugar y otras tampoco poseen nombres, para esas se utilizan códigos únicos. Igual, algunos fenómenos pueden tener diferentes nombres en diferentes tiempos.



- **Posición** - normalmente definida por el tipo de estructura adoptado para las entidades espaciales. Normalmente son utilizadas coordenadas (pueden estar afectadas por los modelos adoptados para realizar las mediciones, como datum, geóide, etc.), aunque existen otras formas de referenciación espacial, como códigos postales.
- **Propiedad espacial** - permite la categorización de las entidades. La posición puede ser usada como propiedad espacial así también como la forma, el área, el volumen, etc.
- **Características de los atributos** - son descripciones de las entidades para referirse al comportamiento en un determinado tiempo y condición.
- **Funciones de la entidad** - son particularidades de comportamiento de las entidades.

2.8.2 El modelo conceptual en la estructuración de la Base de Datos Geográfica

2.8.2.1 Introducción

La administración de datos es una actividad fundamental en el uso de la tecnología G.I.S. Para que todo usuario obtenga una buena información, la organización de datos, para maximizar su utilidad, se torna un desafío importante.

El problema de la organización de datos está ligado a la estructura de la BD geográfica, que debe ser planeada para gran variedad de aplicaciones.

Una BD geográfica debe ser concebida dentro de patrones establecidos y líneas de aplicaciones definidas (para la entidad y los atributos), sin duplicación y redundancia de datos, aplicando los conceptos de metadatos y modelo conceptual.

El modelo conceptual evitará conflictos de diseño, permitirá la integración de datos, estableciendo relaciones de mapas (especialmente a nivel de variables geográficas), entidades y atributos, ya sea entre las clases o categorías de una BD cartográfica, propiciará la transferencia de datos entre las BD geográficas desarrolladas en ambientes diferentes y optimizará el análisis de los datos.

Según algunos autores, el modelo conceptual es independiente de la estructura de la BD, de la forma de transferencia de datos entre diversos ambientes y del tipo de implementación de un modelo conceptual en un ambiente DBMS particular.

Un modelo conceptual de una BD especifica el contenido de una BD (especialmente en términos de semántica) de la estructura de metadatos para aquellos datos. La interpretación semántica comprende una descripción de los tipos de datos existentes, especificando las clases de entidades y atributos y las relaciones existentes entre ellos. De esta forma, en el modelo conceptual los fenómenos geográficos son descritos en términos del mundo real, dando sentido a su construcción, almacenamiento y significado.

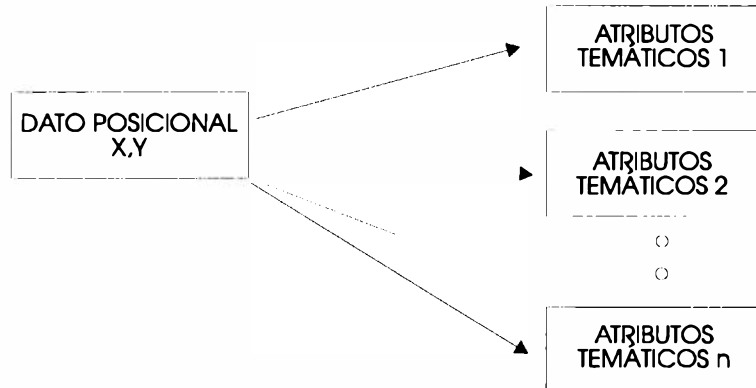
2.8.2.2 Información Geográfica

La información geográfica, o geoinformación es usada para describir los objetos, fenómenos o procesos de la superficie terrestre. Para datos eso es definido en una forma de descripción de estado en un cierto momento y para procesos como una serie de



descripciones de ese estado. Estos pueden referirse a aspectos físicos-naturales del terreno, aspectos administrativos del uso de los suelos. Esos aspectos nos dan el tipo de relación existente entre los atributos temáticos y el dato geométrico.

Un dato posicional sirve como vehículo para unir diferentes tipos de datos temáticos o para unir datos obtenidos en diferentes momentos. La siguiente figura muestra la representación esquemática de esa estructura de datos.



Si entidades, atributos, valores de los atributos, clases de entidades y clases de atributos son componentes básicos de un modelo conceptual, y si entidad se refiere a los fenómenos del mundo real en una observación única del fenómeno, y clase de entidad implica una característica primaria de las entidades en una clase, entonces, la semántica de esas componentes da soporte al concepto del "modelo de entidades" que incluye actividades humanas, como congestión de tránsito, centros poblacionales, etc.

Algunos autores categorizan las entidades, incluyendo personas, lugares, cosas, organizaciones, proyectos. Esa categorización sirve como guía para desarrollar la modelización de entidades. Resultando que entidad no solo incluye "cosas como objetos naturales" o "características como fenómenos naturales", sino también conceptos "económicos" y "eventos diversos".

Otros autores sentencian que, para una BD geográfica, la entidad y los tipos de relaciones son descritas en tres puntos: tema, localización y tiempo. De ahí que utilizan los tipos de atributos como atributos temáticos, de localización y atributos temporales para estructurar una BD geográfica.

El análisis de situación de un terreno puede ser ejecutado por el procesamiento de los datos temáticos almacenados. Dicho procesamiento puede ser realizado de dos maneras: basado en un modelo funcional que describa la relación entre los atributos por ubicación:

$$f(x,y) = F(\text{atrib1}_{x,y}, \text{atrib2}_{x,y}, \dots, \text{atrib4}_{x,y})$$

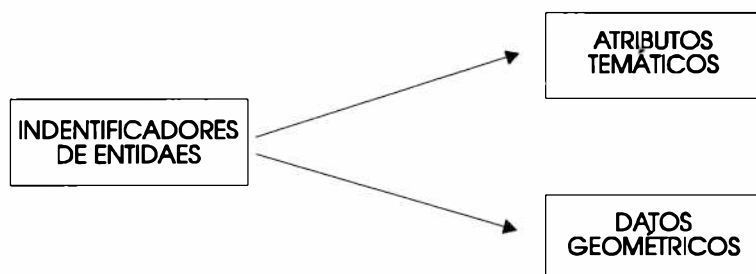
o basado en el modelo funcional que relaciona los atributos en diferentes localizaciones, cuya coordenada determina el peso funcional para un atributo:

$$F(u,v) = f(\dots g_i(u-x, v-y) \text{atrib1}_i(x,y))$$

La estructura de datos de la siguiente figura, da un bajo nivel de información en el sentido en que los patrones espaciales de los valores de los atributos pueden ser encontrados solamente a través del procesamiento de datos.



Para encontrar un alto nivel de información, se puede introducir los objetos o las entidades del terreno. En este caso, los atributos temáticos no están directamente unidos a los datos de posición, sino a los datos denominados de entidad. Esto implica que las entidades están temáticamente caracterizadas por un conjunto de valores de atributos temáticos y su descripción geométrica está dada por datos geométricos. La siguiente figura ilustra esta estructura, donde las entidades del terreno están representadas por identificadores de las entidades.

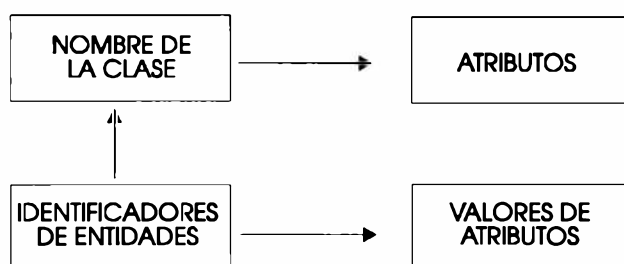


La descripción geométrica y temática de entidades implica que hay dos conjuntos de entidades. El conjunto definido por las características geométricas llamado de tipos de entidades y el conjunto definido por las características temáticas llamado de clases de entidades.

La decisión en la elección de un tipo de entidad (punto, línea, área) determina como será almacenada en una BD. Esa decisión depende del contexto en que es realizada la descripción o el mapeo. Una ciudad puede ser tratada como una entidad área en un contexto y como una entidad punto en otro contexto.

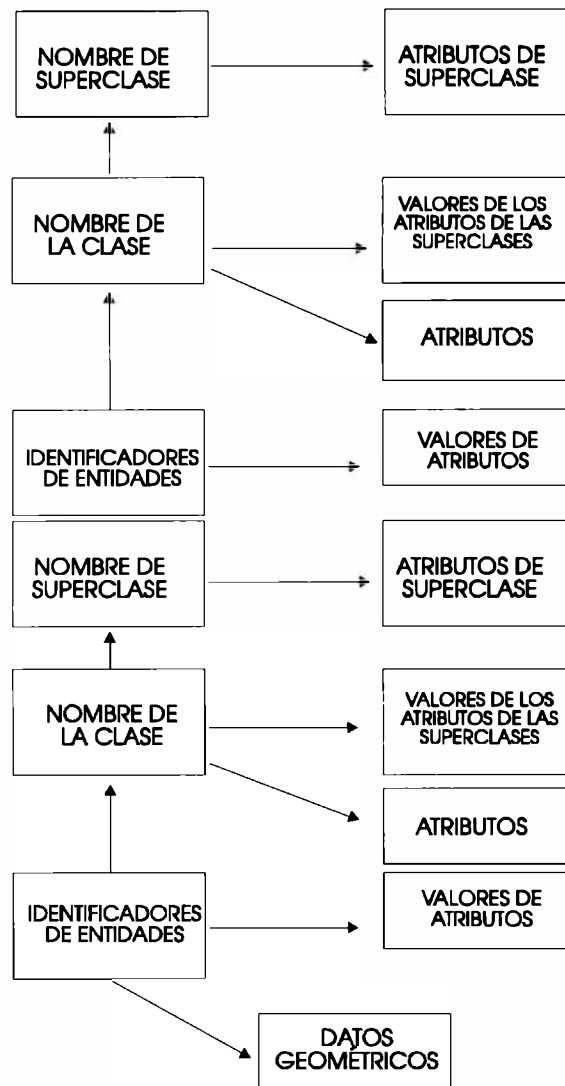
Las clases de entidades son definidas por sus aspectos temáticos. Cada clase tiene su nombre o título y una relación de atributos que dan la característica temática de las entidades pertenecientes a esa clase. Ejemplo de diferentes clases de una entidad línea: caminos, redes de drenaje, líneas de energía, ríos, etc. Los caminos pueden tener como atributos: tipo de camino, pavimento, densidad de tráfico, operaciones de mantenimiento, autoridad responsable, etc.

Para cada entidad perteneciente a una clase se realiza una valuación, determinando un identificador y una relación de los valores de sus atributos. La relación entre clases, entidades y atributos se ilustra en la siguiente figura.





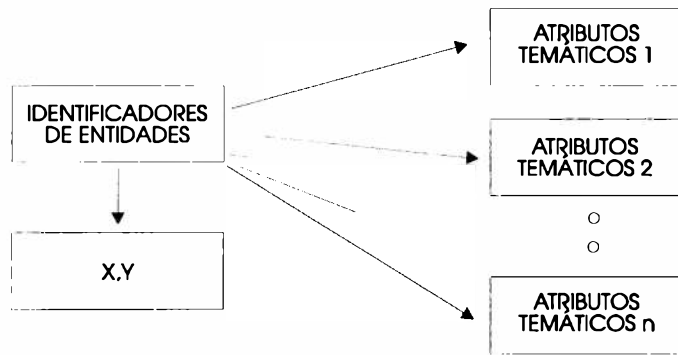
Esta figura puede ser extendida para superclases que son un conjunto de clases, implicando en atributos de las superclases, que a su vez deben ser valuados para cada clase. Este concepto se muestra en el siguiente gráfico.



Este proceso puede ser repetido para niveles bien altos de superclases, creando una clasificación jerárquica, donde cada nivel de clase está especificado por una relación de valores de atributos de las clases. En el nivel más bajo, están las entidades que son especificadas por sus identificadores y relaciones de valores de atributos.

2.8.2.3 La conexión de datos temáticos y geométricos

Es en el nivel más bajo de una clase, vía entidades, que se realiza la unión o combinación entre datos temáticos y geométricos. El siguiente gráfico representa este concepto.



2.8.2.4 Diseño por el método ANSI_SPARC

Cuatro etapas diferentes de modelado de datos son utilizados como estructura en el diseño de un sistema de información. Se inicia por el mundo real y estas son:

- Nivel externo
- Nivel conceptual
- Nivel lógico
- Nivel interno

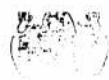
La figura de abajo muestra bien estos niveles como el detalle de algunos niveles. Primero describiremos las características de cada nivel, después usaremos esos niveles como etapas en la construcción de una BD, lo suficiente para atender las necesidades de los diferentes usuarios, no solo individual sino también como grupo.

El mundo real corresponde al subconjunto de la realidad de interés, inclusive las ideas son usadas. Siendo así, se puede construir una BD de subconjuntos de realidades solamente si sabemos como describirlos con palabras. Ciertamente en el mundo de la multimedia de los sistemas de información espacial, muchos datos como imágenes, dibujos y sonido pueden ser descriptos por palabras solamente, aunque ellos puedan ser descriptos por otras formas de codificación, como analógica o digital. Esto nos lleva a pensar en el modelado de los fenómenos del universo.

En el proceso de diseño de la BD, es la etapa del modelo externo la que primero se realiza, pues en ella los usuarios definen sus propios subconjuntos del mundo real, de acuerdo con sus necesidades más relevantes. Normalmente, nos encontramos con muchos modelos externos, al igual que poseemos diferentes propósitos y aplicaciones.

El nivel conceptual corresponde a la tarea de síntesis de todos los modelos externos. Esto por dos razones: primero, porque es realizada con conceptos sólidos; segundo, porque es la base para el proceso de concepción. Aquí son discutidos a nivel de grupos de usuarios. Usando herramientas y estructuras, los fenómenos son descriptos y los fenómenos y los objetos son asociados entre sí. Diferentes puntos de vista son integrados a través de un lenguaje común y de una estructura.

No obstante, una abstracción del mundo real, resultado del modelado conceptual concreto, consiste de representaciones esquemáticas de los fenómenos y de como ellos están relacionados. El esquema de la tarea producida en esa etapa generalmente trata solamente con la información que será contenida en la BD, y no del almacenamiento

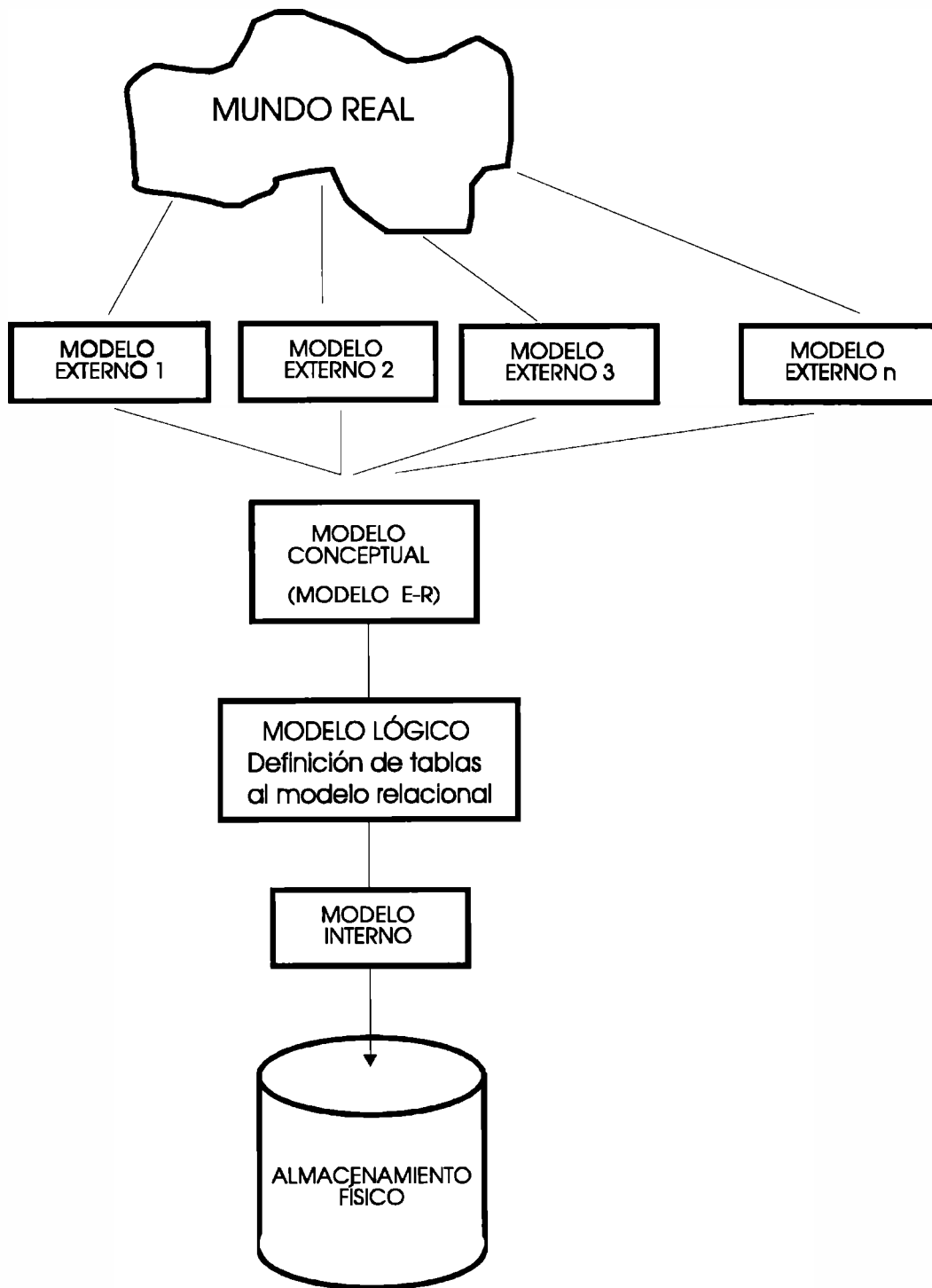


físico. Así, el modelo conceptual puede ser apropiado para diversas implementaciones físicas. El modelo conceptual no solo provee la base para la esquematización, sino que también es una herramienta de estudio. Como tal, un buen modelo conceptual debe ser descifrable, a punto de ser usado para definir las instrucciones en la BD.

El modelo conceptual es transformado hacia el modelo lógico utilizando algunos mecanismos. Los desarrolladores de las BD generalmente usan el enfoque de entidad-relación, en el cual los fenómenos y sus asociaciones son representados gráficamente.

La modelación lógica es una etapa que permite la transformación de la organización conceptual hacia algo más práctico. En este nivel los fenómenos son organizados en las BD como tablas de registros de datos y se realizan las conexiones con otras tablas.

El modelo interno trata con la estructura a nivel de byte de la BD. Este define cada puntero y cualquier información necesaria para acceder y manipular correctamente todos los ítems de los datos. El modelo interno trata con medios de almacenamiento, estructura de archivos, métodos de acceso y localización de los datos. En los DBMS comerciales, este nivel no es accesible al usuario.



2.8.3 Organización de datos en un proyecto G.I.S.

2.8.3.1 Procesos de elaboración del proyecto G.I.S.

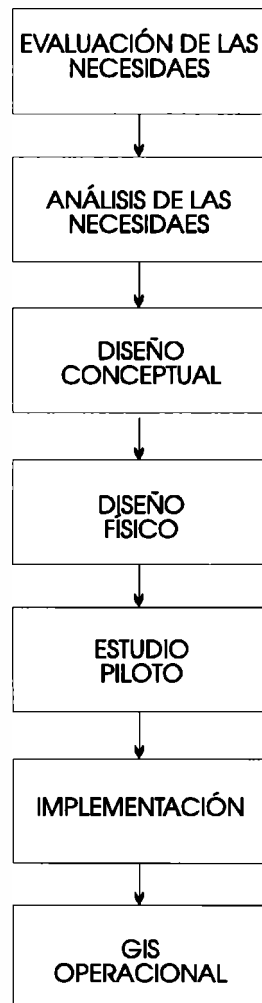
La concepción del proyecto G.I.S. comprende muchos procesos. Se puede utilizar la figura de abajo como modelo del proceso, donde figuran las principales etapas, como: evaluación de las necesidades y modelamientos conceptuales y lógicos de los datos. La evaluación de las necesidades abarca relevamientos y entrevistas junto a los técnicos de la empresa y el establecimiento de las categorías generales de las



necesidades en concordancia al momento político, las finalidades, metas, objetivos y misiones de la organización.

Detalles de datos, procesos comerciales y productos diversos son las bases para el diseño y modelaje conceptual. El diseño conceptual es seguido por el diseño lógico y físico, proyecto piloto, tests y la implementación.

METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE UN PROYECTO GIS



Los tópicos que siguen refuerzan las definiciones sobre Base de Datos, esto es, el proyecto de una Base de Datos, específicamente, examinándose los aspectos de:

- Identificación de las capas necesarias para los datos espaciales
- Determinación de los atributos de las entidades necesarios
- Definición de cada atributo y su codificación
- Registro de las coordenadas usando un archivo principal de características
- Esquema de codificación
- Métodos de almacenamiento de datos



Sin duda, antes de definir y construir una BD, es preciso la definición de los objetivos del proyecto G.I.S., donde los temas o las cuestiones que deben ser considerados son:

¿Cuál es el problema a ser resuelto? ¿Cómo está siendo resuelto ahora? ¿Hay métodos alternativos para resolver esos problemas usando un G.I.S.?

¿Cuáles son los productos finales esperados: informes, mapas temáticos, mapas cartográficos de calidad? ¿Cuál es la frecuencia con que esos productos serán producidos?

¿Quiénes o cuáles son los grupos de usuarios para los productos finales: técnicos, planeadores, administradores, público en general?

¿Habrá otros usos para esos mismos datos? Si es así, ¿Cuáles son los requisitos específicos?

2.8.3.2 Construcción de una Base de Datos

Consideraciones preliminares

A) Modelo de BD: es un modelo que describe la BD, esto es, contiene descripción de los tipos de entidades como una categoría de datos para la BD. Nótese que en este modelo todavía no se almacenó ningún dato, por eso el modelo de la BD es puramente conceptual.

B) Modelo de Datos: es una estructura conceptual desarrollada por técnicos de hardware y software, como los administradores de Bases de Datos. Un modelo de datos es la estructura por la cual el modelo de BD es operado.

En todo proceso de construcción de la estructura de la BD se deben considerar los siguientes procesos:

1º) Definición del modelo de la BD, a través de la formulación de los tipos de entidades. Esta estructura es importante dado que servirá de guía en el desarrollo del G.I.S.

2º) Elección de la representación espacial apropiada para cada tipo de entidad en el modelo de la BD. La representación digital de los tipos de entidades en una BD espacial, requiere una selección de tipos de objetos espaciales.

Las dimensiones espaciales pueden ser convenientemente agrupadas en espaciales, temporales y temáticas. Como ya hemos visto, existen cuatro clases de objetos espaciales basados en las dimensiones espaciales:

- a) Una entidad que tiene una posición en el espacio pero no tiene extensión: un punto.
- b) Una entidad que tiene extensión, compuesta de dos o más entidades: una línea.
- c) Una entidad que tiene extensión y ancho, limitada por lo menos por tres entidades líneas: un área.



- d) Una entidad que tiene extensión, ancho y alto o profundidad, limitada por lo menos por cuatro entidades bidimensionales: un volumen.

Las dimensiones temáticas son aquellas medidas que describen las propiedades o los atributos de los objetos, y la otra dimensión, de particular importancia para aplicaciones específicas, es el tiempo.

También se describen las formas de localización espacial de las entidades, que en resumidamente, son:

a) Medición - del tipo nominal, ordinal, intervalos y razones, cuidando que las unidades de esas medidas dependen de la dimensión a ser medida: kg., gr., metros, años, etc.

b) Posición absoluta - es la posición de la entidad dentro de alguna estructura abstracta. Por ejemplo, direcciones de casa, posicionamiento a través de líneas y columnas; representación de posición a través de grados; posiciones a través de coordenadas que pueden ser del tipo rectangular, geográfico, etc.

c) Posición relativa - es la posición con referencia a algún otro objeto. Por ejemplo, posición topológica (descrita a través de relaciones entre los objetos, como: "adyacentes a", "intersección con", "está conectado en", etc.); posición catastral (descrita usando distancias y caminos a partir de algún otro objeto, como: relevamiento de parcelas de suelo, etc.).

Etapas en la construcción de la Base de Datos

Esta, sin duda, es la parte más crítica y muchas veces la parte que consume mayor tiempo del proyecto. No debemos olvidar que la amplitud y la precisión de la base de datos determinarán la calidad del análisis y de los productos finales.

A continuación, se describen las etapas involucradas en la construcción de la base de datos digital:

a) Diseño de la base de datos: incluye la determinación de los límites del área en estudio, elección de los sistemas de coordenadas que serán usadas, determinación de las capas de datos que serán necesarias, identificación de las entidades que deberán constar en cada capa, determinación de los atributos necesarios para cada tipo de entidad y elección de como los atributos serán codificados y organizados;

b) Entrada de los datos espaciales: comprende la conversión de mapas a través de la siguientes etapas:

- Entrada de datos espaciales para la base de datos - a través de la digitalización y/o conversión de datos provenientes de otros sistemas.
- Corrección de los datos espaciales - verificando, editando y corrigiendo los errores y creando la topología.

c) Creación y edición de la topología: comprende la entrada de los datos descriptivos a la base de datos, esto es, ingresando los datos descriptivos (o atributos) en el modelo de datos y asociando esos atributos a la entidades espaciales.



d) Administración y manipulación de la base de datos: significa colocar los datos espaciales dentro del sistema de coordenadas terrestres, juntando la coberturas adyacentes y ejecutando el mantenimiento de la base de datos.

Diseño de la Base de Datos

Es importante determinar el contenido de la BD, pues ella es la que deberá asegurar un buen análisis de los datos como así también permitirá crear los productos finales deseados. El diseño bien planeado implicará pocas modificaciones posteriores, evitará costos adicionales y asegurará que los datos estén disponibles para proyectos futuros.

Son muchos los factores que influyen en el diseño de la BD. El proceso aquí presentado deberá servir para propósitos generales. Entre tanto, los conceptos involucrados en ese proceso, servirán como introducción para otros proyectos de base de datos más sofisticados.

Básicamente, el diseño de la BD consiste en tres etapas fundamentales:

- Identificación de las entidades geográficas, de los atributos y de las capas necesarias.
- Definición de los parámetros de almacenamiento de cada atributo.
- Certificar los registros de las coordenadas.

Se debe tener presente que las fuentes de los datos disponibles, bien sean mapas analógicos o digitales, significan parte importante en el proceso de diseño de la BD. Por eso, es recomendable realizar búsquedas preliminares para determinar cuales son las fuentes de datos disponibles para el área de estudio.

Identificación de las entidades espaciales, de las descriptivas y de las capas.

En esta etapa del diseño de la BD se determina cuales entidades deben ser incluidas en la BD. Esto exige tres tareas:

- Identificación de los datos espaciales y sus atributos
- Organización de las capas
- Identificación de las coberturas a ser capturadas

a) Identificación de los datos espaciales y sus atributos

La identificación de las entidades geográficas necesarias para la BD y los atributos asociados a cada entidad, se realiza efectuando un análisis detallado directamente sobre el mapa, y condicionándose a los productos finales a obtener.

Pueden ser muchos los atributos necesarios para cada entidad, eso dependerá del criterio de análisis y de la riqueza de los mapas. Por ejemplo, se puede considerar los siguientes criterios:

- ✓ Identificación de los suelos disponibles para el desarrollo habitacional.
- ✓ Uso de códigos de censo del suelo para seleccionar suelos baldíos para el desarrollo.
- ✓ Estimación de costos aproximados, basado en el área y en la clase de uso del suelo. Vemos que se necesita de polígonos de suelos como entidades geográficas, de clases de adaptabilidad como atributo, de



polígonos de uso del suelo como otra entidad con sus respectivos códigos y costos unitarios como atributos.

La relación de entidades y de sus atributos podrá ser organizada como la siguiente tabla:

Entidad Geográfica	Clase de Entidad	Atributo de las Entidades
Suelos	Polígono	Adaptabilidad
Uso del Suelo	Polígono	Código de uso
		Costo por ha.

Si el mapa resultante también tiene, además de los polígonos de uso del suelo (etiquetados por los tipos de uso del suelo), los caminos dibujados con símbolos de líneas (indicando la ubicación en la superficie) y las redes de desagüe (o hidrografía) principales, se necesitará ampliar la tabla de las entidades y de los atributos. La siguiente tabla ilustra la organización de multiatributos.

Entidad Geográfica	Clase de Entidad	Atributo de las Entidades
Suelos	Polígono	Adaptabilidad
Uso del Suelo	Polígono	Código de uso
		Costo por ha.
Caminos	Líneas	Código de camino
Ríos	Líneas	Clase de ríos

b) Organización de las capas

Una vez identificadas las entidades y sus respectivos atributos, se puede iniciar la organización de las entidades geográficas en niveles de datos. Varios factores influyen en la organización de capas (niveles) en la BD geográfica, y ellas difieren para cada tipo de aplicación. En la organización de las capas, se debe tener en cuenta dos criterios; los tipos de entidades (punto, línea o polígonos) y el agrupamiento temático de esas entidades.

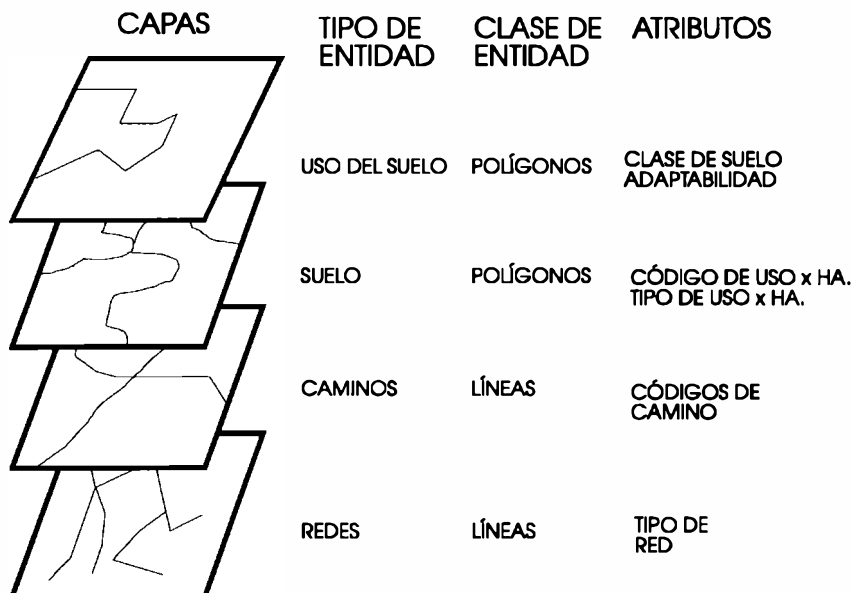
Normalmente, las capas son organizadas separadamente: para puntos, líneas y polígonos, y como tal, almacenadas también por separado. Por ejemplo, nacientes de agua, árboles, postes, etc., representan entidades de puntos y pueden ser almacenados en una capas del tipo punto. Entre tanto, algunas entidades (aún perteneciendo al mismo tipo de entidades) pueden ser organizadas temáticamente. Por ejemplo, los ríos (hidrografía) y los caminos en capas separadas.

El número de capas está limitado por el medio de almacenamiento de datos y por las restricciones del producto utilizado. Las capas son utilizadas para desagregar las principales clases de entidades geográficas, principalmente para propósitos de diseño, visualización y combinación de variables. En el proceso de desagregación por capas, generalmente se utilizan las reglas Booleanas para



caminos podrán ser almacenados en capas separadas, aunque referenciados a la misma área geográfica.

Así, las capas, para los ejemplos citados, podrán ser esquematizados conforme a la siguiente figura.



c) Identificación de las coberturas a ser capturadas

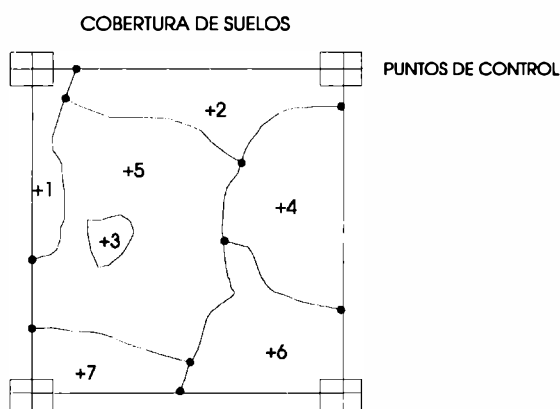
El proceso de identificación de las entidades geográficas y de sus atributos, y la organización de esas informaciones en niveles (capas) o temas, determinan las coberturas que deberán estar contenidas en la base de datos geográficos digitales.

En algunos casos, las capas estarán disponibles en mapas analógicos separados (ej. un mapa mostrando solamente los límites de las parcelas), o bien se encontrarán en formatos digitales, precisando convertirlos hacia formatos del G.I.S. En otros casos, es preciso también capturar esas capas a partir de mapas bases. En este caso, es mucho más fácil crear mapas analógicos separados para cada capa, aplicando el concepto de desagregación de informaciones del mapa base.

Cuando cada mapa haya sido capturado vía digitalización, se tendrá la entidad geográfica almacenada en coordenadas x,y en la Base de Datos digital, conjuntamente son sus atributos en la tabla de cobertura.



Cada capa es denominada de cobertura, que normalmente corresponde a un determinado tema o categoría de información. Una cobertura representa las entidades geográficas y los datos descriptivos correspondientes, unidos topológicamente y almacenados digitalmente. Cada cobertura es definida por un conjunto de puntos de control (puntos de referencia cuyas coordenadas son conocidas con precisión), permitiendo que las capas tengan cuadrículas individuales. Los puntos de control también facilitan la unión exacta con otras coberturas ya sea vertical y/u horizontalmente.



ATRIBUTOS DE LOS SUELOS			
ID	SUELO	CLASE	CAPACIDAD
1	A2	113	ALTA
2	C7	96	BAJA
3	B3	212	MEDIA
4	A1	201	MEDIA
5	D4	67	BAJA
6	Z2	118	ALTA
7	J7	234	BAJA

Definición de los parámetros de almacenamiento de cada atributo

Una vez determinados los atributos necesarios para cada capa en la base de datos, será necesario definir los parámetros indispensables para cada atributo y los tipos de valores que deben ser almacenados.

a) Codificación:

Se determina el tipo de los atributos (numérico, alfanumérico, codificado, etc.), y también se identifican el/los atributos que identifican unívocamente a una entidad (clave).

b) Tamaño de los campos de cada atributo.

Se deben tener en cuenta el tamaño máximo que puede tener cada atributo para definir los registros.

El volumen de información a manejar en algunos casos puede influir en la velocidad del procesamiento.



c) Construcción del diccionario de datos

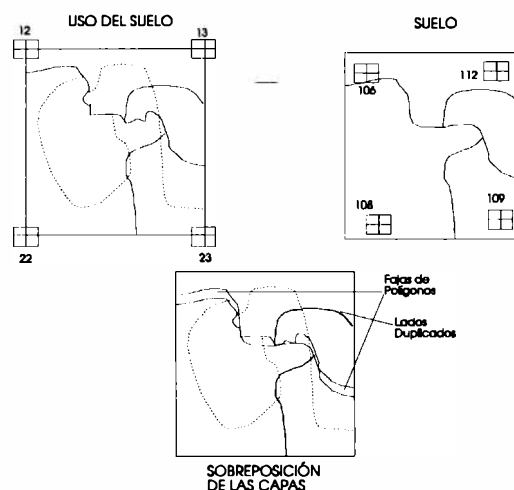
Consiste en un lista de mantenimiento, para cada capa, conteniendo los nombres de los atributos y la descripción de los valores de ellos. Este diccionario, además de las referencias que provee en la etapa del desarrollo, dado el caso, permitirá una fácil transferencia de información hacia otros sistemas.

Registro de coordenadas

Una vez identificadas todas las capas necesaria para la BD, debemos asegurar que esas coberturas se ajusten correctamente una a otra. Conforme visto, en la mayoría de los casos, la BD consistirá de varias capas, representando el agrupamiento de entidades para una misma área geográfica.

Cuando combinamos los datos de una capa con otra (esto es, sobreponer capas para crear una nueva), la coincidencia de los datos debe efectuarse con precisión. Si concluida la lectura de las coordenadas, los valores no estuvieran correctos, nos enfrentaremos a los siguientes problemas: fajas de extrapolígonos cuando se ejecuta la superposición; los mismos lados de polígonos duplicados cuando se generen los mapas, e imprecisión en las mediciones cuando se recopilen los datos para elaborar un informe.

Por ejemplo, las capas de Uso del Suelo y Suelo, representan una misma área geográfica, pero cada una usa un conjunto diferente de puntos de control. Asimismo, aquellos errores pequeños registrados, e introducidos cuando los mapas fueron capturados, resultarán en representaciones paralelas entre las capas.



Utilizándose puntos de control diferentes cuando la capa Suelos es sobrepuesta a la de Uso de suelo, los lados de los polígonos no coinciden, evidenciando que las fajas de polígonos, a lo largo de las líneas límites, aparecen en ambas coberturas.

Si tuviéramos entidades que deben aparecer en más de una capa, es fundamental crear una capa base (molde) conteniendo esas entidades, y después crear las otras capas a partir de esa. Así es fácil agregar las entidades específicas a cada capa. Básicamente, para asegurar una combinación perfecta (por lo tanto precisa), se deben conservar los procesos de registro de coordenadas, que normalmente exigen cuatro etapas:

1) Verificación de la ubicación exacta de los puntos de control, de modo de correlacionarse con las coordenadas terrestres.



2) Certificación de que, al crearse las capas, se estén usando esos mismos puntos de control para todas las capas en la BD, de modo de asegurar la precisión del registro de coordenadas.

3) Creación de la capa molde, conteniendo solamente los puntos de control con coordenadas terrestres.

4) Transformación de la capa, capturada en unidades de digitalización (coordenadas de la mesa digitalizadora) hacia coordenadas terrestres utilizando la capa de puntos de control.

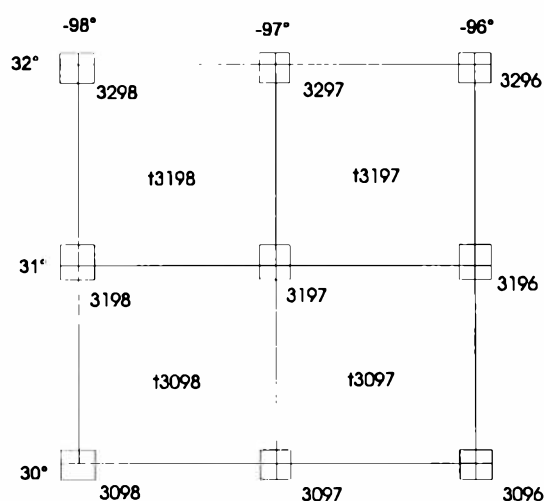
Estas etapas deben asegurar que las capas estén en un mismo sistema de coordenadas y que su sobreposición sea exacta.

Creación de un archivo molde de puntos de control

La primera etapa del proceso anterior, que aseguraba el registro de las coordenadas, es para verificar la validez de los puntos de control en la ubicación de las coordenadas. Puesto que los valores de las coordenadas de los puntos de control ya registrados, no serán realmente usados hasta que se transformen las coberturas, es importante identificar la real distribución (la ubicación) de los puntos de control, antes de que se creen las coberturas. Los intentos de reubicar puntos de control en coberturas existentes consumen tiempo e introducen errores en los datos.

Una manera de establecer la localización de los puntos de control es creando un archivo modelo de puntos de control, conteniendo el ID (identificador), y las coordenadas x,y para cada punto de control. De esa manera, los puntos de control creados, posteriormente, serán usados para transformar las coberturas a las coordenadas terrestres, de tal modo que cualquier usuario pueda identificar la ubicación de esos puntos de control a través de dichas coordenadas terrestres.

Generalmente, los puntos de control son ubicados sobre una grilla rectangular que los mapas presentan (dividiéndolo en "hojas" para su digitalización), pudiendo ser, por ejemplo, en grados de latitud y longitud, coordenadas UTM, coordenadas Gauss Krüger, etc.



En esta figura, la BD geográfica es extendida para un mapa, el cual se divide en cuatro cuadrículas, cada una de 1° x 1° de tamaño. Para crear un archivo molde de



puntos de control, primero se debe numerar cada punto con un único ID y determinar sus coordenadas para cada ubicación hecha sobre el mapa. Luego, se puede crear una tabla que contenga el ID y la localización x,y para cada punto de control, conforme a las siguientes tablas:

Cuadrícula 01		
ID	Coordenadas	
	X	Y
3298	-98°	32°
3297	-97°	32°
3198	-98°	31°
3197	-97°	31°

Cuadrícula 02		
ID	Coordenadas	
	X	Y
3297	-97°	32°
3296	-96°	32°
3197	-97°	31°
3197	-96°	31°

Si no fue aún definida la ubicación de los puntos de control tal como en la intersecciones de una grilla en los mapas analógicos, se debe crearla sobre ellos. Esos puntos de control deben ser marcados en lugares que puedan ser fácilmente identificados en cada mapa a ser capturado. Hay que asegurarse que la obtención de los valores de las coordenadas terrestres sean realizadas con precisión. Cuando las ubicaciones de los puntos de control hayan sido determinadas, se puede llevar a cabo la ubicación de los ID sobre cada mapa a ser digitalizado (capturado). Así se obtiene el archivo molde de los puntos de control. Normalmente todos los sistemas G.I.S., poseen conversores de sistemas de coordenadas y de proyecciones de los mapas en caso de que los puntos de control presenten características geométricas diferentes.

Entrada de los datos espaciales

En el proceso de la construcción de la BD, es necesario automatizar la captura de datos espaciales, esto es, convertir las entidades del mapa en un formato digital en la computadora. El mapa creado se denomina de cobertura. Aunque la digitalización sea realizada manualmente (a través de mesas digitalizadoras) o automática (vía scanner u otro medio) se requiere experiencia, agudeza visual y metodología,.

Así, la digitalización de los datos espaciales requiere que:

- ✓ Se preparen los mapas para la digitalización
- ✓ Se capturen las entidades de los mapas
- ✓ Se evalúen visualmente la calidad de los datos capturados



Los datos del mapa pueden ser capturados por la digitalización de cada entidad, uno por uno, o usando un "scanner" para capturar las entidades de toda la hoja. Los datos en forma de valores de coordenadas conocidas pueden también ser capturados a través del teclado. Esas opciones requieren algunos pasos previos antes de que los datos puedan ser interpretados por la computadora. Para mapas digitales en formatos diferentes y disponibles en BD separadas, será convertirlos y transferirlos convenientemente.

Conforme a algunos autores, si los datos de los mapas pueden ser convertidos hacia puntos, líneas y polígonos, ellos pueden ser convertidos hacia la estructura topológica mediante los procesos anteriormente descritos.

Creación y edición de la topología

Concluida la digitalización, es necesario verificar si las entidades líneas poseen conectividad perfecta. Significa que la lectura de las coordenadas esté libre de errores y como tal la topología estará correcta. Siendo así, las complejas relaciones espaciales serán establecidas, y como tal, la construcción de la topología resultará correcta.

De esta manera, el proceso de efectuar la relación explícita de las entidades ayuda a identificar los errores existentes en los datos, ciertamente introducidos en el proceso de la digitalización de entidades.

Algunos de los errores más comunes que la construcción de la topología puede identificar son:

- ✓ Arcos que no se conectan con otros arcos.
- ✓ Polígonos que no están bien cerrados.
- ✓ Polígonos que no poseen puntos de identificación o existencia de otros puntos de identificación.
- ✓ ID de los usuarios repetidos.

En la construcción de la topología, cada entidad es marcada con un código numérico interno. Esos números son usados para determinar la conectividad de los arcos así como la contigüidad y la circunscividad de los polígonos.

Una vez detectados, esos valores son registrados y almacenados en una tabla de atributos.

Luego de la corrección de los errores encontrados en los procesos de la construcción de la topología de las entidades, deben ser actualizadas las relaciones ya registradas y almacenadas. Los sistemas G.I.S. poseen comandos para efectuar dicha actualización, dejando la tabla de atributos completa y correcta.

Administración y manipulación de la Base de Datos

Los conceptos que se presentarán, permitirán concluir el proceso de la construcción del proyecto de la Base de Datos y asegurar su funcionalidad.

Un proyecto funcional de una BD deberá contener un gran número de coberturas asociadas, evidenciando las siguientes características:

- Cada cobertura debe contener una topología clara.
- La precisión de la ubicación de todas las entidades fue debidamente verificada.
- La tabla de atributos de las entidades está presente.



- La precisión del valor de los atributos de la entidad fue debidamente verificada.
- El sistema de puntos de control existe.

Otros criterios complementarios para el desarrollo de una BD geográfica útil, incluyen:

- Todas las coberturas deben ser almacenadas en un único sistema de coordenadas.
- La referencia espacial de cada entidad, en cada cobertura, debe contrastarse con las entidades de las coberturas asociadas.

Teniendo en cuenta los criterios referidos, estaremos asegurando que las coberturas en la base de datos estén debidamente georreferenciadas.

Ya en el proceso de manipulación de la BD, se puede inferir:

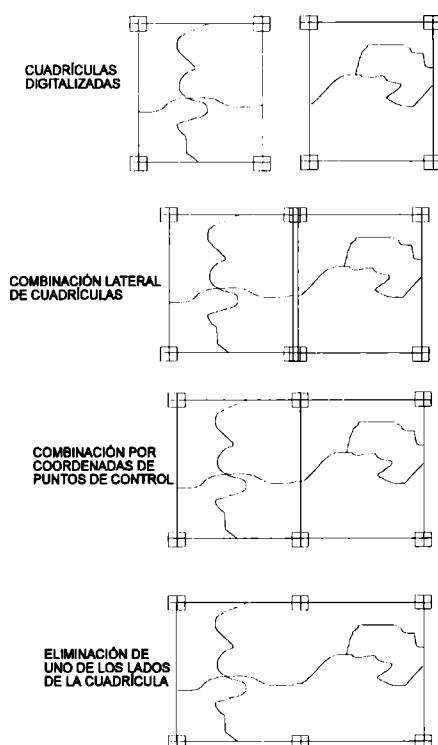
1) En el sistema de coordenadas para una BD con múltiples coberturas - Los datos de las coberturas, para ser actualizados, son organizados temáticamente como una serie de capas, tales como: uso del suelo, caminos, redes de agua, etc., y organizados en cuadrículas u hojas electrónicas de mapas.

Normalmente, las capas temáticas constituyen un a estructura vertical de los datos (a nivel de hojas electrónicas) y en una estructura horizontal (a nivel de cuadrículas electrónicas) del mapa, usados como porciones espaciales.

Las capas temáticas de una misma área representan coberturas verticales. Así, el uso de dichas capas tienen las siguientes finalidades:

- Ayuda a organizar la relación de las entidades.
- Minimiza el número de atributos asociados para cada entidad.
- Facilita la actualización y la manutención de los mapas, una vez que existen diferentes fuentes de datos para cada capa.
- Simplifica la visualización de los mapas, porque la relación de las capas con variedad múltiple de entidades es más evidente; y el diseño, identificación y simbolización de las entidades es más fácil.

2) En la unión de mapas adyacentes - En un G.I.S., cada capa de datos temáticos es digitalizado como un conjunto de coberturas adyacentes, una para cada mapa, cubriendo una región entera. La extensión de cada cobertura está relacionada con un hoja de mapa. Los límites de las coberturas son los mismos de los mapas. Cuando todo el mapa haya sido convertido al formato digital, y un determinado sistema haya sido adoptado, será ejecutada la unión de los mismos. Normalmente, la verificación de la unión de las coberturas de realiza a través de los bordes de la cobertura. Es necesario una impresión del mapa para detectar el grado de la precisión de la unión, hecha a nivel vertical u horizontal. La siguiente figura ilustra el proceso usado para unir coberturas.



Las actividades hasta aquí descritas, componen el proceso de administración y manipulación de la BD. Cuando la construcción de la BD geográfica es concluida, y estemos seguros de que no existen errores, se pasa a la próxima etapa que consiste en realizar el análisis de los datos.

2.8.3.3 Precisión de la Base de Datos espacial

La precisión, en cualquier G.I.S., es muy importante, una vez comprendidos los términos relacionados a cantidad de los datos, errores, incertidumbres, escala, resolución y precisión de los datos espaciales y los efectos que surgen del uso y de la interpretación de esos datos.

En verdad, todo dato espacial es impreciso en algún grado, pero debe ser representado en la computadora con la máxima precisión. Para esto, se debe considerar:

- Cómo esa estructura digital representa el mundo real
- Cómo los algoritmos calculan el valor verdadero de los productos.

Definiciones Importantes

a) Exactitud:

- ✓ Es definida como el cierre de los resultados calculados o estimados para valores verdaderos (o valores aceptados como verdaderos). Como los datos espaciales son normalmente la generalización del mundo real, es difícil identificar el verdadero valor, y trabajar en lugar de ellos con valores que sean aceptados como verdaderos. Por ejemplo, al medir la exactitud de una curva de nivel en una BD digital, se compara la curva de nivel con el dibujo en el mapa, dado que dicha curva no existe como línea real en la superficie de la Tierra.



- ✓ La exactitud de las BD debe tener poca relación con la exactitud de los productos calculados a partir de esas BD. Por ejemplo, la exactitud de la pendiente calculada a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) no es fácil de relacionar con la exactitud de las elevaciones.

b) Precisión:

- ✓ Es definida como el número de decimales o de dígitos significativos de una medición.
- ✓ Precisión no es lo mismo que exactitud, pues un número grande de dígitos significativos no implica necesariamente que la medición sea exacta.
- ✓ Un G.I.S. trabaja siempre con alta precisión, generalmente con exactitud mucho más alta de que los datos en sí.
- ✓ Una vez que todo dato espacial es de limitada exactitud, o sea, impreciso en algún grado, es importante considerar:
 - Cómo medir la precisión
 - Cómo descubrir los caminos de propagación de esos errores en el G.I.S.
 - Cómo asegurar que los usuarios no atribuyan mayor precisión a los datos que ellos usan.

Componentes de la calidad de los datos

La National Standard for Digital Cartographic Data (NSDCD) desarrolló algunos patrones que deben ser utilizados para describir la precisión de los datos digitales:

a) Precisión posicional: es definida como la proximidad de la información localizacional (normalmente coordenadas) con la posición verdadera.

Por ejemplo, los mapas que son realizados con líneas de 0,5 mm. de espesura; esto es equivalente a 12 m. en una escala 1:24.000 o 125 m. en una escala 1:25.000 del mapa. Dentro de una BD, la coordenada UTM debe tener el siguiente formato:

Este: 579124,349 m.

Norte: 5194732,247 m.

Si la BD fue digitalizada de mapas con escala 1:24.000, el cuarto último dígito de cada coordenada (después de la coma) podrá ser descartado.

Se puede testear la precisión posicional utilizándose una fuente independiente de alta precisión, como: un GPS (cuya precisión varía de 2 a 20 m.), los mapas con escalas grandes y los datos de campo; además de las evidencias internas, como polígonos no cerrados, líneas sobrepuestas, falta de intersección, etc., son indicaciones de imprecisión. Ya el tamaño de la aberturas o brechas, sobreposiciones, etc. pueden ser usados como medidas de precisión posicional; o calcular la precisión por el conocimiento de los errores introducidos por las diferentes fuentes, por ejemplo 1 mm. en un documento fuente; 0,5 mm. en el registro de mapas digitalizados; 0,2 mm. en la digitalización, y si hubiera combinación de esos errores, calculando el error cuadrático de la siguiente manera:

$$(1^2 + 0,5^2 + 0,2^2)^{0,5} = 1,44 \text{ mm.}$$



b) Precisión de los atributos: es definido como la proximidad de los valores de los atributos a su verdadero valor. Hay que notar que, mientras que la posición no cambia con el tiempo (salvo casos excepcionales), el atributo lo hace muchas veces. Por eso, la precisión de los atributos debe ser analizada de diferentes maneras, pero depende de la naturaleza de los datos.

Para atributos continuos (superficies), como el MDT, la precisión se expresa como errores de medición, por ejemplo, precisión de las elevaciones: 1 m.

Para atributos categorizados, como los polígonos clasificados, las categorías deben ser apropiadas y suficientemente detalladas y definidas. Existen errores groseros como un polígono clasificado como A cuando debería ser B (ejemplo, uso del suelo como shopping center en lugar de campo de golf); también muchos polígonos comunes pueden ser heterogéneos (por ejemplo, zonas de vegetación conteniendo 70% de A y 30% de B), etc.

c) Consistencia lógica: la consistencia interna de la estructura de datos respecto a la consistencia de la topología. Habrá consistencia de la BD si hay polígonos bien escogidos y definidos, y si hay nodos en la intersección de los arcos.

d) Antecedentes de los registros de una fuente de datos y de las operaciones que fueron creadas en la BD: es preciso saber como fueron digitalizados (y cual fue el documento), cuando fue hecha la recolección de los datos, en que ente fueron recolectados esos datos y que etapas fueron utilizadas para procesarlos.

Errores en la creación de la Base de Datos

En la mayoría de la etapas de la creación de la BD se cometen errores. Es preciso saber cuales son esas etapas y que tipos de errores fueron introducidos en cada etapa o método de captura, manipulación o adquisición de los datos. Por ejemplo:

1) En medidas posicionales de las entidades espaciales tenemos:

- a) Control geodésico y GPS:** es una de las más precisas de posición absoluta de puntos. EL GPS también es un medio que auxilia en la densificación de esos puntos de control geodésicos, manteniendo esa precisión.
- b) Fotografía aérea e imagen de satélite:** las posiciones de los datos son extraídas de las fotografías aéreas. Aquí la precisión depende del uso de buenos puntos de control. Ya en el caso de imágenes, debido a la resolución, el conocimiento de la precisión posicional es bastante difícil.
- c) Descripciones textuales y símbolos:** muchos relevos antiguos dejaban descripciones en marcos de madera al igual que en árboles, o aún en la margen de los ríos, resultando esto en la pérdida o en baja precisión.
- d) Digitalización:** la digitalización registra un conjunto de coordenadas x,y. La resolución de las coordenadas depende de la técnica de digitalización. Existen dos técnicas:
 - **Puntual:** depende de la geomorfología de la líneas, experiencia del operador y del conocimiento de las representaciones gráficas de los datos



- **Continua:** se seleccionan los puntos a intervalos constantes de lectura.

e) **Transformación de coordenadas:** el proceso de transformación introduce errores particularmente si la proyección del documento original fue desconocida, o si los mapas poseen pocos puntos de control.

2) **En atributos:** normalmente, los atributos son obtenidos en relevamientos de campo o por la interpretación. Muchas categorías interpretadas pueden no ser de fácil chequeo en el campo.

Los atributos obtenidos a partir de interpretaciones de fotos o clasificaciones hechas en imágenes satelitales pueden tener un alto índice de errores.

En el caso de datos sociales, la principal fuente de imprecisión es la discontinuidad (por ejemplo, los censos realizados por muestras o en períodos largos).

3) **En la compilación:** comúnmente, las prácticas de compilación de mapas introducen errores en la:

- Generalización
- Agregación
- Suavización de líneas
- Separación de entidades

4) **En el procesamiento:** El procesamiento de datos produce errores también, cuando hay:

- Mal uso de la lógica
- Problemas de generalización e interpretación
- Errores matemáticos
- Baja precisión computacional
- Rasterización de datos vectoriales

2.8.4 Integración de información en el G.I.S.

2.8.4.1 Consideraciones preliminares sobre integración de datos espaciales

La obtención del máximo beneficio del G.I.S. depende de la combinación de los diferentes conjuntos de datos. Los beneficios obtenidos de la combinación de esos conjuntos son muchos:

- Una amplia gama de operaciones pueden ser ejecutadas.
- La consistencia espacial es impuesta sobre los conjuntos de datos.
- Múltiples disciplinas involucradas en la solución de los problemas.
- Acceso al mismo ambiente de información, independiente de la fuente y tipo de información.
- Costo de adquisición reducido (elimina duplicación de recolección y conversión).
- Distribución de información y mayor efectividad en los procesos de decisión.



Es importante conocer algunas de las definiciones existentes en la literatura sobre integración de información:

- ✓ "Traer los datos espaciales de diferentes fuentes, incluyendo mapas, relevamientos topográficos, Fotogrametría y Sensado Remoto hacia un único sistema"
- ✓ "Crear una descripción geométrica de la superficie de la Tierra dentro de una estructura topológica consistente"
- ✓ "Convergencia de los modelos raster (imagen) y vector (mapa) hacia un único ambiente de software"
- ✓ "Proveer un conjunto de funciones comprensivas hacia una estructura de software unificada"
- ✓ "Unir datos espaciales y atributos hacia una única y coherente representación del modelo"
- ✓ "Sintetizar las diversas informaciones espaciales para efectuar operaciones geográficas fundamentales, como búsqueda espacial y sobreposición"

La integración de información es vista como una síntesis de la información geográfica en un sistema computacional, coherentemente combinada dentro de un modelo de datos. Esto significa: traer las diversas informaciones a partir de diversas fuentes (intercambio de información), establecer una combinación efectiva de entidades similares de esas fuentes y exigir consistencia de información en el cruzamiento entre los conjuntos de datos o BD.

2.8.4.2 Enfoques clásicos en la integración de datos

La integración de datos espaciales y atributos en una BD

En sistemas de información comerciales, los datos no espaciales son integrados por el almacenamiento no redundante en una BD. En sistemas de mapeamiento computacional, los datos espaciales de varios tipos son integrados dentro de una única BD, ya sea en el formato vector o raster. Dentro de cada formato, la relación entre los ítems de los datos registrados puede ser utilizado para responder una variedad de consultas. Por eso, las consultas pueden ser de naturaleza espacial o no.

En el G.I.S., el proceso de integración se realiza etapa por etapa, comprendiendo la unión de los datos no espaciales o atributos con las espaciales, describiendo las entidades del mundo real.

Normalmente, dos modelos o enfoques han sido adoptados para conseguir la integración entre los datos espaciales y no espaciales en el G.I.S.:

- ✓ El modelo compuesto de mapas
- ✓ El modelo georrelacional

Cada modelo está basado en tipos particulares de modelos de datos espaciales: el modelo compuesto de mapas está basado en representación raster el espacio, en cuanto que el modelo georrelacional está asociado con la representación vectorial del espacio (particularmente el modelo topológico arco-nodo).

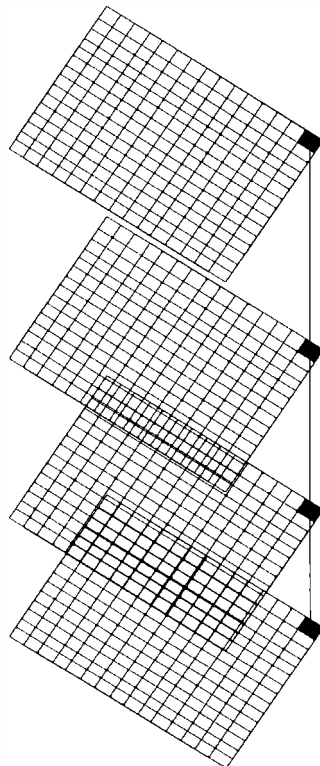


El elemento clave en ambos modelos es que la unión es establecida entre atributos y entidades espaciales. La técnica precisa utilizada para crear esas uniones varía de G.I.S. en G.I.S. pero, en general, comprende el establecimiento de punteros entre cada entidad espacial en una BD y sus atributos asociados.

En el modelo compuesto por mapas, las uniones son implícitas en la medida en que atributos específicos son asignados en capas individuales, y también lo es el proceso de asignación de los valores específicos hacia las entidades espaciales sobre esas capas. En el modelo georrelacional, al contrario, las uniones son establecidas por la disposición de un identificador para cada entidad espacial (ID), de modo a ser registradas en un campo clave de la tabla de la BD.

Para cada modelo de datos, un conjunto de operaciones está disponible para efectuar los cruzamientos (o síntesis) de los dos tipos de datos.

Así, el modelo compuesto de mapas es el primer método de unir datos espaciales y atributos a través de capas múltiples. Este modelo es totalmente computarizado y aplicado en planeamiento ambiental y administración de recursos, y últimamente desarrollado para el procesamiento de imágenes. En ese modelo, los atributos son referenciados a unidades artificiales del espacio (típicamente celdas cuadradas) que forman una grilla regular. Esas unidades son constantes en tamaño, forma y orientación, y raramente presentan significados intrínsecos. Las celdas son barridas horizontalmente y cruzadas verticalmente a través de un número de capas o planos, que poseen información acerca de las variables específicas (o atributos) almacenadas en capas individuales.

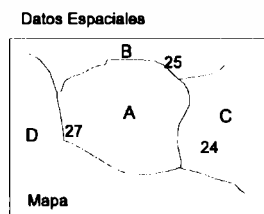


En el contexto de este modelo, el procesamiento de integración de información se realiza por la combinación de valores de atributos para cada celda que consiste en



capas superpuestas. Un modelo cuantitativo es usado para derivar valores secundarios a partir de los valores de atributos fuentes. Esto puede hacerse de dos maneras: o el modelo es aplicado para cada celda, independientemente, o entonces el modelo opera sobre valores de celdas dentro de una capa que está dentro de una línea o faja (ver gráfico anterior).

En el modelo georrelacional, los atributos son asociados a entidades puntos, líneas, áreas u otras entidades espaciales que describen los fenómenos ocurridos en el mundo real por identificadores. Por ejemplo, la entidad-punto casa puede tener ítems asociados como dirección, precio de mercado, propietario, etc. De la misma manera, la entidad-línea río podrá tener ítems asociados como descarga de sólidos, niveles de contaminación, vida acuática, etc. Igualmente la entidad-área parcela tendrá ítems asociados como propietario, uso el suelo, tipo del suelo, etc. Para unir estos datos en este modelo, las entidades espaciales son relacionadas a sus atributos correspondientes a



través de una clave espacial común. Diferentes conjuntos de atributos son almacenados en tablas, y las informaciones relevantes para un conjunto dado de entidades espaciales son obtenidas por la relación de dos o más tablas de información.

Atributos

ID-ZONA	RELACION DE SEGMENTOS LÍMITES
A	24,25,27

Nº SEGMENTOS LÍMITES	IZQ.	DER	COORDENADAS
24	A	C	X1, Y1 X2, Y2...X _n , Y _n



ID-ZONA	USO SUELO	SUELO	PROPIETARIO
A	SIEMBRA	C32	PEREZ

SUELO	CLASE	HUMEDAD	VEGETACIÓN
C32	PASTO	13	W21

El modelo georrelacional posee dos características importantes:

- ✓ El trabajo de unión entre los dos conjuntos de datos (espacial y no espacial) puede realizarse a partir de cualquiera de los conjuntos, esto es, los atributos espaciales pueden ser encontrados por la selección de entidades espaciales (consultas mapa⇒tabla), y viceversa (consultas tabla⇒mapa).
- ✓ Todo atributo dentro del modelo es asociado con una o más entidades espaciales. Los atributos que no están unidos (directa o indirectamente) con una entidad espacial, no estarán incluidos en la tabla de atributos.

Inconsistencia de datos en las Bases de Datos

Los conjuntos de datos geográficos son difíciles de integrar si existen inconsistencias entre ellos. Esas inconsistencias pueden afectar los atributos y las entidades y exigirán la adopción de medidas correctivas. Las inconsistencias provienen de varias fuentes:

- Diferencias de las técnicas de medición o registración (por ejemplo, período o tiempo de observación, categoría de datos, observaciones y relevos humanos, calibración de equipos).
- Errores de medición o métodos de relevamientos (por ejemplo, registro de datos por mal funcionamiento del equipo, errores humanos en el registro de datos).
- Variaciones en la resolución (espacial, temporal y atributos) de datos recogidos.
- Ambigüedad e imprecisión en la definición de atributos y entidades.
- Descripción de los objetos espaciales (por ejemplo límites de los suelos).
- Variación en el uso de la terminología y nomenclatura.

Las inconsistencias tienden a ser demasiado grandes, donde:

- El área de estudio comprende datos de diversas unidades administrativas y/o donde las organizaciones son responsables por la recolección de información.
- La información es compuesta a partir de múltiples fuentes y en diversas escalas.



- La información coexiste de varias formas (mapas, imágenes, textos, número, etc.)
- La información está disponible en diferentes puntos al mismo tiempo.
- La información está almacenada en diversos periféricos, y en más de un sistema computacional.

2.9 Análisis espacial

2.9.1 Análisis geográfico

2.9.1.1 Naturaleza del espacio geográfico

El espacio geográfico es aquel constituido por la superficie terrestre, incluyéndose los océanos y las regiones inhabitadas. Es decir, comprende espesuras como el medio ambiente sólido (litosfera), el medio líquido (hidrosfera), el medio gaseoso (atmósfera) y engloba el medio vivo (biosfera). Este espacio geográfico es concretamente percibido a través de los objetos materiales, visibles y mensurables que componen: peñascos, montañas, valles, ríos, florestas, campos, edificaciones, etc., y también engloba una gran gama de otros conceptos o de relaciones invisibles de orden física, biológica o humana. El espacio geográfico es, en efecto, un "sistema" complejo de equilibrio móvil que, en un lugar y en un momento dado, es regulado por causas múltiples, interdependientes e interactivas, que son las portadoras de consecuencias para el futuro.

2.9.1.2 Naturaleza de los datos en el mundo real

La información geográfica contenida en el espacio geográfico es susceptible de tratamiento en términos de la teoría general de la información. Algunas informaciones pueden ser organizadas en pequeña escala, en cuanto los patrones de otras informaciones son ordenados en gran escala. Naturalmente, se deben considerar también las "interferencias" como elemento significativo.

Debido a la variedad de las informaciones geográficas disponibles y a las tentativas de subdividir las, se torna importante preguntarse: en qué tipos de orden aparecen las informaciones geográficas y en qué escalas de espacio y de tiempo funcionan cada una de ellas? Aquello que es observado depende no sólo del contexto en que se sitúa un fenómeno particular, sino también de la manera por la cual se está preparado para observarlo.

2.9.1.3 Naturaleza del análisis espacial

Los orígenes del análisis espacial están basados en la investigación y desarrollo de la geografía cuantitativa y estadística. El análisis espacial fue originalmente basado en los métodos estadísticos aplicados a los datos espaciales. Más tarde, fue incluido en los métodos de investigación operativa y construcción de modelos matemáticos.



Se define el análisis espacial en las siguientes palabras: "para condiciones no pequeñas, el análisis cuantitativo reciente en la geografía, representa el estudio profundo de los patrones de los puntos, de las líneas, áreas y superficies descriptos de alguna forma en los mapas o definidos por coordenadas en el espacio bi o tridimensional".

También se puede definir el análisis espacial como: "procesos cuantitativos (especialmente estadísticos) y técnicas aplicadas en trabajos analíticos de localización".

O de otra manera el análisis espacial puede presentarse como relacionado con la clasificación sobre los mapas de cuatro tipos de datos: puntos, líneas, áreas y superficies.

En verdad, la técnica permite la descripción de las clasificaciones de los mapas individualmente, la comparación de dos o más mapas y la identificación de las relaciones existentes. Una variedad de procesos de análisis geográfico y estadístico ha sido desarrollada para atender esos objetivos.

Sin duda el análisis espacial es extremadamente relevante para el G.I.S. y la absorción gradual de las herramientas del análisis espacial en el G.I.S. deben merecer prioridad. El análisis espacial ofrece una caja de herramientas que puede, en principio, ser aplicada para todos los tipos-patrones de datos geográficos y ser ejecutada en los espacios uni y bidimensionales, ocasionalmente, en espacios tri y tetradimensionales.

Es importante, como medio de incrementar la funcionalidad del G.I.S., proveer la combinación entre el dominio cartográfico y las áreas-claves de aplicación cuantitativa, análisis matemático, estadística y modelización.

2.9.1.4 Algunos términos en el proceso de análisis

En el proceso de análisis, es preciso familiarizarse con algunos términos como:

a) Análisis de Datos - Manipulación

La manipulación de datos es un área clave de la funcionalidad del G.I.S., porque ella permite que los datos sean reformateados para una forma que facilite el análisis. Las operaciones más importantes son reestructuración, generalización y transformación.

La reestructuración involucra cambios de la estructura de datos usados para desarrollar la BD espacial y de atributos. En el caso de las BDs espaciales, resulta en la conversión de datos entre estructuras vector y raster.

La generalización incluye agregación y suavización de entidades geométricas. Ella incluye también diversas técnicas como suavización de líneas, actualización de límites entre dos polígonos ajustados (para crear un único polígono mayor) y recolocación de valores de atributos por sus significados.

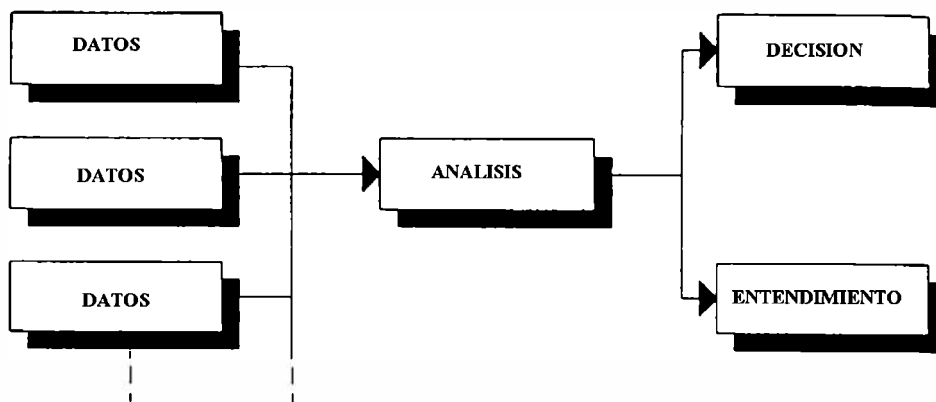


La transformación es aplicada principalmente a los datos espaciales porque ella envuelve la transformación a fin de escala, rotación, translación e inversión y la transformación curvilínea para cambiar las proyecciones de los mapas. Los atributos pueden ser transformados, usándose modelos estadísticos como reducción de datos multivariantes.

b) Análisis de datos - Procesos:

- ✓ La separación de unidades complejas en sus elementos simples fundamentales;
- ✓ Una minuciosa búsqueda para conocer la naturaleza o para determinar los elementos esenciales de alguna cosa compleja;
- ✓ Recopilación y procesamiento de la información con la finalidad de auxiliar en el proceso de toma de decisión o para caracterizar fenómenos naturales o sociales.

La siguiente figura ilustra los conceptos descriptos:



c) Análisis geográfico

Toma en consideración datos puramente geográficos en el procesamiento del análisis de datos;

d) Pregunta (QUERY) envuelve toda pregunta que sea:

- ✓ Espontánea;
- ✓ Ad-Hoc;
- ✓ Interactiva;
- ✓ Estructurada;
- ✓ Sentido lineal (simples).

e) Búsqueda y Análisis



Para muchos es la búsqueda y más especialmente, el análisis, el corazón del G.I.S. La habilidad de analizar los patrones espaciales y las relaciones es la diferencia entre el G.I.S. y otros sistemas, como cartografía computarizada, C.A.D., Sensado remoto y DBMSs. La clasificación de funciones en dos grupos, búsquedas y análisis, es arbitraria, porque sus funciones se pueden sobreponer y las funciones de análisis espacial no están implementadas completamente en algunos G.I.S.

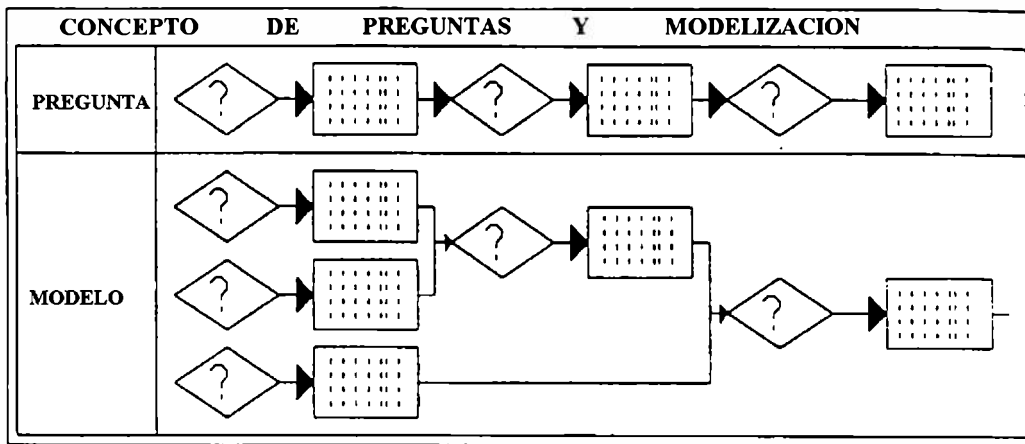
La búsqueda espacial y el análisis involucran las operaciones topológicas y métricas sobre los datos geométricos y los atributos. La búsqueda más simple es apuntar una entidad en el monitor y recuperar su nombre o determinar todos los atributos que contiene el criterio de la búsqueda. Además una búsqueda espacial también puede contener operaciones híbridas, como recuperación de todas las informaciones acerca de la entidad dentro de una cierta distancia de otra entidad, o dentro de un área de estudio con formas o límites complejos. Actualmente, cada sistema G.I.S. usa técnicas propias para implementar las preguntas espaciales, aunque el Structured Query Language (SQL) es generalmente usado para consultas de atributos cuando ellos están almacenados en una BD relacional. Las consultas de datos geométricos pueden ser usadas para destacar una zona de interés alrededor de una entidad punto, línea, área o celda, las cuales, a su vez, pueden ser usadas para recuperación de atributos o generar una nueva entidad espacial.

El análisis espacial incluye una gran faja de operaciones, estando interesado primeramente en la comparación de diferentes conjuntos de entidades y su distribución en el espacio. Las aplicaciones de análisis disponibles son: ruteamiento de redes, modelización de localización, cálculo de intervisibilidad del terreno, modelización del flujo de la superficie, etc. Finalmente, el recubrimiento es un proceso de integración de las entidades geométricas a partir de dos o más fuentes, y la creación de un nuevo conjunto de atributos para las entidades nuevas. El recubrimiento es una herramienta poderosa para el análisis de composición (esto es, para el análisis de conjunción de dos distribuciones espaciales diferentes).

f) La Modelización debe ser:

- ✓ Deliberada;
- ✓ Estructurada;
- ✓ Secuencial (paso a paso);
- ✓ Formal;
- ✓ De técnica establecida;
- ✓ Repetitiva;
- ✓ Usualmente compleja.

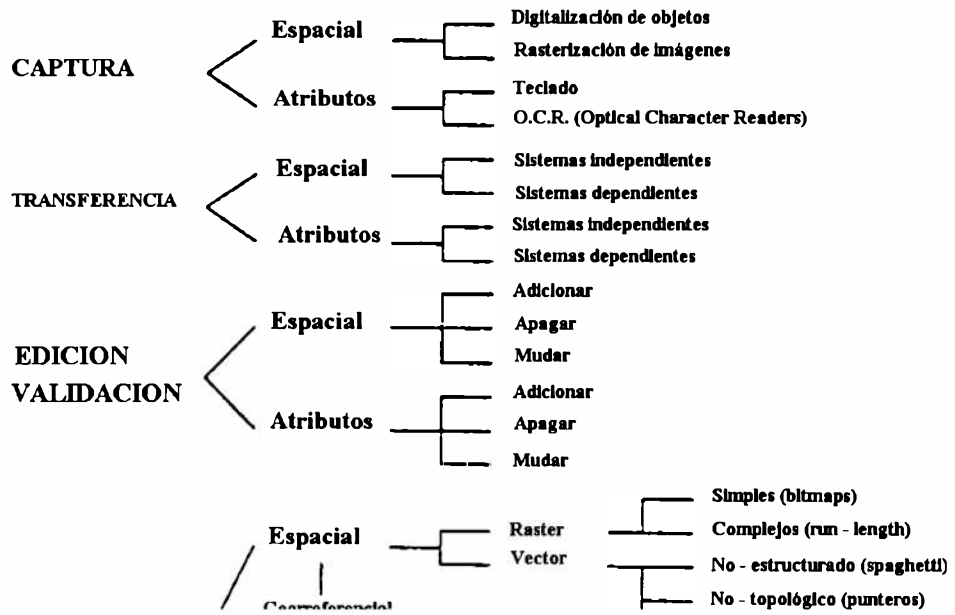
Se nota que tanto la QUERY (Pregunta) y la modelización son análisis de datos, pero difieren en el propósito. La próxima figura ilustra esta afirmación:



g) Relación entre estructura de datos y la funcionalidad

El siguiente diagrama muestra de forma simplificada, la clasificación de las muchas funciones que pueden ser ejecutadas por muchos G.I.S. Para cada una de las principales funciones son indicadas las operaciones y los algoritmos utilizados por los dos tipos de estructura de datos. Este diagrama presenta apenas unas formulaciones de ese conjunto de relaciones, aunque otras pueden ser incluidas.

Se debe enfatizar que la forma de estructuración determina o controla el potencial de las operaciones de análisis dentro de las funciones de búsqueda y análisis. Así, datos geométricos, donde la relación topológica fue almacenada, contienen muchas formas de relaciones explícitas que se podrán extraer usando algoritmos de análisis espacial. Por ejemplo, si las relaciones de "de que nodo" y "para que nodo" estuvieran almacenadas en todas las líneas de los datos geográficos, es posible analizar esas relaciones rápidamente para conexiones. Si no estuvieran almacenadas esas relaciones, el análisis sería imposible o podría requerir procesamiento de la estructura de datos en campos escogidos, lo que limita mucho el estudio.

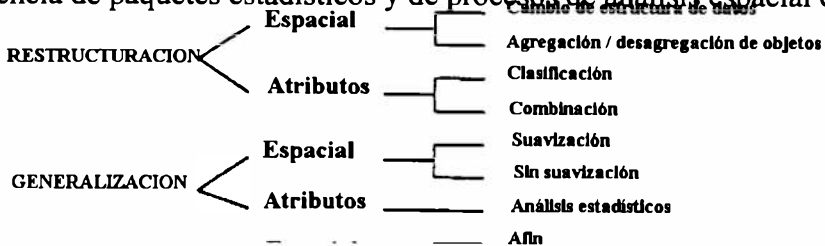


σ?à ?àv ü δ?À δéV >



2.9.1.5 Herramientas existentes para análisis espacial

Existen herramientas patrones para el trabajo de análisis espacial, especialmente debido a la carencia de paquetes estadísticos y de procesos de análisis espacial en G.I.S.





Se describen resumidamente, algunas herramientas disponibles para el análisis espacial. Esos métodos de análisis son identificados en función de los diferentes tipos de entidades o de datos geográficos:

TIPOS DE ENTIDADES	MÉTODOS DE ANÁLISIS
Punto	- Vecino más próximo - Método "cuadrangular"
Línea	- Análisis de redes y grafos - Métodos teóricos - Dimensión fractal - Detección de lados
Área	- Medición de formas - Autocorrelación espacial - Regresión espacial - Regionalización - Interacción espacial - Modelización de localización- alocación
Superficie	- Procesamiento de imágenes - Mapeamiento "Bayesian"

Una tipología simple de algunos métodos de análisis espacial.

Muchos métodos descritos en la tabla, ahora no están disponibles dentro de los G.I.S. Esto es una ventaja y un problema al mismo tiempo. La omisión de un método relevante es un problema, si se desean aplicar las herramientas de análisis espacial para problemas de áreas, cuando hay un equipo entrenado de técnicos y/o los problemas en sí mismos tan importantes para demandar una atención especial.

2.9.1.6 Algunos principios orientadores

El problema real está, no con la definición de lo que significa el análisis espacial o con alguna limitación filosófica, sino con la identificación de la naturaleza de la tecnología necesaria para proveer una sólida funcionalidad analítica espacial para el G.I.S. Por ejemplo, como es posible detectar o descubrir patrones en el espacio bidimensional si las coberturas de mapas están relacionadas arbitrariamente de alguna manera, o analizar la información espacial dinámica considerando el tiempo? Cuestiones del género son comunes para diferentes análisis en el G.I.S.

Naturalmente, las funciones claves de que disponen los G.I.S.s están permitiendo la exploración geográfica a nivel de análisis, auxiliando al usuario a encontrar y describir patrones y relaciones que existen en una BD espacial.

La necesidad de la exploración de las herramientas de análisis geográfico ha sido estimulada por la vasta explosión de las informaciones geográficamente referenciadas, que están creando nuevas oportunidades de análisis espacial en lugares donde



anteriormente había pequeñas búsquedas. En muchos casos, el propósito del análisis puede apenas ser la exploración de algunos resultados a partir de hechos o de nuevos datos espaciales existentes, ahora porque ellos existen, necesitando ser analizados.

Si el mapa analógico provee una forma de tecnología pobre de análisis, existe la necesidad de un estilo de exploración cuantitativo o de un análisis espacial que pueda ser complementado por el G.I.S., orientado por mapas. Esas herramientas analíticas deben ser diseñadas para atender tales necesidades sin tornarse rígidamente estadísticas, a punto de ser:

- a) Herramientas exclusivamente para investigadores;
- b) Tan vacías en creatividad que ofrezcan poca profundidad y nuevas perspectivas;
- c) Incapaces de responder cualquier cuestión básica.

No existen herramientas mágicas de análisis estadístico que puedan ser incorporadas en el G.I.S, según proveen algunos paquetes de análisis espacial, se aproxima a lo que existe en la manipulación de datos espaciales.

2.9.1.7 Entendiendo las limitaciones del análisis espacial

En muchas instancias, el análisis espacial de los datos geográficos disponibles es solamente una opción de disponibilidad. El propósito de este análisis podrá ser desarrollado por intuición y conocimiento a partir de algún patrón o asociación encontrados en el dato, los cuales serán usados directamente o proveerán una base para futuras investigaciones usando diferentes datos, probablemente métodos no-espaciales y en microescala. Algunos problemas pueden restringir la funcionalidad del análisis espacial:

- a) La falta de una teoría e hipótesis previa, forzando al usuario a iniciar la búsqueda de la existencia de patrones o relaciones sin saber que buscar;
- b) Las dificultades de operación en un contexto de exploración, en el cual el conocimiento de los datos complica grandemente los tests de modelos e hipótesis "post hoc";
- c) La disponibilidad de datos geográficos puede estar rodeada por otras informaciones, perdidas o ahora no obtenidas;
- d) El G.I.S. puede ser rico en datos, pero en muchas aplicaciones pocas variables claves están presentes;
- e) La naturaleza ecológica de muchos análisis es un factor limitante, debido a que la agregación de los datos puede cambiar la naturaleza de las relaciones de microniveles y algunas veces también crear nuevos datos ilegítimos;
- f) Los datos espaciales tienden a ser caracterizados por la complejidad;
- g) El viejo problema de la precisión y calidad de los datos;
- h) Hay diversas dificultades de copiado con la misma dimensión.



En síntesis, el análisis espacial en el contexto de un G.I.S. no es apenas un entendimiento mejorado de la casualidad.

Para algunos propósitos, el análisis espacial puede ser una correcta ciencia primitiva de descripción. Para otros, el es inherentemente limitado a la utilidad de la información geográfica, sobretodo en estudios que tengan un proceso de entendimiento.

El G.I.S. como tecnología revolucionaria requiere una nueva forma de pensar. La tabla siguiente ofrece una guía para el análisis espacial.

Guía básica para el análisis espacial en los G.I.S.:

01	Evitar gran volumen de diseños científicos
02	Adoptar una mentalidad de análisis exploratorio de datos
03	Evitar demasiadas intermitencias estadísticas o énfasis de interferencias inapropiadas
04	Quedar sin limitaciones de análisis geográficos
05	Evitar cualquier técnica que implique ignorar o remover explícitamente los efectos del espacio
06	Pensar cuidadosamente antes de usar métodos de la geografía cuantitativa
07	Evitar el uso de superposiciones asimétricas
08	Estar consciente de los posibles efectos que los datos pueden tener sobre los resultados

2.9.2 El análisis cartográfico

El análisis cartográfico manual o automático permanece igual que en sus principios, esencialmente en cuanto a:

- Problemas de localización, esto es, de relaciones entre los objetos estudiados y el espacio;
- Problemas de calificación de diferencias de los objetos, unos en relación a los otros;
- Problemas de cuantificación que permiten clasificación y comparación entre los objetos;
- Problemas de relaciones analógicas significativas que derivan en la representación de las relaciones, de las proporciones u otros valores estadísticos.



2.9.2.1 Localización

Es propio de la cartografía confrontar con el espacio que la contiene y cuanto. Los restituidores contribuyen eficazmente para eso. Es por eso que cada mapa debe trazar una red de referencia universal, que es la de las coordenadas terrestres, latitudes y longitudes. Pero también hay referencias más familiares, como el trazado de las costas y de los ríos, los lugares habitados, los límites administrativos, etc. El conjunto de los elementos de referencia constituye la base del mapa, que debe ser concebido en función del tema a ser cartografiado y de la escala, lo que impone opciones.

En escala grande, esos elementos son levantados sobre los mapas topográficos, siendo completados, si es necesario, con mediciones de campo. El análisis de los datos físicos exige una representación detallada del relieve, generalmente en curvas de nivel. El de los fenómenos socio-económicos puede, a veces, conformarse con valores de declive o con ausencia total de relieve. Tanto en uno como en el otro caso, la red hidrográfica es un elemento indispensable, ya que su densidad evoca los caracteres esenciales de la topografía.

En escalas media y pequeña, la base del mapa puede ser más esquematizada. Normalmente, ella es extraída de los mapas derivados. La elección del sistema de proyección asume una importancia mayor. Pero la precisión de la localizaciones disminuye, de manera que las medidas son cada vez más aproximativas.

2.9.2.2 Calificación y selección

La identificación precisa de los objetos a ser cartografiados (unidad taxonómica) y su definición (taxonomía) son problemas de especialistas, antes de ser problemas de cartógrafos. Ellas se colocan tanto para el que desarrolla como para quien tiene la incumbencia de introducir esas unidades taxonómicas en un banco de datos. En todo caso, el nivel taxonómico adoptado debe ser adaptado a la escala del mapa. Si es en escala grande, la unidad cartográfica es muchas veces el propio objeto; en escala pequeña, es el grupo de objetos, la categoría o el tipo.

El levantamiento de esas unidades es hecho, conforme el caso, por la búsqueda de campo o por sensoreamiento remoto. Resta al cartógrafo escoger, entre los medios gráficos de que dispone, los más apropiados y los más selectivos.

2.9.2.3 Cuantificación absoluta

La representación de los valores numéricos absolutos relacionados a un centro o a una superficie requieren ahora más atención. Ello implica una jerarquización de las unidades cartográficas que permiten su clasificación ordenada y su comparación. El tamaño, el valor y la granulación son las variables más bien adaptadas a esa operación. Lo importante es definir una proporcionalidad de los símbolos que sirven de escala para el conjunto.

Los mapas de cantidades absolutas tienen, así, el valor de una tabla estadística cuyos datos serían divididos visualmente en el espacio que ocupan en la realidad.



Inversamente, todo lector puede, en teoría, reunir, a partir del mapa, las informaciones numéricas que le permitan reconstruir el cuadro estadístico inicial. Además de eso, lo que a los ojos es una aproximación imperfecta, se puede tornar, en el caso de una cartografía computarizada, una base rigurosa de tratamiento matemático.

2.9.2.4 Cartografía estadística

Una representación puramente cualitativa o jerarquizada de los hechos geográficos es muchas veces insuficiente. Las técnicas cuantitativas modernas, con la informática y el diseño automático, permiten ir mucho más lejos, mucho más de prisa. Es esa conjunción del cálculo y de la visualización que da a la cartografía temática contemporánea todo su sentido y toda su eficacia.

Hacer un mapa es establecer por lo menos una relación con el espacio. En esa relación, el numerador es una variable (N) que representa valores; el denominador es el área (S) de su extensión. La relación N/S es la comparación de una cantidad con una superficie. Ella contiene la noción de densidad, de presión sobre la superficie o de reducción a unidad. El análisis naturalmente es tanto más fino cuando el área S de referencia es menor. Eso implica un recorte del terreno a partir de límites definidos más o menos arbitrariamente. En la mayoría de las veces la propia naturaleza de los cuadros estadísticos impone que sean adoptadas las divisiones administrativas. El establecimiento de una red de cuadros iguales y unidos, de dimensiones convenientes (hectométricas o kilométricas), resolvería con éxito el problema; lo ideal sería que esa red fuese calcada sobre "pixels" (unidades de resolución) de los documentos de sensoreamiento remoto.

El carácter expresivo de tales mapas será tanto más perfecto cuanto más significativa fuera la clasificación de los valores de N .

También el análisis matemático de los datos ofrece múltiples combinaciones, y las computadoras están perfectamente aptas para integrar esos tratamientos preliminares en sus programas infográficos. Los más simples son los cálculos de las tasas, índices o porcentajes, que consisten en relacionar una cantidad variable y una cantidad fija, generalmente 100 o 1000, tomada como referencia. Por ejemplo, si s es una parte de S y n una parte de N , las relaciones s/S o n/N son una comparación de la parte con el todo. Ellas contienen la noción de división de un conjunto o la frecuencia de una subclase dentro de una clase. Esas relaciones son expresadas por cartogramas o por representaciones corocromáticas.

2.9.2.5 Mapas corocromáticos y mapas de distribución

Se llama corocromático un mapa sobre el cual se relaciona una cantidad a un recorte espacial, tipológico o estadístico, materializado por sus contornos.

Todo se pasa como se ve, en cada punto del mapa, se coloca en elevación el valor z local de la variable considerada, como en los mapas topográficos se coloca la altitud de cada lugar. La superficie que contienen todos los puntos obtenidos es



estadística, enteramente comparable a una superficie topográfica, con sus elevaciones y concavidades.

La noción de superficie estadística permite definir curvas isométricas que, como las curvas de nivel, son líneas isométricas, o isolíneas, que reúnen los puntos en números teóricamente limitados, cuyo valor medible es constante. Tales son las curvas de igual altitud (isóipsas), de igual temperatura (isotérmicas), de igual presión (isobaras), de igual profundidad (isóbatas), de igual precipitación (isoietas), pero también de igual intensidad sísmica (isossistas), de igual intervalo de tiempo (isócronas), etc. Sólo difiere la definición de la variable, el principio de construcción permanece igual. En la práctica, esa construcción está apoyada sobre un número de puntos limitados y de valor determinado, en la mayoría de las veces entero y correspondiendo a una equidistancia significativa. Ella responde a reglas bastantes estrictas, pero relativamente simples, de interpolación o de divergencia en una distribución estadística.

Todos los fenómenos espaciales son susceptibles de una interpretación corocromática. La forma de la mancha representativa está limitada por contornos reales o por contornos abstractos (límites tipológicos, administrativos o curvas isorítmicas). Ella muestra la extensión del fenómeno en la superficie. La disposición de las manchas muestra la división del conjunto. En los casos más simples, el mapa corocromático puede ser monocromático, recubierto por tramas pre-fabricadas o por sombreados hechos por la computadora. En los casos más complejos, muchas veces se recurre a policromía. El uso de los colores no corresponde sólo a una inspiración estética; existen reglas para determinar su elección. Cuando intervienen valores numéricos, principalmente, se cuida para que la gama cromática acompañe a la gama estadística y para que los diferentes matices parezcan, a los ojos, una secuencia ordenada; por ejemplo, la del espectro luminoso. Las ventajas del color son incontestables: variable fuerte y selectiva, ella refuerza la legibilidad y la clareza del mapa. Pero ellos dependen del gusto y de la disponibilidad de los periféricos de salida.

Cuando la variable estudiada es discontinua en el espacio, por ejemplo, cuando se trata de los individuos de una población o de cantidades localizadas en un lugar puntual en la escala del mapa, se habla de mapas de distribución. La representación más corriente es un aglomerado de puntos distribuidos en las unidades estadísticas correspondientes. La impresión visual de la densidad es entonces obtenida por la dispersión en el espacio de puntos, cada uno de ellos valiendo una unidad o un múltiplo de la unidad, cuantitativos por su dimensión y cualitativos por su forma y color. Si esos puntos están distribuidos de manera uniforme, se obtiene, como en los mapas corocromáticos, un efecto de trama que las computadoras realizan fácilmente. La impresión de la densidad del fenómeno está dada por la apariencia más o menos cargada de la representación; pero la significación geográfica permanece limitada.

2.9.2.6 Cartografía de movimientos

La superficie de la tierra está en perpetua transformación. Nada en ella es inmutable. La cartografía debe sugerir esos cambios, sea cual fuera la escala temporal en



la cual ellos se producen. La dificultad consiste en representar en un plano inmóvil, los flujos que ocurren en el espacio o las transformaciones que se suceden en el tiempo. Se trata de sugerir una cinemática con el auxilio de documentos estáticos, y eso sin sacrificar la precisión o la legitimidad. Para introducir esa cuarta dimensión, la duración, varios procedimientos son empleados, conforme los asuntos:

Los mapas de flujo

Se parecen al más antiguo tipo de mapa, el itinerario, y más genéricamente a los "mapas de redes" de implantación lineal. La representación más corriente consiste en simbolizar el movimiento por vectores trazados sobre la ruta corrida. El mapa de base es, pues, un mapa de entradas, tan detallado como lo exijan los cursos tomados. Las compresiones y los ángulos son tan fielmente relacionadas como lo permita la generalización en la escala. Los vectores asumen la forma de flechas o de fajas continuas, calificadas por figuras o colores y cuantificadas por larguras proporcionales. Para discriminar los movimientos en uno y en otro de los sentidos, basta duplicar las figuras o los colores, repartiéndolas de cada lado de la entrada.

Otro procedimiento, este indirecto, consiste en cartografiar los flujos efectivos, en valor absoluto o en porcentaje; se marca el origen del movimiento por una disminución del efecto local y su resultado por un aumento correlativo. Se construyen así mapas de migraciones, de nomadismo o de movimientos pendulares mostrando las ganancias y las pérdidas simultáneas en las dos extremidades del movimiento.

La cartografía de los flujos, siempre difícil y muchas veces antiestética trata con los problemas geográficos más considerables del mundo contemporáneo.

El G.I.S. es aquí particularmente eficaz. El tratamiento estático de las matrices numéricas origen/destino permite mejorar los trazos, y crear figuras de un nuevo estilo, como las anamorfosis o las elevaciones en tres dimensiones.

Los mapas de variaciones y de evolución

Un fenómeno que varía de manera aleatoria en torno de una posición de equilibrio, es habitualmente representado por su valor medio calculado en un período bastante largo y acompañado por una notación de los extremos. Esa representación tiene fallas. De hecho, la imagen es puramente estadística, más abstracta de la real. Todavía esos mapas tienen un cierto interés en los casos de fenómenos relativamente estables en el intervalo de tiempo escogido, o cuando las variaciones extremas se eliminan mutuamente en un largo período. Ejemplo: los mapas climáticos (temperaturas, precipitaciones), o los mapas de producción agrícola fuera de las grandes perturbaciones económicas.

Para exprimir una verdadera evolución, una secuencia de transformaciones en un mismo sentido, el mejor medio es cartografiar las situaciones sucesivas realizadas en el correr del tiempo. Se establecen, entonces, mapas sinópticos del estado real de las cosas, conforme un período de tiempo tan breve como sea posible (hora, día, mes o año), escogido en función de la versatilidad del fenómeno. Cuidadosamente dotados y montados en series, esos mapas pueden ser comparados por superposiciones en soportes



transparentes, por llamadas simultáneas o sucesivas en el monitor de video, por montaje en film o en video, como en el diseño animado.

También se puede representar directamente el sentido y el valor de la variación realizada en el intervalo de tiempo considerado. Ese valor puede ser expresado en porcentaje relacionado a la superficie. Basta aplicar un color (o una trama) sobre las porciones de espacio concernientes: por ejemplo, rojo si la evolución es positiva, azul si ella es negativa. Como para todos los mapas de tasas, se tendrá cuidado de demostrar por un símbolo proporcional el valor absoluto de las pérdidas o de las ganancias en el origen o en el fin de la evolución enfocada.

Los mapas de penetración y de influencia

Se usan para tratar respecto a las facilidades de acceso a un centro o a un medio de transporte, o a los problemas de comunicación entre centros vecinos, o a los problemas de alcance a partir de un polo dado de difusión.

Las facilidades de acceso o de comunicación se experimentan naturalmente en función del tiempo. Ellas se traducen, pues, por mapas isorítmicos, llamados de isócronos. Son curvas que ligan los puntos accesibles en un tiempo determinado. La influencia de una ciudad, capital regional o económica, puede ser medida a partir del área de extensión de ciertas funciones esenciales, administrativas, comerciales o de servicio, teniendo su sede o origen en la ciudad. Por ejemplo: la red de transporte en común, las comunicaciones telefónicas, los circuitos comerciales o bancarios, la zona de atracción de mano de obra, etc. Los límites de esas áreas se recortan entre sí y con las áreas concurrentes. Así, se pueden definir los dominios de influencia exclusiva o concurrencial entre centros vecinos.

2.9.2.7 Cartografía de las correlaciones

Los mapas de correlación combinan en un mismo fondo dos o más variables del espacio, entre las cuales se pretenden exprimir relaciones lógicas. En ese sentido, los mapas analíticos ya son mapas de correlación, ya que comparan el fenómeno estudiado con el espacio que ocupa. Pero los verdaderos mapas de correlación son expresamente contruidos para mostrar al lector la dependencia existente entre varios datos, así como para determinar conjuntamente otros fenómenos u otras combinaciones.

La búsqueda de las correlaciones en el espacio es la propia esencia del trabajo geográfico. Esas correlaciones no siempre son evidentes; es preciso descubrirlas, y desconfiar de algunas aproximaciones simplistas. En esas condiciones, la búsqueda de las correlaciones se basa en la confrontación de múltiples datos que se suponen están en una relación de causa y efecto. El hecho del investigador y su experiencia cuentan mucho en el éxito de tal método, que frecuentemente precisa de sucesivas tentativas, a veces infructíferas. Pero ya hace mucho tiempo que la cartografía permite amparar el proceso intelectual. Primero, por la elaboración de mapas analíticos de los fenómenos a ser confrontados. En seguida, por la manipulación experimental de esos mapas por sobreposición, a fin de obtener visualmente las relaciones significativas que seguramente será preciso verificar en el campo.



Los mapas de síntesis tirados de esas operaciones son complejos por naturaleza. Pero como mapas de referencia, son de explicación y de comunicación; por tanto, deben ser claros y legibles y mostrar solamente los datos esenciales. A groso modo esos mapas pueden ser clasificados en dos categorías:

- √ **Los mapas sistémicos** son analíticos en su construcción, en el sentido de que determinan para el lector los datos específicos del sistema estudiado. Pero son al mismo tiempo sintéticos en la expresión, debido a la imagen global que proponen de las diversas combinaciones resultantes. A veces son acompañados por BDs anexas, que recolocan el problema en un cuadro más amplio o tratan detalles importantes. Esos mapas forzosamente muy cargados no pueden, en absoluto, ser útiles, a no ser en escalas media y grande, superior o igual a 1:50000, como los Mapas Geomorfológicos Detallados.
- √ **Los mapas tipológicos** muestran las combinaciones realizadas en cada sector del espacio, sin preocuparse por factores analíticos de base que permitan su identificación. El tratamiento de la información fue hecho en otro lugar y es el resultado que está cartografiado. Cada categoría del fenómeno constituye una unidad taxonómica o tipo, que cubre una zona homogénea, distinguida por un símbolo regular o un color, explicitados en la leyenda o en una nota. Ese género de mapa soporta fácilmente la reducción, conservando una buena legibilidad. Tales son, por ejemplo, los mapas fisiográficos, que individualizan unidades de paisaje, basados en datos climáticos, hidrográficos, geomorfológicos, biológicos; los mapas de los modelos de exploración del suelo, que integran datos sobre la situación jurídica de los dominios, su dimensión, su equipamiento, la organización de los campos, etc.

Los mapas de correlación son, por tanto, numerosos y variados. Representan el estado más acabado de la cartografía manual clásica, pero también el límite a no ultrapasar, sobre pena de ilegibilidad y, por tanto de inutilidad. En la mayoría de las veces se obtiene la mayor eficacia en el uso del color, pues la ejecución tricromática (o cuadricromática) permite, mediante un gusto razonable, usar cambios suficientes. Se sabe tirar de un mismo color varias graduaciones de valor, cada una de las cuales puede, teóricamente, representar una de las variables o la reducción de un índice de un manojó de variables que corren sobre una superficie considerada.

La introducción de la informática y de la cartografía computarizada, como tal el G.I.S., permiten concretar y ampliar esa tendencia. El G.I.S. sirve, primero, para agrupar y reducir las observaciones y las variables almacenadas en los bancos de datos para trazarlas a un nivel perceptible para el lector de un mapa. Los procesos de análisis matemático revelan no solamente correspondencias y componentes, sino también residuos inexplicados que una simple representación cartográfica permite comparar en el espacio. Así, un buen número de mapas permanece como efímeros, no destinados a publicación.

Esos mapas de trabajo eran, hasta hace poco tiempo, manuscritos y montados sobre transparencias de sobreposición.



Hoy en día ellos pueden ser directamente evocados en transparencias electrónicas, comentados, modificados, corregidos, comparados con otros a ser materializados si son de interés. Mejor, a través del G.I.S., esos mapas numerados pueden ser tomados ellos mismos como base de cálculo en un álgebra de mapas, y entonces ser automáticamente acrecentados, substraídos, correlacionados y reducidos a nuevos mapas.

El G.I.S. se torna, al mismo tiempo, el medio de tratamiento de una información que no corre más el riesgo de ser ni complicada ni excesiva, y el medio de visualizar tanto las etapas de raciocinio como el resultado final de la pesquisa. Y, en la hora de la impresión, el sistema dirige el brazo trazador automático, para la ejecución del diseño definitivo.

Por más sofisticado que sea, el G.I.S. nada más es una herramienta. Su inteligencia reside en la concepción de las Bases de Datos gráficas y no-gráficas.

2.9.3 Análisis relacional entre objetos espaciales

Existe un vasto número de relaciones posibles y muchas de ellas son importantes en el análisis de los datos espaciales. Por ejemplo: -una relación entre un punto y un área, siendo importante en la relación de objetos para con su ambiente alrededor; - una relación de "intersección" de dos líneas, siendo importante en el análisis de rutas en el estudio de redes. Estas relaciones pueden existir entre entidades de un mismo tipo o de diferentes tipos. Para cada "Shopping Center" (entidad punto), pueden localizarse otros Shopping Centers próximos (entidades del mismo tipo); para cada cliente, puede localizarse el próximo Shopping Center (entidades de diferentes tipos).

Dentro de esa visión, hay tres tipos de relaciones que debemos considerar para los propósitos de análisis en el G.I.S.:

a) Relaciones que son usadas para construir objetos complejos a partir de otros simples primitivos y geométricos. Por ejemplo, relación entre una línea y el conjunto ordenado de puntos que la definen; relación entre un área (polígono) y el conjunto ordenado de líneas que lo definen.

Algunas bases de datos permiten entidades llamadas de "objetos complejos" compuestos de "elementos simples". Por ejemplo, elementos que representan "residencias", "fechas", "clientes", etc., y sus atributos asociados deben ser agrupados lógicamente como registros. Este tipo de relación debe ser codificado en la propia base de datos durante la entrada;

b) Relaciones que puedan ser calculadas a partir de las coordenadas de los objetos. Por ejemplo, dos líneas pueden ser examinadas para verificar si ellas se cruzan (esta relación de cruzamiento se puede obtener vía cálculo); Areas pueden ser examinados para verificar cual de ellos contiene un determinado punto o "está contenida en" una relación que puede ser calculada; Areas pueden ser examinadas también por el grado de sobreposición, permitiendo la relación de "recubrimiento", etc.;



c) Relaciones que no pueden ser calculadas a partir de las coordenadas-códigos. Estas deben ser codificadas en la base de datos durante la entrada de datos. Por ejemplo, podemos calcular si dos líneas se cruzan, pero no una carretera que representa una intersección (pues puede ser un punto del viaducto); podemos calcular si dos líneas se cruzan, pero no en caso de ferrovías, aunque ellas representen una conexión en el punto de cruzamiento (pues eso puede o no ser una ligazón). Informaciones sobre relaciones que no pueden ser calculadas, en la base de datos, tienen mucho valor en el proceso de análisis geográfico.

2.9.3.1 Tipos de relaciones espaciales

Existen diversas combinaciones de relaciones. Veamos las más frecuentes:

- Punto - punto:
 - "Está dentro de": por ejemplo, localizar todos los puntos de los clientes en el radio de 1 Km desde el punto del comercio x;
 - "Está próximo de": por ejemplo, localizar los lugares con potencial a riesgo de devastación próximos a las nacientes;
- Punto - línea:
 - "Finalizando en": por ejemplo, determinar la intersección en el final de una determinada ruta;
 - "Está próximo a": por ejemplo, localizar una carretera próxima a un determinado punto (fuente) de plantación agrícola;
- Punto - área:
 - "Está contenido en": por ejemplo, localizar todos los clientes que se encuentran dentro de los límites de un código;
 - "Puede ser visto de": por ejemplo, determinar si algunos de esos lagos pueden ser vistos a partir de un determinado punto de visión;
- Línea - línea:
 - "Cruzamiento": por ejemplo, determinar si esa carretera cruza ese río;
 - "Está dentro de ": por ejemplo, identificar todas las carreteras que están dentro de 10 Km. de esta autopista;
 - "Fluir para dentro": por ejemplo, descubrir el drenaje que fluye para un determinado río;
- Línea - área:
 - "Cruzamiento": por ejemplo, identificar todos los tipos de suelos cruzados por una carretera;
 - "Límites": por ejemplo, descubrir si aquella carretera forma parte de los límites de ese campo de aviación;
- Área - área:
 - "Recubrimiento": por ejemplo, identificar todos los recubrimientos entre los tipos de suelos sobre ese mapa y los tipos de uso del suelo sobre ese otro mapa;
 - "Está próximo de": por ejemplo, encontrar el lago más próximo de esta floresta;
 - "Está adyacente a": por ejemplo, descubrir si esas dos partes de áreas son de límites comunes.



2.9.3.2 Codificando relaciones como atributos

En un modelo de BD, normalmente se visualizan las relaciones" como atributos adicionales.

Por ejemplo, si tuviéramos la localización de 4 pozos, con los siguientes atributos:

Pozo ID	Profundidad	Flujo
1	15	2000
2	20	2500
3	10	3000
4	15	2500

Y, sabiendo que el pozo sirve a dos diferentes municipios y cada municipio tiene los siguientes atributos:

Municipio	Población
A	20000
B	35000

Se necesita conocer la cantidad o volumen de flujo de agua que estará disponible para cada municipio.

Como solución, primero se encuentra lo que abarca cada pozo en el municipio (es decir, se calcula la relación: "está contenido en"). En seguida se almacena el resultado como un nuevo atributo de cada "pozo":

Pozo ID	Profundidad	Flujo	Municipio
1	15	2000	A
2	20	2500	B
3	10	3000	B
4	15	2500	A

Finalmente, usando esta tabla, se totaliza el flujo por municipio y se suma el resultado para la columna de municipio:

Municipio	Población	Flujo
A	20000	4500
B	35000	5500



2.9.3.3 Concepto de objetos pares

Distancia es un atributo de un par de objetos. Hay otros tipos de informaciones que son similarmente atributos de objetos pares, por ejemplo:

- ✓ Flujo de conmutación entre un suburbio y el centro de la ciudad;
- ✓ Comercio entre dos municipios;
- ✓ En muchos casos, esos atributos pueden ser parámetros de los objetos que unen el origen y el destino de los objetos. Por ejemplo:
- ✓ Comercio puede ser un atributo de una línea de corredores de dos municipios;
- ✓ Líneas gruesas pueden indicar comercialización fuerte.

En general, es necesario permitir que la información no sea sólo un atributo de algún objeto, sino de un par de objetos. En ese sentido, se pueden tener atributos como:

- ✓ Distancia;
- ✓ Desconexión;
- ✓ Flujos buenos o despreciables;
- ✓ Comercialización;
- ✓ Número de viajes, etc.

Esos atributos no necesariamente pueden ser descriptos para algún objeto real. Por ejemplo, comúnmente el flujo entre el suburbio y el centro de la ciudad no es necesariamente atributo de algún tipo de unión en la red de transporte.

Se puede ver que los objetos pares son importantes en el análisis espacial cuando se usa el G.I.S.

2.9.3.4 Relación espacial en el análisis espacial

Se ha definido que las entidades (u objetos) espaciales pueden ser puntos, líneas, áreas, volumen y celdas matriciales; que los objetos pueden ser agrupados en clases que representen diferentes tipos de entidades del mundo real; que los tipos de objetos son representaciones digitales de fenómenos; que son definidos por sus dimensiones; que las clases de objetos son representaciones digitales de fenómenos similares; que son definidos por sus atributos y que estos pueden ser medidos de varias maneras: nominal, ordinal, intervalo y razón.

También se definió que el potencial del G.I.S. está en la habilidad de almacenar relaciones entre los objetos; que esas relaciones pueden ser hechas entre objetos de la misma clase así como entre objetos de diferentes clases.

Por tanto, veamos como las operaciones que se hacen en esas relaciones permiten hacer diversos análisis.

Análisis de una clase de objetos

En este caso, se necesita solamente de una única tabla de atributos. Por ejemplo, usando una ciudad conteniendo los siguientes atributos:

- ✓ Número de la población: faja proporcional (razón);
- ✓ Número de residencias: faja proporcional (razón);
- ✓ Promedio de ingresos: R\$/residencia (razón);



- ✓ Nombre: faja nominal;
- ✓ Número de automóviles/residencias: ordinal y razón.

Usando esos atributos contenidos en una tabla, efectuaríamos operaciones y tendríamos:

- ✓ Relación de las ciudades vecinas por el promedio de ingresos;
- ✓ Relación de las ciudades vecinas por el promedio arriba de dos salarios mínimos;
- ✓ Relación de registros que satisfagan algunos criterios;
- ✓ Cálculo del promedio de automóviles por residencias;
- ✓ Relación del número de residencias por áreas.

Análisis de una clase usando la información locacional

En el caso que los objetos sean complejos (líneas, áreas), las informaciones locacionales pueden ser almacenadas separadamente de sus atributos. El modelo de datos usado para almacenar localizaciones puede ser diferente. Muchos sistemas usan una BD patrón para almacenar atributos y un sistema especial para almacenar informaciones locacionales asociadas a los objetos. Por ejemplo, para hacer un mapa de los ingresos medios de las residencias, sombreados de acuerdo con cada ciudad, se requieren informaciones locacionales. El sombreado puede ser determinado por una función con más de un atributo; se puede calcular el área de cada ciudad y almacenarla como nuevo atributo; y luego representar la densidad poblacional dividida por áreas, etc.

Análisis de objetos pares

Los objetos pares son formados, por ejemplo, por la combinación de ciudades.

Los atributos serían:

- ✓ Distancia;
- ✓ Número de componentes en cada dirección;
- ✓ Tiempo de viaje por el transporte público;

Y el análisis permitiría:

- ✓ Análisis de viajes, por el tiempo de viaje, usando el transporte público (lleva 20 minutos, 40 minutos, 1 hora, etc. Este análisis produce resultados en tablas).

Análisis de más de una clase de objetos

Este tipo de análisis en el G.I.S. es el más común. Por ejemplo, encontrar el camino más corto, en una malla urbana, entre dos lugares. Esta respuesta es muy útil para: bomberos, instalación de cables, recorrido de vehículos de emergencia, recolección de residuos, distribución de productos, etc. Debe generar resultados importantes y recomendables para determinar las rutas que conduzcan a los destinos.

En este tipo de análisis, los objetos espaciales necesarios son:

- ✓ Uniones en la malla urbana (red);



- ✓ Atributos que incluyan longitudes;
- ✓ Datos sobre tráfico, congestión, número de travesías, velocidad media, paradas, etc.;
- ✓ Nodos en la malla urbana;
- ✓ Número de semáforos;
- ✓ Existencia de restricciones o preferencias;
- ✓ Datos de señalización de tránsito

Análisis que definen nuevos objetos

Muchas operaciones del G.I.S. producen nuevos objetos espaciales. Estos pueden ser del mismo o de diferentes tipos, por ejemplo, puntos produciendo puntos, líneas produciendo áreas, etc.

Esos nuevos objetos pueden tener atributos de los objetos originales.

Recubrimiento de polígonos

Esta es la más importante operación del G.I.S. El recubrimiento permite usar dos clases de objetos-áreas, para así obtener un nuevo objeto-área (cobertura derivada). Este tipo de análisis es muy usado en los estudios ambientales.

2.9.4 Funciones de análisis en G.I.S.

2.9.4.1 Funciones del G.I.S. en el pre-procesamiento

Los procesos de pre-procesamiento son usados para convertir conjuntos de datos recolectados para una forma adecuada de almacenamiento permanente en la BD del G.I.S. Normalmente, gran porción de datos ingresados en el G.I.S. requieren algún tipo de pre-procesamiento y de manipulación, a fin de que el tipo de dato, el sistema georreferenciado y la estructura de datos sean compatibles con el sistema G.I.S. El resultado final de la fase de pre-procesamiento es un conjunto coordinado de capas temáticas georreferenciadas. El pre-procesamiento es una fase que precede al análisis.

Los principales procesos de pre-procesamiento son:

- Conversión de formatos;
- Reducción y generalización de datos;
- Edición y detección de errores;
- Generación de líneas a partir de puntos y de polígonos a partir de puntos y líneas;
- Combinación de bordes de mapas;
- Rectificación y registros;
- Interpolación;
- Fotointerpretación.

1) Conversión de formatos

La conversión de formatos involucra diferentes problemas, pero puede ser discutida en dos categorías:

- ✓ Conversión entre las diferentes estructuras de datos digitales; y
- ✓ Conversión de datos entre equipamientos diferentes.



El primero es el problema de transformar una estructura de datos en otra (entre miembros de la misma familia y entre miembros de familias distintas).

El segundo involucra la conversión de material fuente como : mapas analógicos, fotografías, tablas, etc. para formas compatibles de la computadora. Note que el inverso de los medios de conversión de datos - el cambio de los datos almacenados en la BD digital para mapas, impresión de tabla, etc. vienen a ser la generación de los productos de salida.

a) Conversión entre las diferentes estructuras de datos digitales

Por ejemplo, hay diversos formatos raster comunes para datos raster, como: matriz de costos, precipitaciones y clases de cobertura de suelos (datos producidos por scanners multiespectrales, con sensores en plataformas espaciales y orbitales). Esos sistemas generan conjunto de datos que son compatibles con cualquier otra colección multivariada de datos raster, incluyéndose problemas de registros geométricos entre bandas de longitud de ondas.

Hay, por eso, diversos caminos par organizar tales conjuntos de datos. Un método sería guardar cada variable (por ejemplo, elevación y precipitación anual, o canales espectrales diferentes a partir de un scanner espectral) como matrices separadas (ese método es denominado de banda secuencial BSQ en el cual cada matriz será guardada como un archivo separado). En ese caso, un archivo de datos podrá contener la matriz de elevación, y otro archivo podrá contener valores de precipitación. Una alternativa común, denominada de banda interpartida por pixels (BIP), localiza todas las mediciones diferentes a partir de la generación de pixels. Esta organización nos hace pensar en como una única matriz contiene pixels multivariantes.

Cuando las operaciones sobre los datos involucran un único término al mismo tiempo, la base de datos raster BSQ puede ser la organización más eficiente. Eso es porque temas específicos (el canal espectral de interés) pueden ser analizados y manipulados como una entidad física independiente. Cuando se trabaja con más de un tema al mismo tiempo, la organización BIP es la más eficiente. Por ejemplo, si de dos capas: elevación y cobertura del suelo, queremos derivar el declive, la organización BSQ hace que la elevación esté disponible, sin tener que leer los valores de la capa cobertura de suelos, si, por otro lado, una determinada operación analítica requiere la comparación de las dos capas en una base pixel por pixel, para encontrar la localización de la cota más alta para cada clase de los tipos de florestas, la organización BIP es una buena elección, debido a que los valores de los dos temas para cada pixel son adyacentes en la BD.

La organización raster de banda interpartida por líneas (BIL) es una mezcla entre BSQ y BIP. Aquí, localizaciones de campos adyacentes (en la dirección de líneas) para un único tema son adyacentes en el archivo de datos, y temas subsecuentes son registrados en secuencia para aquella misma línea. De esa forma, los diferentes temas correspondientes a una línea en el archivo están relativamente próximos uno del otro.

- √ Hay una gran variedad de problemas que se presentan cuando se convierten conjuntos de datos entre diferentes estructuras de datos vector



(hay varias organizaciones de datos vector). Es caro generar la información topológica cuando no está explícita la estructura vector.

Es fácil la conversión de una estructura de un polígono para una estructura de arco-nodo. Sólo es necesario que se cree la lista de los límites del polígono, de los arcos y nodos, etc.

- √ Convertir datos vector para raster es bastante complejo. Por eso, para cada elemento punto, en el centro del pixel debe ser atribuida una coordenada como código de punto.

b) Conversión de datos a través de equipamientos

Muchos datos espaciales disponibles no están en el formato de la computadora. Esos son los mapas con muchos tipos y escalas, manuscritos impresos e imágenes (basados en procesos fotográficos o generados por instrumentos no fotográficos). Convertir esos materiales en un formato compatible al G.I.S. puede ser caro y tomar mucho tiempo.

Cuando fuera necesario digitalizar mapas u otros gráficos con alta precisión, la estabilidad dimensional del medio es importante.

2) Reducción y Generalización de datos

La entrada de un registro puede exigir la reducción del dato en varios tipos. Por ejemplo, un conjunto de registros cuyo campo es el diámetro del árbol, puede contener diversas mediciones en diferentes puntos de la circunferencia del árbol. En una aplicación dada, se puede necesitar la media de esas mediciones dentro de la BD. Otro ejemplo: si tenemos un conjunto de datos con registros de especies de vegetación, la exigencia puede ser satisfecha por el registro del agrupamiento de especies (árboles deciduas versus coníferas).

Otra forma más compleja de reducción de datos involucra cambios de escala en los datos espaciales. Se pueden construir los registros de propietarios de parcelas de un área, y los registros levantados originalmente pueden ser más detallados de lo que se necesita. Aquí, tenemos dos opciones: se acepta el nivel de detalle (así incorporamos un mayor volumen de datos que lo exigido, implicando acrecentamiento de costos de procesamiento y almacenamiento) o se desarrolla, con menor precisión, la representación a partir de los datos fuentes. Est último es denominado generalización. Para datos vectoriales, se considera la disposición de los puntos y la conexión de segmentos y se describen límites de polígonos. La generalización involucra la sustitución de pares de puntos vecinos por las medias de las coordenadas geográficas. De esa forma, se reduce el total de números de puntos por el factor 2, reduciendo el nivel de detalles en ese conjunto de datos. Existen diversos tipos de algoritmos y varios métodos para ejecutar la generalización, desde los más simples hasta los más complejos.

3) Edición y detección de errores

En cualquier sistema de información, se deben proveer facilidades para detectar y corregir errores en la BD. Diferentes tipos de errores son comunes en las diferentes fuentes de datos. Mencionaremos algunas variedades de errores detectados en la



generalización de datos vectoriales o creados en el proceso de digitalización y rasterización.

Áreas poligonales, por definición deben ser cerradas. Si un objeto gráfico fue codificado como polígono, el límite debe ser continuo. Hay softwares disponibles para detectar si el polígono está o no cerrado. Las causas de esos tipos de errores incluyen errores de codificación y de digitalización.

Con algunos sistemas, los límites entre polígonos adyacentes puede haber sido digitalizado dos veces. Tales sistemas crean polígonos "intras" o "extras". Una estructura topológica (BD de arco-nodo) evita esos problemas, ya que las entidades de puntos de líneas son registradas una vez y luego referenciadas para diferentes objetos espaciales.

Errores de diversos tipos pueden aparecer en los atributos de los polígonos. Un atributo puede estar errado o puede ser inapropiado en un contexto especificado. Ese último tipo de error está relacionado al problema de codificación y transcripción, tal como registrar el valor de una cota en una capa de uso del suelo.

4) Generalización

En la mayoría de los G.I.S., los elementos esenciales para digitalizar a partir de los mapas o gráficos son los puntos. Si el G.I.S. describe líneas y polígonos jerárquicamente, basados en los puntos, estaremos aptos para construir esos objetos espaciales definidos jerárquicamente. Generalización es el proceso de construir objetos más complejos a partir de los elementos puntos. Basados en los datos adquiridos durante el proceso de digitalización, son construidos vectores por la conexión de puntos apropiados, y polígonos, por la unión apropiada de los vectores. Durante ese proceso, valores de atributos e informaciones no-espaciales pueden ser ingresadas.

Una importante componente en el proceso de generalización es la identificación de objetos próximos unos con los otros. Por ejemplo, durante la digitalización se ingresan líneas y puntos menores de un milímetro. Especificando la tolerancia de 1 mm., instruimos el sistema para capturar los puntos próximos a la línea. Igualmente, se puede querer tener el sistema conectado a segmentos de línea que posean nodos, dentro de la tolerancia especificada.

5) Combinación de los bordes de los mapas

Muchas veces, una región de interés no está completamente contenida en una hoja de mapa o en una única fotografía aérea. Problemas similares ocurren con BDs digitales. En ese caso, se debe estar apto para extraer informaciones relevantes a partir de cada hoja-mapa y procesar la información de modo que los bordes entre hojas de mapas estén unidos, formando una única base de mapa. Esto es importante cuando se trabaja con mesas digitalizadoras para crear BDs a partir de los mapas.

6) Rectificación y Registro

La rectificación y el registro están basados en una familia de herramientas matemáticas usadas para modificar el arreglo espacial de los objetos en la BD. Las modificaciones son normalmente las relaciones geométricas, sin cambios substanciales del contenido de los datos en sí.



La rectificación involucra la manipulación de las líneas del conjunto de datos, cuando el arreglo espacial de los objetos corresponde a un sistema de geocodificación específica (coordinada geodésica).

El registro es similar a la rectificación, pero no está basado en un esquema de georreferenciación absoluta. Ambos son diseñados a partir de un equipo de campo y de fotografías aéreas no controladas. El proceso de registro involucra cambios de las vistas de las relaciones espaciales de la superficie para concordar con los otros, sin referirse a cualquier sistema de referenciación geodésica particular.

7) Interpolación

Muchos tipos de datos geográficos son tomados en intervalos irregulares en el espacio. Puntos de control (valor Z), levantamientos geográficos, estimativas de biomasa-vegetación, etc. requieren gran distribución de trabajo, y como tal, es imposible hacer las mediciones en todos los lugares deseados. Existen valores estadísticos principales que auxilian en el diseño de tales levantamientos, para maximizar el monto de información que se quiere ganar en un trabajo dado.

Entretanto, hay necesidad de estimar valores para las localizaciones donde no hay mediciones. Esas estimativas están basadas en los datos disponibles, pero más en la convicción (o preferencia) de la variación espacial del fenómeno.

El principio normal de tales estimativas es que los objetos que están más próximos son más importantes que aquellos que están distantes. Por ejemplo, si tenemos un pequeño número de cotas medidas en un área, podemos construir un modelo estadístico que nos permita obtener valores de cotas interpoladas en los lugares donde no hay mediciones.

En cualquier interpolación, la decisión básica es escoger un modelo para la relación estadística entre los puntos (datos). Un modelo común para tales relaciones es el de tendencia de superficies. Las funciones son descripciones analíticas de como usar informaciones conocidas para estimar aquella que es desconocida.

8) Fotointerpretación

La fotointerpretación es fundamental en el G.I.S. y es un proceso de extracción de informaciones a partir de las fotos aéreas y de otras imágenes. Al hablar de fotografías se está hablando de la actividad de adquisición de datos que involucra cámaras, sensores, etc.

El análisis fotográfico, visto en las dos formas básicas, es un proceso complejo que involucra numerosos componentes. Esas componentes incluyen:

- √ Un entendimiento básico de las aplicaciones específicas para las cuales la imagen está siendo usada;
- √ Un conocimiento general del área geográfica de la imagen;
- √ Experiencia y habilidad en técnicas de análisis de imágenes;
- √ Un sólido entendimiento de las características de las imágenes.

Las tareas esenciales de la fotointerpretación son: identificación, medición y solución de problemas. Identificación es reconocer las características de interés. Una vez que las características fueron identificadas, es posible hacer mediciones como: distancia entre objetos, determinar el número total de entidades por área, etc. Algunas de esas mediciones requieren el entendimiento del punto de vista fotográfico, en términos de



variaciones de escala, geometría de cámara/plataforma/superficie de la Tierra, el dato y el tiempo de la imagen, etc. La técnica que realiza mediciones precisas a partir de las fotografías se denomina fotogrametría.

2.9.4.2 Funciones del G.I.S. en el análisis espacial

La diferencia entre manipulación y análisis es un poco arbitraria. Manipulación se define como el manejo de objetos para algunos propósitos particulares y análisis involucra el descubrimiento de los principios fundamentales de los fenómenos. Algunos de esos procesos modificarán la forma o la estructura de una capa (de datos) por alguna forma. Otros procesos pueden crear datos que pueden ser no-espaciales (como la elevación media de una región o número de millas lineales de una carretera) o pueden crear nuevas informaciones en un formato similar a los datos originales (por ejemplo, crear una capa de las elevaciones, en metros, referenciadas a regiones de referencia). El desarrollo de una capa (dato) derivado, o que puede constituirse en la entrada para algunos análisis, es una función importante de cualquier G.I.S.

Se esbozarán los procesos o las funciones de análisis de los G.I.S. que luego serán examinadas:

- Reclasificación y agregación;
- Operaciones geométricas;
 - Rotación, translación y escalamiento (transformación de coordenadas);
 - Rectificación y Registración;
- Determinación de centroides;
- Conversión de estructura de datos;
- Operaciones espaciales;
 - Operaciones de conectividad y proximidad;
- Mediciones;
 - Distancia y dirección;
- Análisis estadística;
 - Estadística descriptiva;
 - Regresión, correlación y tabulación cruzada;
- Modelización.

Se pueden organizar las funciones de análisis espacial a lo largo de enfoques diferentes (por ejemplo, basado en las entradas y salidas de los procesos de análisis). Una clase de funciones analíticas es el conjunto de funciones que requiere solamente informaciones de atributos de una clase de objeto espacial (como la operación que cuenta el número de nacientes en una BD).

Otra clase de función es aquella que examina las características de objetos pares. Por ejemplo, clases de funciones que calculan distancias entre pares de objetos.

1) Reclasificación y Agregación



Frecuentemente, los datos originales, disponibles para análisis, no están totalmente correctos. Dos problemas son encontrados:

a) Las categorías de informaciones en el conjunto de datos necesitan ser modificadas de alguna forma, para tornarlas apropiadas para el uso pretendido. Eso surge frecuentemente con las variables nominales y ordinales, exigiendo que los atributos sean modificados;

b) Los datos no están en la resolución correcta, la BD espacial está efectivamente en una escala errada. Esa situación es un problema para las estructuras vector y raster, donde las especificaciones originales en la colección de datos y en el desarrollo de la BD no capturaron todas las entidades espaciales necesarias para las etapas de procesamiento posterior.

Serán examinados ahora los dos problemas separadamente.

1.1) Operaciones de atributos

La codificación original de atributos puede no ser apropiada para las tareas de análisis posteriores. Por ejemplo, las categorías de tipos de rocas superficiales en el mapa de geología pueden ser demasiado detalladas para algunos propósitos particulares. Es fácil imaginar que un ingeniero necesita saber si un lugar es apto o no para la construcción de un servicio específico.

En lugar de proveer una relación de las clases de la geología e informaciones acerca de la cobertura de la región, será más eficiente presentar al ingeniero datos recodificados, de modo que las clases sean descriptas simplemente en términos de aptitud o no, para el proyecto de construcción. Siguiendo esa operación, los límites entre la nueva clase de aptitud deberán ser presentados. Eso es necesario luego de la operación de recodificación. Los datos recodificados podrán tener límites redundantes y deberán ser removidos, de modo que el mapa sea diseñado de acuerdo a las necesidades del usuario.

Hay una gran faja de posibilidades cuando se trabaja con más de una capa. El proceso de sobreposición es una de las operaciones simples de entender. En la sobreposición de dos capas, una matriz puede ser una herramienta útil para describir la operación. Como ejemplo, debemos considerar lo que es denominado *tráfico*: puede un tipo particular de vehículo viajar cruzando un área, basado en el declive y en el tipo de suelo?

Las capas: declive y suelo en este ejemplo, son variables nominales y forman datos de entrada para el análisis. Así, se puede crear una matriz de posibilidades, que es la base del cruzamiento de capas. Las columnas en la matriz pueden corresponder a diferentes tipos de suelos: pedregoso, arena y arcilla. Las líneas pueden corresponder a diferentes clases de declive: plano, moderado y escarpado. La primera es una variable nominal y la segunda una variable ordinal. Cada entrada para la matriz nos dice cuán fácil es, para el vehículo en cuestión, navegar en una combinación particular de declive en un tipo de suelo superficial. Por ejemplo, cuando el declive es moderado, el vehículo no puede viajar sobre suelo arenoso, pero puede viajar en una superficie pedregosa.

Como resultado de eso tenemos un mapa derivado, apto para el cruzamiento. En un sistema raster, cada celda de datos provee un dato de suelo-declive como entrada para la matriz de análisis, el cual determinará la clase de tráfico en la salida de



datos. Por ejemplo, en una estructura raster de banda secuencial, ese será un simple algoritmo secuencial. Se lee el valor del 1° elemento en la matriz de suelo y el 1° elemento en la matriz declive, y se envían esos valores para una subrutina que deriva el resultado de la clase de traficabilidad, y luego envía ese valor derivado para el 1° elemento de la matriz de salida. Ese proceso continúa a través de todos los elementos de la matriz raster.

En un sistema vector, el análisis está basado en el algoritmo de intersección de polígonos, por el cual nuevos polígonos son creados conforme a la necesidad, y los límites redundantes son eliminados. Una vez que la relación de los atributos de esos nuevos polígonos fue creada, se pasa para la tabla de atributos (archivo de polígonos en una estructura simple de arcos-nodos, o archivo de atributos del polígono en una estructura relacional). Para cada polígono, los atributos de suelo y declive son enviados para una subrutina para derivar un nuevo valor de traficabilidad para cada polígono, de modo que pueda ser almacenada en una nueva columna en la relación de atributos. Todo ese proceso requiere una operación geométrica relativamente compleja para derivar los polígonos interseccionados, y con ella la creación de nuevos nodos y arcos apropiados y sus valores de atributos combinados.

Ese proceso geométrico no es necesario en el caso raster. Por otro lado, generalmente tenemos pocos polígonos cuyos atributos son usados para derivar una respuesta deseada para cada polígono, en comparación al número relativamente grande de celdas a ser procesadas en una base de datos raster.

Es fácil ver que ese proceso puede ser generalizado para un gran número de capas, donde en adición a declive y suelo, la decisión de dirigir un vehículo a través de un área puede depender de la cobertura vegetal (vegetación arbórea densa no puede atravesar, a no ser que sea abierta una picada) y de un suelo mixto (área húmeda es más fácil que área seca). Por eso, hay estrategias para incluir la contribución de variables (de razón y de intervalo) como costo y tiempo. Muchas veces, la manipulación de capas múltiples es hecha en etapas: entrada de dos capas para formar una capa intermediaria. Esa capa intermediaria es combinada con una capa fuente para formar otra capa intermediaria y así sucesivamente.

Otra forma de efectuar el proceso de sobreposición de capas es cuando los valores de las capas originales son combinados matemáticamente, para producir una capa-producto como resultado de una decisión. Eso es común cuando los datos son variables de razón. Si se consideran dos capas resultantes de un análisis de una floresta natural: la capa 1 contiene polígonos codificados para el número de especies de plantas encontradas en ese polígono y la capa 2 contiene polígonos codificados para el número de especies que posean copa. Esas dos capas pueden ser campos de estudios separados. Para llegar a un número total de especies de plantas por unidad espacial, algunas veces, es necesario efectuar la suma de esas dos capas. Con BD raster esa adición es bastante fácil, una vez que la operación es hecha celda a celda. Entretanto, en las BDs vector, el proceso es más complejo, pero el principio es exactamente el mismo. Límites internos son creados en una capa derivada como se describió arriba y los atributos de las dos capas son sumados.

En ese proceso, pueden efectuarse operaciones lógicas (Booleanas). Especialmente, en el caso donde hubiera restricciones para construcción y crear nuevos loteamientos basados en las características específicas del lugar. Nuevas construcciones no deben ser permitidas en cualquier lote en una subdivisión propuesta, donde: (1)



puedan ser encontradas piezas arqueológicas o (2) fueron descubiertos lugares de anidamiento para pájaros raros o en extinción. Cuando lidiamos con este tipo de análisis, una capa es normalmente codificada para la presencia de piezas y otra capa codificada para la presencia de las especies en extinción. La decisión de construir estará basada en las operaciones booleanas, como "OR"; si la presencia de uno está definida para tener los artefactos, OR designará las especies, entonces la construcción estará prohibida. El operador OR crea la capa de salida deseada a partir de las dos capas de entrada. Como en el caso anterior, con estructura raster, la operación se procesa basada en las celdas (celda por celda); pero con la estructura vector, la geometría de la capa de salida debe ser derivada primero antes de la combinación de los atributos.

Hay otros operadores booleanos. El operador "AND" es usado para combinar características que son exigidas al mismo tiempo. Por ejemplo, nuevas construcciones en el lugar serán permitidas cuando el estudio ambiental del lugar estuviera completo y se hallan desarrollado planos para identificar cualquier otra zona específica con restricciones. Un operador exclusivo OR, abreviado por XOR, es usado para determinar cuando una condición u otra es reunida, pero no ambas juntamente.

Hay otros conjuntos de técnicas para descripciones temáticas a partir de atributos múltiples. Denominadas de clasificación, esas técnicas inician con diversas capas y, basadas en la familia de procesos estadísticos, derivan en una única capa multivaloriada. La clasificación es designada para localizar y describir regiones relativamente homogéneas y es frecuentemente usada en los datos sensorizados remotamente.

Ciertos tipos de áreas recreacionales pueden ser descriptas así:

- √ Propiedades públicas;
- √ Parques;
- √ Areas mayores de 10 has;
- √ Areas con cuerpos de agua menor que 1 ha.

Esas descripciones son llamadas de clases patrones para ese tipo de uso del suelo, y podemos tener uno o más ejemplos específicos para ese tipo en la BD. Otras clases son descriptas en una sección similar. El G.I.S. entonces es usado para señalar todas las regiones de la BD descriptas en las categorías de uso del suelo. Hay otros tipos de reglas que pueden ser usadas para efectuar señalamientos entre las diferentes clases, donde no hay una exacta combinación entre las categorías disponibles y una caracterización de las parcelas u otras áreas delimitadas (en una BD vector) o pixel (en una BD raster). Adicionalmente, varias mediciones están disponibles para examinar las distintas multivariantes entre las clases especificadas y la parcela en cuestión, y entonces señalar la parcela para la más próxima o clase más probable.

El proceso es llamado de clasificación supervisada, ya que el analista supervisa la elección de las clases.

En el caso de una clasificación no supervisada, la computadora intenta encontrar diferentes áreas usando atributos de relaciones similares. Esas áreas son entonces rotuladas como de la misma clase. El analista escoge eso para determinar el significado del rótulo para esa clase, usualmente por el trabajo con información del lugar específico.

Desde el punto de vista matemático, el sistema está intentando localizar áreas en un espacio multivariado, donde hay observaciones agrupadas. Tales rutinas pueden ser



buenas herramientas para resumir conjunto de datos complejos multicapas, bien como herramientas de exploración, para auxiliar en la construcción de hipótesis acerca de patrones espaciales y estructuras.

1.2) Agregación espacial

La agregación espacial involucra el acrecentamiento del tamaño de los elementos de la unidad en la BD. Una vez que hay una unidad elemental explícita en una BD vector, esa función comúnmente se aplica para conjunto de datos raster, donde el tamaño de la celda es predeterminado. Por eso, los conceptos son útiles igualmente para conjuntos de BDs vector. Allí puede haber casos donde regiones menores que un área especificada deban ser ignoradas para una aplicación particular. Una operación común en el conjunto de datos vector es combinar polígonos juntos, basados en sus atributos. Esos procesos que cambian la resolución media de los datos cambian el tamaño efectivo de la unidad de mapeamiento mínimo.

El proceso de agregación espacial requiere del usuario desarrollar una regla de decisión para combinar los atributos de los datos. Cuando los datos describen las categorías discretas de información, como clase de cobertura de suelo, son usadas reglas prioritarias para derivar una nueva categoría para los datos agregados a partir del antiguo. Un ejemplo podría ser un área urbana circundada por un área suburbana. En este caso, podemos incrementar, las dimensiones lineales de la celda raster, por un factor 2; así 4 celdas originales cubrirán el mismo área que una única celda derivada. Durante el proceso, la categoría resultante, que cubre la fracción mayor de área agregada, determina el rótulo de los atributos para esa nueva área.

2) Operaciones geométricas en los datos espaciales

Esta familia de operaciones es importante tanto en la fase de pre-procesamiento como en la de análisis. Las operaciones de pre-procesamiento fueron descritas en ítems anteriores. Ahora se darán las operaciones de análisis.

La rectificación es el proceso de conversión de la localización espacial de objetos en el conjunto de datos para aquellos mapas de proyecciones especificadas.

La rectificación generalmente requiere un entendimiento explícito de las características geométricas de los datos fuentes.

3) Determinación de centroide

El centroide es una forma común de describir la localización "media" de una línea o de un polígono. El se define como la masa de un objeto bi o tridimensional. Para un polígono bidimensional como definido en la estructura vector, se puede medir la localización de todos los elementos infinitésimos del área dentro del polígono y se podrá así determinar la coordenada de localización del centroide del área. Para un objeto definido dentro de un raster, podremos definir un polígono implícitamente, y podremos llegar al centroide del objeto. En algún sistema, luego de ser determinado el centroide para ese objeto, la localización es almacenada en la BD como una clave de pesquisa.

4) Conversión de estructura de datos

Ella involucra procedimientos para mover informaciones en conjuntos de datos de una estructura específica para otra. Es frecuentemente necesaria en la fase de pre-



procesamiento, de modo de permitir que varios conjuntos de datos sean almacenados en una BD, normalmente limitados por el número de estructuras. Al mismo tiempo, ella puede ser un caso, donde, de acuerdo con la ejecución de una función analítica particular, los datos puedan estar en una estructura particular. Así, se debe poseer acceso a las funciones de conversión durante el proceso de análisis.

5) Operaciones espaciales

El análisis espacial involucra operaciones que consideren el arreglo espacial de informaciones en una o más capas. Ella puede ser dividida en dos tipos: operaciones relacionadas con conexiones entre localizaciones y operaciones relacionadas con el lugar o características de proximidad.

5.1) Operaciones de conectividad

Una de las funciones clásicas de un G.I.S. es ser apto para identificar ítems próximos uno de otro. Esa función tiene una gran variedad de aproximaciones, incluyendo la identificación de corredores de impacto y en problemas de selección de lugares.

En el contexto de relación de lugares, la conectividad puede ser importante para localizar ciertos tipos de actividades próximas, y evitar otros lugares próximos. Si especificamos una distancia apropiada como criterio, el G.I.S. puede auxiliar en la definición o en la búsqueda de caminos aceptables, utilizando la capa que almacena los lugares de los tipos de actividades, y derivando una nueva capa que describa el área de impacto alrededor de esa actividad. Un hospital debe estar relativamente próximo a las principales rutas de transporte, de modo de facilitar el desplazamiento de personas al hospital, pero también debe estar situado lejos de las fuentes de población.

Otro ejemplo sería considerar el problema de la construcción de una residencia próxima a un aeropuerto. Los lugares de rutas de vuelo bajos y dentro de una distancia especificada del límite del aeropuerto, deben tener como detalles restrictivos la altura de edificios y otros servicios urbanos. Combinando esos criterios con las restricciones, el G.I.S. localiza el camino crítico donde no se debe construir, o la proximidad ideal para esa construcción.

Las operaciones de proximidad en los conjuntos de datos vector requieren operaciones geométricas relativamente complejas. Lugares dentro de una distancia especificada, a partir de un punto, formarán un círculo. Caminos de entidades líneas son relativamente fáciles de determinar, pero son más complejos cuando hay conexiones de segmentos y curvas. Operaciones similares en los datos raster son más fáciles, una vez que son hechas por la especificación de pixels o celdas.

Hay una variedad de tipos de análisis espaciales basados en redes. Las aplicaciones generalmente incluyen la selección de caminos o rutas óptimas, y las funciones de flujo e hidrología. Una función más útil y compleja encontrada en algunos sistemas (G.I.S.) es identificar líneas divisorias, separando una determinada área, basándose en la descripción del terreno. Otro ejemplo interesante en el problema de análisis de redes es evaluar rutas alternativas para vehículos de emergencia, basándose, por ejemplo, en el congestionamiento previsto en una calle, el cual depende de la hora del día.



Ese es un problema complejo en los sistemas de análisis, y no es usualmente previsto por todos los G.I.S. En algunos G.I.S. comerciales, este tipo de aplicación viene en módulos separados.

5.2) Operaciones de proximidad

Hay una variedad de operaciones diferentes que están basadas en el lugar o en las características de la proximidad de los datos. En el conjunto de datos-vector, se almacenan informaciones acerca de objetos próximos, como polígonos adyacentes. Así, se necesita conocer cuales polígonos son adyacentes para un polígono-destino, línea o punto especificados. Por ejemplo, ese tipo de operación nos permite examinar varios tipos de uso de suelos circundantes a una parcela específica que un cliente desea conocer.

En el conjunto de datos-raster, usado para almacenar diferentes tipos de variables, podemos aplicar el mismo enfoque. Podemos examinar los atributos de los pixels circundantes, el conjunto de uno o más pixels destinos y ver la variabilidad de ciertos atributos.

El filtro intermediario describe un caso especial de la torsión espacial. El filtro aplica en un área un conjunto de pesos para las celdas-raster, de modo de derivar un valor representativo de aquel área. En el filtro de 3 x 3, se suman 9 valores en el lugar de "vecinos próximos", y luego se divide por 9 para representar el valor medio. Alternativamente, podemos pesar cada valor por la constante 1/9, y luego sumar los valores aplicados por el peso. Es común representar esa operación por la siguiente matriz:

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

Esa matriz es llamada el corazón de la operación de torsión. Si hubiera interés en la media de áreas grandes, se puede especificar una ventana espacial mayor, tal vez una región de 5 x 5 celdas. Aumentando el tamaño de la ventana para el filtro medio, se suaviza el movimiento de la capa más drásticamente. En otras palabras, se atenúan las informaciones de frecuencias altas de los datos más fuertes. Existen varias operaciones de torsión, discutiremos las más comunes.

Contrarios al filtro intermediario, tenemos los filtros para detectar lados. La detección de la frecuencia de lados tiene la siguiente matriz:

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

Como en el filtro medio de 3 x 3, la suma de los pesos es 1, lo que sugiere que el filtro preservará aproximadamente el promedio del conjunto de datos. Si esos tipos de filtros son aplicados para datos no continuos y ordenados naturalmente, como clases de uso del suelo o listados de especies, esas operaciones tienen lógica.



Otra operación de manipulación espacial, directamente relacionada a la torsión es el filtro de la mediana. Con ese filtro, se calcula también el valor medio de las proximidades. La mediana es un valor central de un conjunto de datos, en el cual la mitad de los valores caen arriba de la mediana y la mitad caen abajo. Ese tipo de cálculo es bastante estadístico.

Transformación de textura es otro conjunto de herramientas usado para identificar los patrones espaciales de datos. El filtro de textura es designado para aumentar la heterogeneidad de un área. Un algoritmo común para el filtro de textura es calcular el desvío patrón de los valores en la "inmediación" de 3 x 3. Si los valores de los atributos, en esa "inmediación", son todos pequeños, el desvío patrón es pequeño, y decimos que esta "inmediación" tiene baja textura o baja variabilidad. Donde hubiera diferentes atributos en una "inmediación", tenemos alta textura. Esas transformaciones son también usadas para encontrar los límites entre áreas delimitadas a partir de la textura que está dentro de un área homogénea (la textura puede ser cero).

Existen transformaciones espaciales útiles cuando se trabaja con datos altimétricos, la transformación de declive. También se usa el lugar de 3 x 3 de la elevación para determinar el mejor plano a ser calculado para el declive de aquel plano.

Con datos de altimetría también es posible calcular la vertiente, los perfiles, la visibilidad, etc.

6) Medición

Una gran variedad de herramientas de medición están implementadas en el G.I.S. Con datos raster, la precisión de las mediciones está limitada al tamaño de las celdas; en los datos vector son limitadas por la precisión de las localizaciones de los nodos almacenados.

Medición de distancias son los valores más usuales. Por el G.I.S. se puede determinar longitudes de líneas y arcos, perímetro de un área, etc. En una estructura vector, la región especificada normalmente es un polígono, cuya área puede ser determinada a partir de las coordenadas de los nodos. En una estructura raster, las áreas de polígonos están implícitas en los datos, como colección de pixels lógicamente conectados que comparten un conjunto especificado de valores de atributos. Así, para determinar el perímetro de un área se necesita de:

- a) Determinación de los límites de la región de interés, por la búsqueda de los datos, para cambiar los valores de atributos;
- b) Totalización de la extensión de los límites descubiertos.

Cuando se calcula la distancia entre áreas, ya sea basada en estructura raster o vector, hay por lo menos dos interpretaciones diferentes de distancia. La distancia requerida puede ser entre dos polígonos, o entre lugares representativos en cada polígono (como el centroide).

En una estructura raster, las distancias entre pixels son calculadas ordinalmente entre los puntos centrales de los pixels. En una estructura vector, hay diversas opciones. La distancia entre dos puntos no es ambigua, en cambio, la distancia entre dos líneas o polígonos, por ejemplo, es ambigua. La distancia entre dos polígonos debe ser calculada como distancia más corta entre los dos, muy apropiada cuando se desea la localización



de un canal (la distancia más corta) entre dos cuerpos de agua. Una alternativa es calcular la distancia entre los polígonos, por la distancia entre sus centroides, que es un modelo racional para obtener la distancia media entre dos parcelas. Se calcula también el volumen, cuando se trata de aplicaciones en la ingeniería civil, como volumen de tierra, agua, etc.

La determinación de direcciones también se usa mucho. Por ejemplo, determinación de riesgos catastróficos en el deslizamientos de tierras en los montes. También en planeamiento de rutas, donde la determinación de la distancia y dirección entre los puntos inicial y final proveen las instrucciones para la navegación necesaria.

Otra forma de medición involucra el conteo de objetos específicos de una región. Si el objeto está especificado en la BD, el problema es reducido para una clasificación. El G.I.S. está programado para clasificar a través de la BD, para encontrar un conjunto de palabras claves y el número de veces que se halla un registro.

Otra aplicación es la búsqueda en la BD para determinar todas las ocurrencias de una clase de objeto deseado. En la estructura raster, los valores de atributos de las celdas en la región de interés son sucesivamente comparados con los valores buscados. Cuando el conjunto es localizado, se incrementa un contador. El proceso es idéntico en la estructura vector, donde la tabla de atributos es investigada para el conjunto de valores y relaciones deseados.

Cuando los objetos procurados no son explícitamente almacenados en la BD, el problema se torna muy complejo. Por ejemplo, considerando el problema de localización de un punto apropiado para la torre de los guardas forestales, los datos deben incluir la elevación, cobertura vegetal, propiedad del suelo, etc. El algoritmo de solución será aquel que exija gran cálculo, permitiendo reglas básicas, de modo de eliminar grandes áreas de la BD a partir de esos criterios. Realmente el algoritmo debe estar basado en la inteligencia artificial.

7) Análisis estadístico

Hay una variedad de técnicas estadísticas que son comunes en el G.I.S. Todas ellas son muy importantes y su valor se acentúa en el flujo de información en el G.I.S. Por eso, para asegurar la calidad durante el procesamiento o para resumir un conjunto de datos como relacionados, o para derivar nuevos datos durante el análisis, muchos procesos estadísticos son exigidos.

8) Modelización

No todos los G.I.S. poseen las funciones de modelización. Las operaciones booleanas y aritméticas pueden ser usadas para desarrollar una gran faja de modelos de aplicación.

Existen sistemas de modelización, desde aquellos que determinan la visibilidad hasta modelos de análisis de redes, transportes, clasificación y corrección de transformación atmosférica para los datos de sensoreamiento remoto.

Muchos G.I.S. poseen componentes necesarias para estimar un único modelo de costo de construcción como una función de localización. El costo del progreso en el lugar incluye construcción de carreteras de acceso, implantación de servicios (energía, agua, comunicación, etc.), adquisición de suelo y construcción de redes.

La clave para ese modelo es estar apto para describir matemáticamente el costo del componente como una única función de localización.



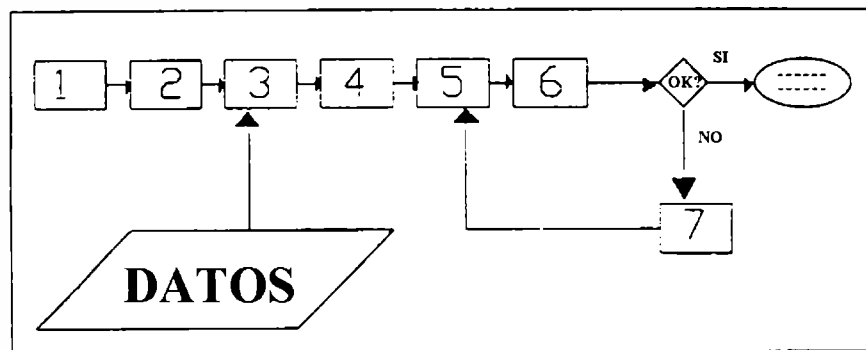
2.9.5 Metodología en el análisis espacial

2.9.5.1 Procedimientos típicos del análisis

El procedimiento incluye las siguientes etapas:

1. Determinar preguntas / definir objetos;
2. Identificar los datos requeridos;
3. Seleccionar los datos;
4. Determinar criterios, técnicas y análisis;
5. Implementar las técnicas y los criterios;
6. Verificar y avalar los resultados;
7. Cambiar los criterios / técnicas y repetirlos.

La siguiente figura ilustra gráficamente la secuencia de etapas en el proceso de análisis.



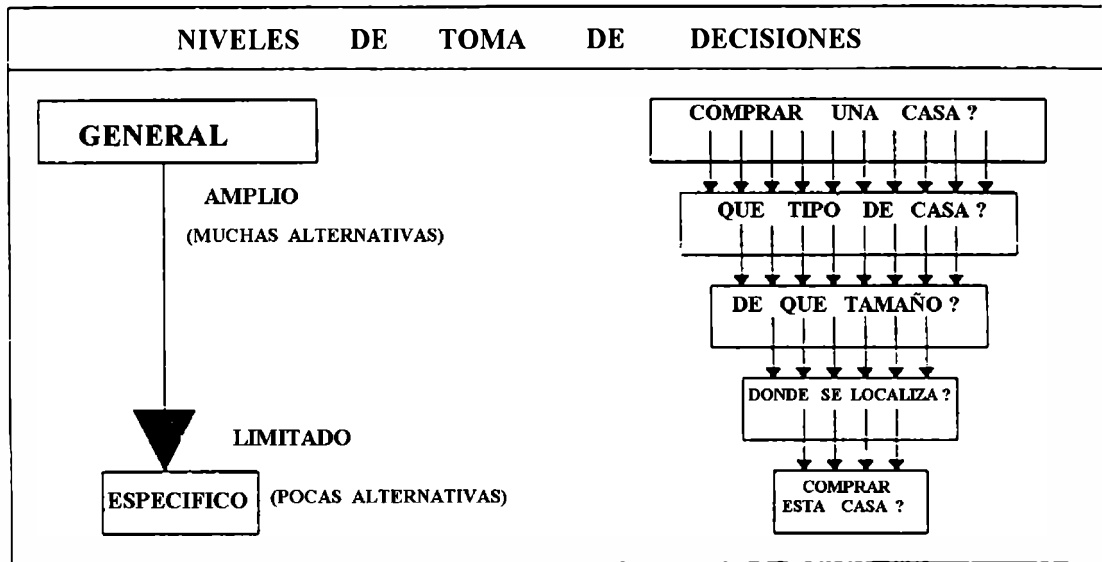
2.9.5.2 Detalle de las etapas en el análisis de datos

Se dará un esbozo de los posibles ítems que serán considerados en el proceso de análisis.

a) Definir los objetivos / propósitos:

- ✓ Respuestas y preguntas específicas;
- ✓ Caracterización mejor (entendimiento) del fenómeno;
- ✓ Soporte en la toma de decisiones.

La figura siguiente ilustra los niveles posibles en el proceso de la toma de decisiones.



b) Aplicar las escalas de medida

√ Nominal (descriptiva)

Tipo de suelo	-Arcilloso -Fluvial -Volcánico
---------------	--------------------------------------

√ Ordinal (implica orden)

Desarrollo de capacidad	10 Alta 6 Moderada 2 Baja
-------------------------	---------------------------------

√ Intervalos (valores específicos)

Temperatura media	12,8 °C 22,5 °C 15,7 °C
-------------------	-------------------------------

√ Razón (valores tomados con base cero)

Período de Infiltración	2,98 mm/hora 3,99 mm/hora 1,85 mm/hora
-------------------------	--



c) Usar técnicas analíticas (operaciones basadas en las escalas de medidas)

d) Efectuar la selección espacial

En esta etapa es importante llevar en cuenta los siguientes tópicos:

Propósito Limitar el número de elementos que serán procesados o visualizados en análisis posteriores;

Cómo Identificando aquellos elementos que caen dentro de un criterio definido (ecuación) y copiándolos a una cobertura diferente;

Porqué Para que el sistema sea más eficiente con el manejo de menos datos, de tal forma que el menor tiempo sea utilizado para procesar o visualizar diferentes funciones.

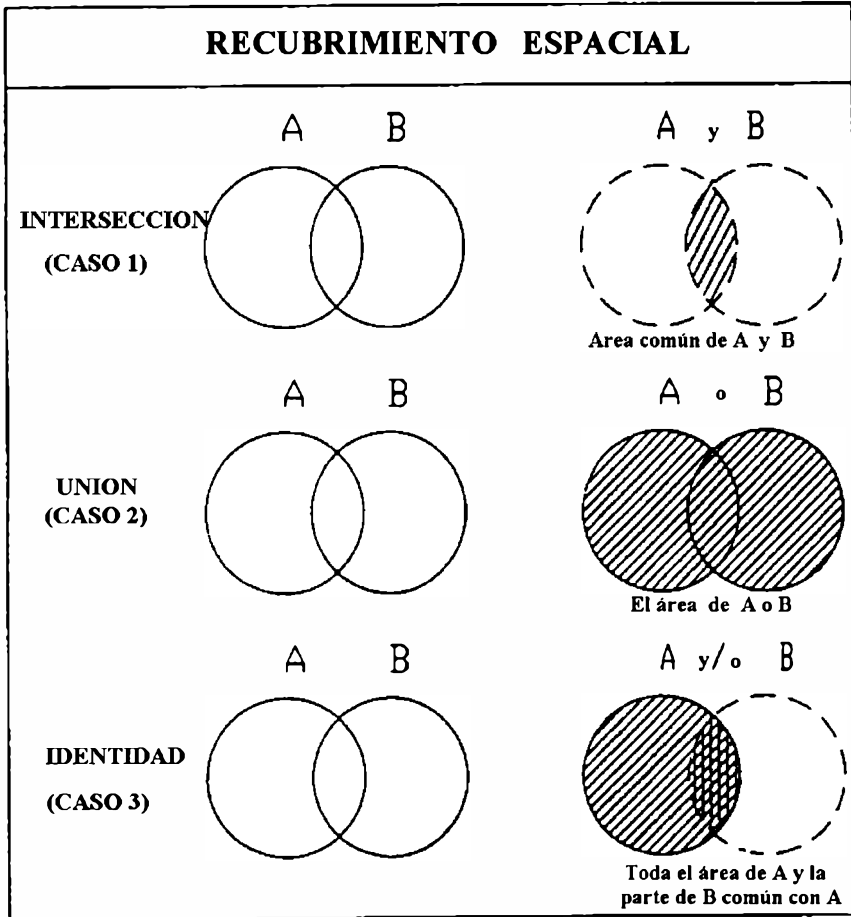
Procedimiento A través de comandos específicos como el RESELECT del ARC/INFO:

e) Efectuar la selección de los archivos

- √ Debe ser aquel archivo que almacena los elementos seleccionados;
- √ Este archivo fue creado anteriormente a partir de algunas capas;

f) Ejecutar los recubrimientos espaciales

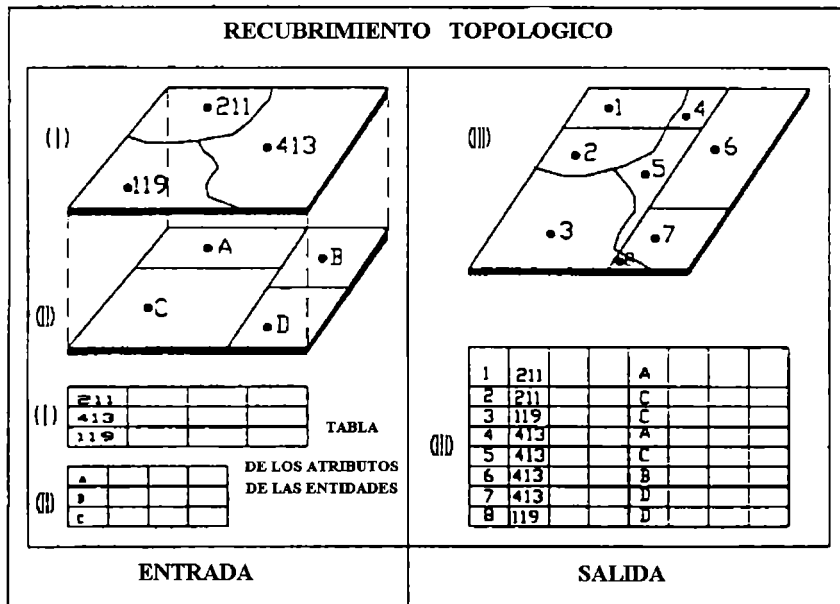
Aplicando las operaciones Booleanas, resulta en diversos casos como se muestra en la figura siguiente:



- ✓ La **intersección** combina los elementos de ambas coberturas que son comunes a la extensión geográfica espacial de las dos coberturas.
- ✓ La **unión** combina todos los elementos siempre y cuando ellos caen dentro de la extensión geográfica espacial de cualquiera de las coberturas.
- ✓ La **identidad** combina todos los elementos de la cobertura A con aquellos de la cobertura B, en cualquier parte que esos elementos caigan dentro de la extensión geográfica espacial de la cobertura B.

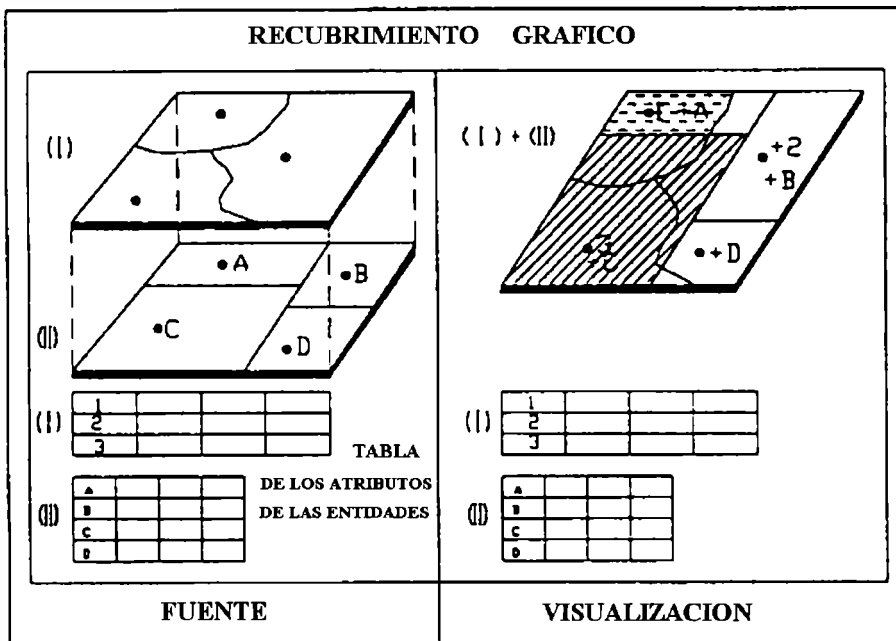
g) Efectuar el recubrimiento compuesto o topológico

La próxima figura demuestra el proceso de recubrimiento topológico de los datos espaciales.



h) Ejecutar el recubrimiento geográfico

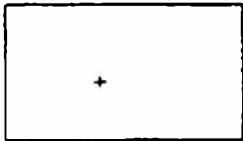
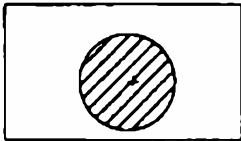

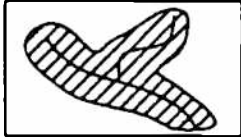
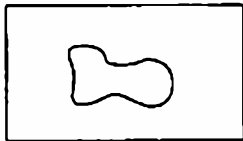
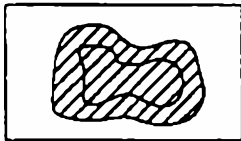
La figura siguiente demuestra el proceso de recubrimiento gráfico de los datos espaciales.



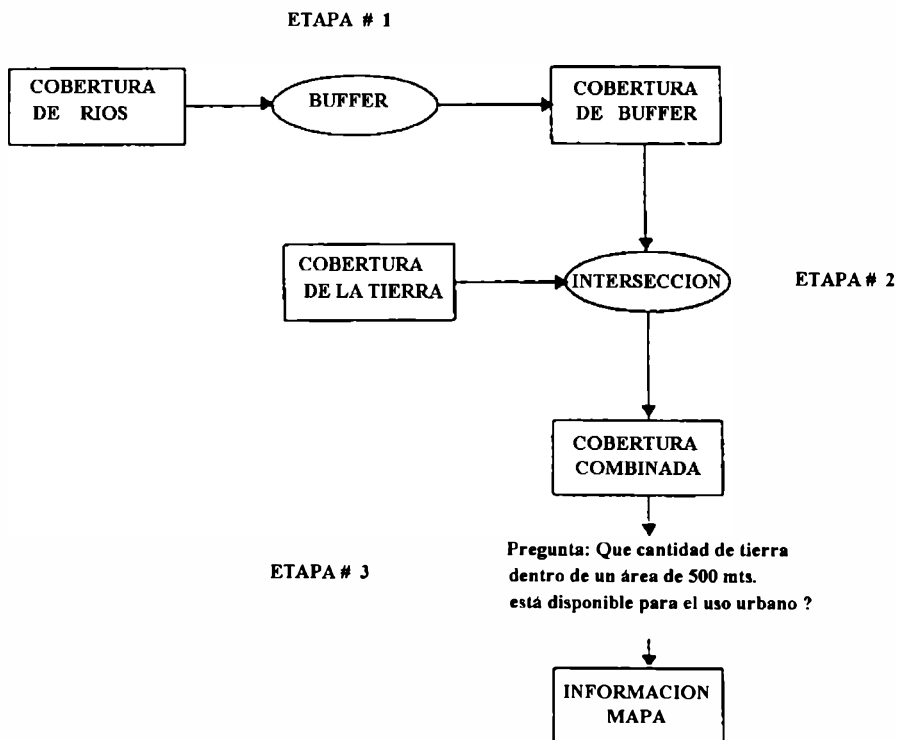
i) Ejecutar el análisis de proximidad

1) Se delimitan las áreas de influencia (Zonas / Buffer). Para cada entidad geográfica, existe a cierta distancia de la entidad, un área de influencia. La siguiente figura ilustra este concepto:



CONCEPTO DE BUFFER (Áreas de influencia)	
COBERTURA - ENTIDAD	COBERTURA - BUFFER
 <p>PUNTO</p>	
 <p>LINEA</p>	
 <p>POLIGONO</p>	
ENTRADA	SALIDA

2) Se usan los resultados del área de influencia como paso intermedio en el proceso del análisis de proximidad:





3) Se busca cuán distante está, de un elemento destino :1) el elemento más próximo; o 2) todos los elementos.

En esas operaciones, hay comandos (como NEAR) que:

- ✓ Calculan y almacenan la distancia de cada punto de la cobertura (1) a la línea y al nodo más próximo de la cobertura (2), siempre que los elementos de la cobertura (2) se encontraran dentro del radio especificado;
- ✓ Adiciona ítems nuevos al archivo en la cobertura (1), conteniendo los números internos de los elementos más próximos y sus distancias.

También, hay comandos (como el POINTDISTANCE) que:

- ✓ Calculan la distancia de cada punto, en una cobertura, para todos los puntos de una segunda cobertura que estén dentro de un radio especificado (search radius);
- ✓ Crea un archivo descriptivo (tabla) nuevo, donde se registran (o almacenan) los números internos y sus distancias;
- ✓ Relaciona las distancias a cualquiera de las coberturas, tomando como ítem común los números enteros de los elementos.

2.9.6 Concepto de modelo en G.I.S.

2.9.6.1 Naturaleza de los modelos

Hay muchas definiciones, significados y sentencias para la palabra "modelo". Ella podrá ser una representación ideal o simple de muchas formas complejas, de fenómenos, o ideas, o una sistematización consistente del entendimiento de un fenómeno y de los hechos concernientes a ese fenómeno. Términos como principio, teoría, hipótesis, ley, explicación y analogía son casos especiales del término modelo y pueden ser usados para ilustrar su significado, la naturaleza fundamental es el nivel de confianza y confianza en el modelo.

Un modelo puede ser una teoría, una ley, una hipótesis o una idea estructurada. Puede ser una función, una relación o una ecuación. Puede ser una síntesis de datos. Desde el punto de vista geográfico, es importante la inclusión de argumentos sobre el mundo real por medio de translaciones en el espacio (para dar modelos espaciales) o en el tiempo (para dar modelos históricos).

En ese contexto, modelo es una descripción, una colección de datos estadísticos o es una analogía usada para auxiliar una visualización, de manera simple, de algo que no puede ser observado directamente. Modelo es una herramienta del G.I.S. para describir la distribución espacial de los fenómenos naturales o sociales. En verdad, es una combinación de expresiones lógicas, procedimientos analíticos y criterios que son aplicados a un conjunto de datos, con el propósito de simular un proceso, predecir un evento o caracterizar un fenómeno.



2.9.6.2 La necesidad de desarrollar un modelo

La reacción tradicional del hombre a la complejidad aparente del mundo real ha sido la de hacer para sí mismo un cuadro simplificado e inteligente del mundo. La mente descompone el mundo real en una serie de sistemas simplificados y obtiene así "una visualización de las características esenciales de un dominio". Esta simplificación exige creatividad tanto sensorial como intelectual. Las afirmaciones simplificadas de esta interdependencia estructural fueron denominadas "modelos". Un modelo es, así, una estructuración simplificada de la realidad que presenta supuestamente características o relaciones en forma generalizada. Los modelos son aproximaciones altamente subjetivas en el sentido de no incluir todas las observaciones y mediciones asociadas, pero, como tales, son valiosos en ocultar detalles secundarios y permitir el apareamiento de los aspectos fundamentales de la realidad. Esta selectividad significa que los modelos tienen grados variables de probabilidad y un alcance limitado de condiciones sobre las cuales se aplican. En efecto, el valor de un modelo está directamente relacionado a su nivel de abstracción.

Hay muchas razones para desarrollar un modelo en el campo científico. Entre las más importantes tenemos:

- a) Mejorar el entendimiento y explicar por qué observamos y qué observamos. Las mediciones son apenas datos; es el modelo el que convierte esos datos para el conocimiento científico. Los modelos también permiten interpretar datos, identificar causas en potencial de los datos anormales, identificar relaciones entre las variables combinadas, contribuir en el entendimiento de las cuestiones sin respuesta y proveer resultados de cuentas intuitivas;
- b) Identificar mediciones que permitan mayor remuneración. Eso es hecho a través del análisis sensitivo y por la exploración de los parámetros espaciales a través de las simulaciones de modelos;
- c) Minimizar el número de mediciones y los errores en las mediciones. Eso es realizado utilizando modelos para interpolar y extrapolar las mediciones en el parámetro espacio. Esas extensiones de las mediciones pueden también ser usadas para controlar y predecir los eventos o fenómenos que están siendo modelados;
- d) Descubrir nuevos conceptos e introducir nuevas técnicas.

También se puede considerar un modelo a una representación o abstracción de un sistema o proceso, y su construcción nos ayuda a:

- ✓ Definir los problemas;
- ✓ Organizar las ideas;
- ✓ Entender los datos;
- ✓ Comunicar y testear aquellos entendimientos; y
- ✓ Realizar predicciones.

Un modelo es, por eso, una herramienta intelectual.

La percepción de las personas acerca del modelo y modelamiento es diferente y depende de los tipos de problemas que se encaran normalmente y, consecuentemente de los tipos de herramientas que esas personas usan. Hay una marcada diferencia, por



ejemplo, entre la tentativa de predecir el clima para la próxima semana y el dibujo de la trayectoria de un cohete hacia la luna. Esas diferencias son reflejadas en la elección de los modelos y en la forma de usos de ellos.

2.9.6.3 Características de los modelos

El término modelo es empleado con acepciones diferentes: sustantivo, sugiriendo una representación; adjetivo, sugiriendo un grado de perfección; verbo, sugiriendo demostrar o mostrar como es alguna cosa. De hecho, los modelos poseen todas esas propiedades y las siguientes características fundamentales:

- a) **Selectividad** - característica cuya construcción implica una actitud altamente selectiva en relación a las informaciones. Los modelos son considerados como aproximaciones selectivas que, por la eliminación de detalles accidentales, permiten el apareamiento de algunos aspectos fundamentales, relevantes o interesantes del mundo real, en alguna forma generalizada. Así, los modelos pueden ser considerados como fotografías selectivas y como "una descripción directa de las características lógicas de nuestro conocimiento del mundo real, revelando que cada fotografía da una importancia indebida a algunos aspectos de nuestro conocimiento y oculta y distorsiona otros aspectos que fotografías antagónicas destacan. Cada una de ellas dirige una luz tan brillante sobre una parte de la escena que oculta las otras partes en una sombra.
- b) **Estructuración** - característica particular de los modelos, pues ellos son estructurados, permitiendo que los aspectos importantes seleccionados de la "trama de la realidad" sean explorados en términos de sus relaciones. Es interesante notar que muchas veces lo que es denominado como modelo por los lógicos, es llamado "estructura" por los economistas y topología por los matemáticos.
- c) **Sugestividad** - aspecto del modelo que lleva inmediatamente a su naturaleza **sugestiva**, en el sentido de que un modelo de suceso contiene sugerencias para su propia extensión y generalización. Esto significa, primeramente, que toda estructura del modelo tiene mayores contradicciones que el estudio de sus partes individuales y, segundo, que por el modelo pueden ser hechas previsiones y simulaciones del mundo real. Se considera un buen modelo como experimentalmente fértil, sugiriendo otras preguntas, elevándonos del fenómeno por el cual comenzamos, y desafiándonos a formular hipótesis. El "control intuitivo" de las posibilidades e implicaciones de un modelo es, así, la clave para la exploración de su carácter sugestivo.
- d) **Proximidad** - la selectividad significa que los modelos son diferentes de la realidad en el sentido de ser **aproximaciones** de ella. Un modelo debe ser bastante simple para manipulación y comprensión de sus usuarios, bastante representativo en el alcance total de las implicaciones que pueda tener, aunque bastante complejo para representar con precisión el sistema en estudio.
- e) **Analógico** - por ser los modelos diferentes del mundo real, son entonces analogías. El uso de modelos sólidos es un ejemplo obvio del objetivo general



del constructor de modelos para reformular algunos aspectos del mundo real en una forma más familiar, simplificada, accesible, observable, fácilmente formulada o controlable, de la cual se pueda obtener conclusiones que, por su vez, puedan ser reaplicadas al mundo real.

2.9.6.4 Funciones de los modelos

Los modelos son necesarios, por constituir una parte entre los niveles de la observación y el teórico y tratan de la simplificación, reducción, concretización, experimentación, acción, extensión, globalización, explicación y formación de la teoría. Entre las funciones principales tenemos:

1. Psicológica ya que permite que ciertos grupos de fenómenos puedan ser visualizados y comprendidos lo que de otra forma no sería posible debido a su magnitud y complejidad;
2. Adquisitiva en el sentido de que el modelo proporciona una estructura por la cual la información puede ser definida, coleccionada y ordenada;
3. Organizativa es el punto fuerte de la organización de los datos, permitiendo la extracción de la cantidad máxima de informaciones de los datos, por ejemplo, los "modelos estadísticos"
4. Lógica ayudan a explicar cómo ocurren determinados fenómenos. La pregunta sobre lo que constituye una explicación satisfactoria es compleja, pero colocándola en términos de modelo: la explicación consiste en reducir sistemas complicados a sistemas más simples, de tal forma que distinguimos en los sistemas complicados, la influencia mutua de elementos tan familiares que los aceptamos dispensando explicación;
5. Normativa función que permite comparar ciertos fenómenos con otros más familiares;
6. Sistemática la función sistemática de la construcción de modelos permite que la realidad sea vista en términos de sistemas interligados, de tal forma que una opinión de la historia de la ciencia sea representada en la construcción de una sucesión de modelos por los cuales los sistemas serán explorados y testeados;
7. Constructiva la función sistemática lleva a la función constructiva de los modelos en el sentido de que ellos forman grados (peldaños) para la construcción de teorías y leyes. Los modelos y teorías están ligados mucho íntimamente, difiriendo apenas, o tal vez, por el grado de probabilidad con que pueden prever la realidad. Los términos "verdadero" o "falso" no pueden en general ser aplicados para avalar los modelos, entretanto, deben ser sustituidos por otros como "apropiado", "estimulante" o "significativo". Las leyes son afirmaciones de probabilidad muy alta y, como tal, todas las leyes son modelos, pero no todos los modelos son leyes;
8. Parentesco esta función promueve la comunicación de las ideas científicas. Esta comunicación "no es una cuestión meramente de la sociología de la ciencia, pero si intrínseca a su lógica; como en el arte, la idea no representa nada hasta que hayamos encontrado la expresión".



2.9.6.5 Tipos de modelos

Hay muchos tipos de modelos, diferenciados por sus formas, contenidos y complejidades. Los **modelos verbales, descriptivos y cualitativos** son extremadamente simples. Los **modelos matemáticos** cuantifican la calidad del modelo a través de las relaciones matemáticas. Los **modelos físicos** capturan los procesos físicos involucrados en los fenómenos que están siendo modelados. Los **modelos abstractos**, como los mapas temáticos, ignoran los procesos físicos. Los **modelos causales** reflejan la causa y los efectos. Los **modelos correlativos** simplemente reflejan una correlación estadística (por ejemplo, entre los tipos de vegetación y de la asignatura espacial). En los **modelos determinísticos**, para un determinado conjunto de valores, para cualquier tiempo, los parámetros son determinados y bien definidos. Esos modelos son usados para sistemas donde el ambiente es correcto y bien definido. Por otro lado, los **modelos estocásticos** inician con incertezas y la acción de tales modelos no puede ser prevista exactamente. Esos modelos actúan con probabilidades especificadas por los parámetros y el sistema tomará valores seguros. Muchos sistemas biológicos tienen elementos estocásticos que influyen en su acción, y por eso, modelos estocásticos son más apropiados para tales sistemas. Los **modelos estáticos** representan la acción del sistema en un determinado tiempo; los **modelos dinámicos** representan la trayectoria seguida por el sistema en función del tiempo. En los **modelos isomórficos** hay una correspondencia uno por uno entre los elementos de un sistema que está siendo modelado. En los **modelos homomórficos** muchos elementos del sistema que está siendo modelado son integrados para tornar el modelo más simple y más manipulable para análisis detallados. Los **modelos de simulación basados en la computadora** se han tornado extremadamente populares en el campo del G.I.S. Esos modelos involucran la creación de un sistema artificial en la computadora que visualiza su acción tal cual está siendo modelada. Esos modelos presentan algunas ventajas:

- ✓ Permiten una experimentación controlada, donde muchos factores pueden ser considerados, muchos parámetros pueden ser manipulados, alternativas diseñadas pueden ser analizadas, y todo con poco o ningún disturbio del sistema real;
- ✓ Permiten la comprensión de la realidad del futuro en el tiempo presente;
- ✓ Proveen la introspección y esclarecen muchos de los fenómenos que están siendo modelados;
- ✓ Programas computacionales pueden servir como teorías de los fenómenos que están siendo estudiados y en algunos casos son resultados de tests y experiencias estrictamente teóricas.

2.9.6.6 Cómo desarrollar modelos

No hay un enfoque fácil o difícil o una lista de ingredientes para el desarrollo de modelos. Entretanto, a partir de algunas experiencias de modelización de sistemas de ingeniería, biología, química y física, se puede concluir que las siguientes etapas pueden auxiliar en el desarrollo de tales modelos:

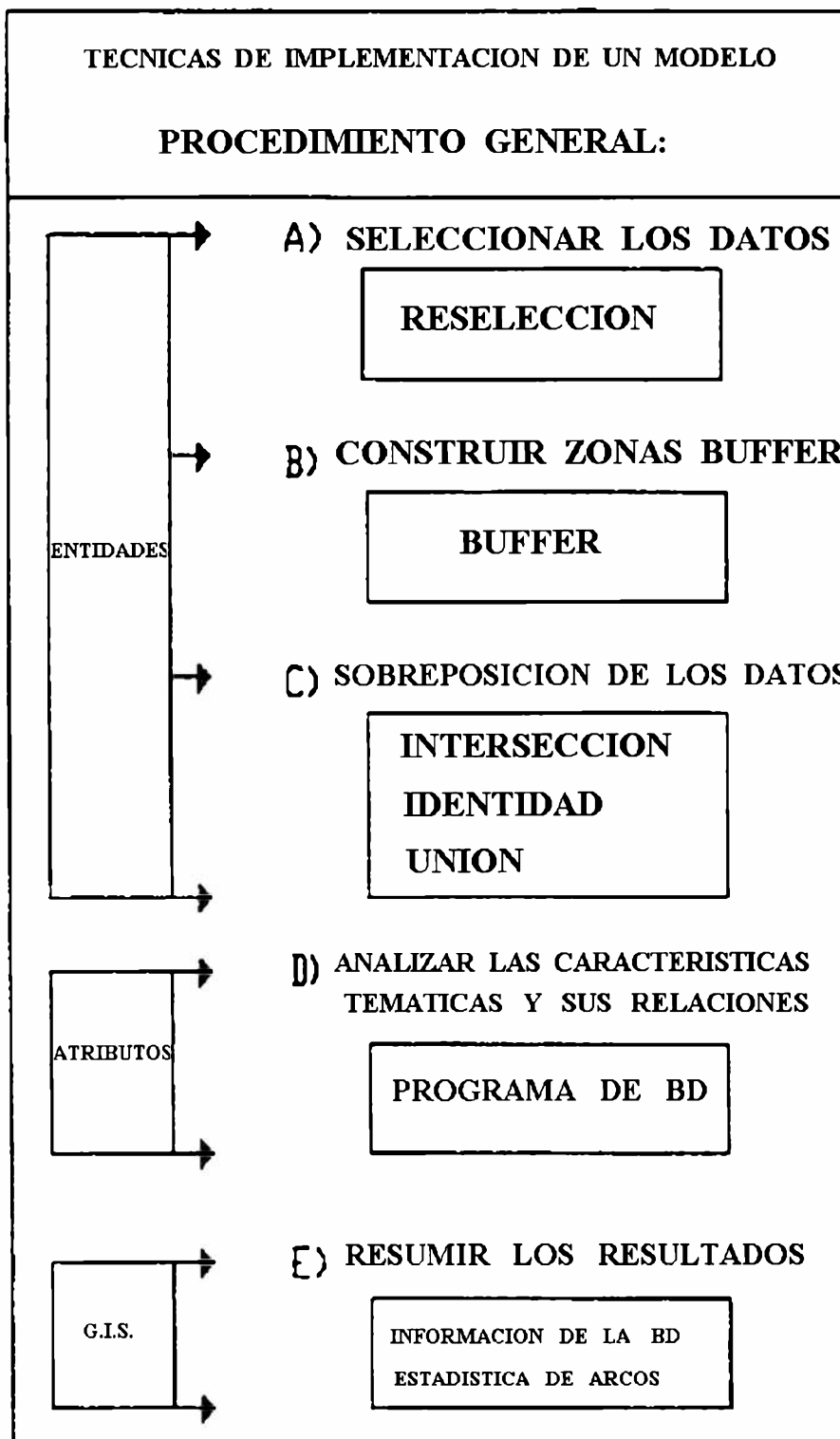


- Establecer el objetivo principal para el modelo. Un modelo que intenta explicar todos los aspectos de la biosfera será difícil de desarrollar, pues será muy complejo y no manejable. Alternativamente, un modelo con propósitos limitados será agradable para análisis detallados y minuciosos. Las etapas definen la estructura para el modelo en términos del nivel de detalle y la elección de la entrada y salida;
- Analizar las observaciones y los hechos conocidos acerca del sistema biosférico o fenómeno que está siendo modelado e identificar los posibles elementos (observaciones, mediciones, ideas) relacionados a los objetivos. Esta etapa identifica las relaciones funcionales (matemáticas) entre los varios parámetros del fenómeno;
- Estudiar los sistemas analógicos que tengan elementos comunes con el sistema biosférico o fenómeno que está siendo modelado. Esta etapa es generalmente muy útil en la identificación de una aproximación y de técnicas para el desarrollo del modelo;
- Desarrollar una hipótesis para explicar el fenómeno biosférico e incorporarlo en un modelo simple con tantos parámetros como sea posible, pero lo suficiente para incorporar los más importantes aspectos conocidos del fenómeno en estudio;
- Analizar este modelo simple tanto como sea posible por la comparación de sus predicciones con las mediciones. Esta es la etapa de validación del modelo y ella establece la propiedad de las descripciones matemáticas del modelo. Hacer el modelo más complejo sólo si el modelo simple no puede contener algunas de las observaciones.

Los métodos deben incrementar la complejidad del modelo, asegurando el entendimiento profundo de los principios básicos de la acción de los fenómenos. Otros métodos (como iniciar con modelos complejos) normalmente no permiten obtener ese entendimiento.

2.9.6.7 Como implementar un modelo

- a) Procedimiento general. La figura siguiente ilustra las técnicas para implementar un modelo.



b) Definición del tipo de modelo



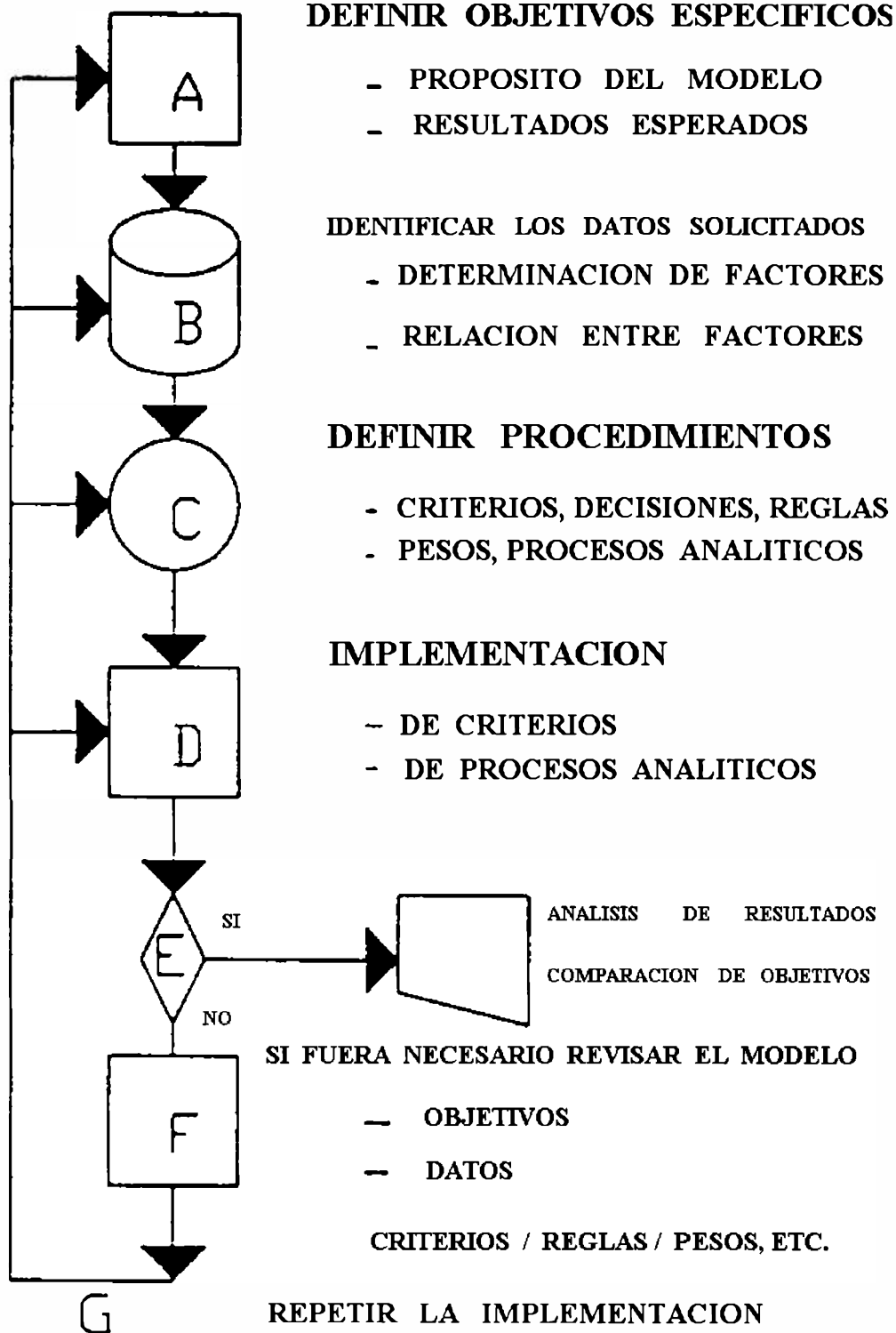
Los modelos pueden ser:

- De factibilidad: es un modelo de evaluación y clasificación basado en criterios definidos, que pueden ser:
 - Por la ponderación de variables - los resultados son derivados por la suma o por el producto de los pesos;
 - Por los criterios lógicos / toma de decisiones - los resultados son derivados de la combinación lógica de los datos, en función de los criterios y de las reglas establecidas.
- De predicción: es un modelo cuyo resultado está basado en la probabilidad de ocurrencias. Ellos pueden ser:
 - Determinativos - los resultados son pronósticos simples, derivados de la entrada de datos exactos;
 - Probabilísticos - asumiéndose que la hipótesis es verdadera, los resultados son pronosticados con base en las probabilidades estadísticas.
- De simulación: es un modelo de reproducción de un proceso sobre una variedad de condiciones.
- De optimización: es un modelo que permite seleccionar, a partir de un número de alternativas, la mejor solución. Pueden ser:
 - Exactos - cuando los resultados provienen de una simple selección, basada en los cálculos efectuados;
 - Heurísticos - cuando los resultados provienen de la selección de las mejores alternativas, considerándose todas las posibilidades.
- De influencia: es un modelo que identifica áreas o regiones afectadas por un fenómeno ocurrido en diferentes distancias de su origen.

c) Desarrollo del modelo. La figura siguiente describe el desarrollo de un modelo.



DESARROLLO DE UN MODELO





d) Ejemplo de implementación de un modelo

Tipo de modelo: de factibilidad (ponderación de variables)

Nombre: Modelo del potencial erosivo del suelo.

Procedimientos:

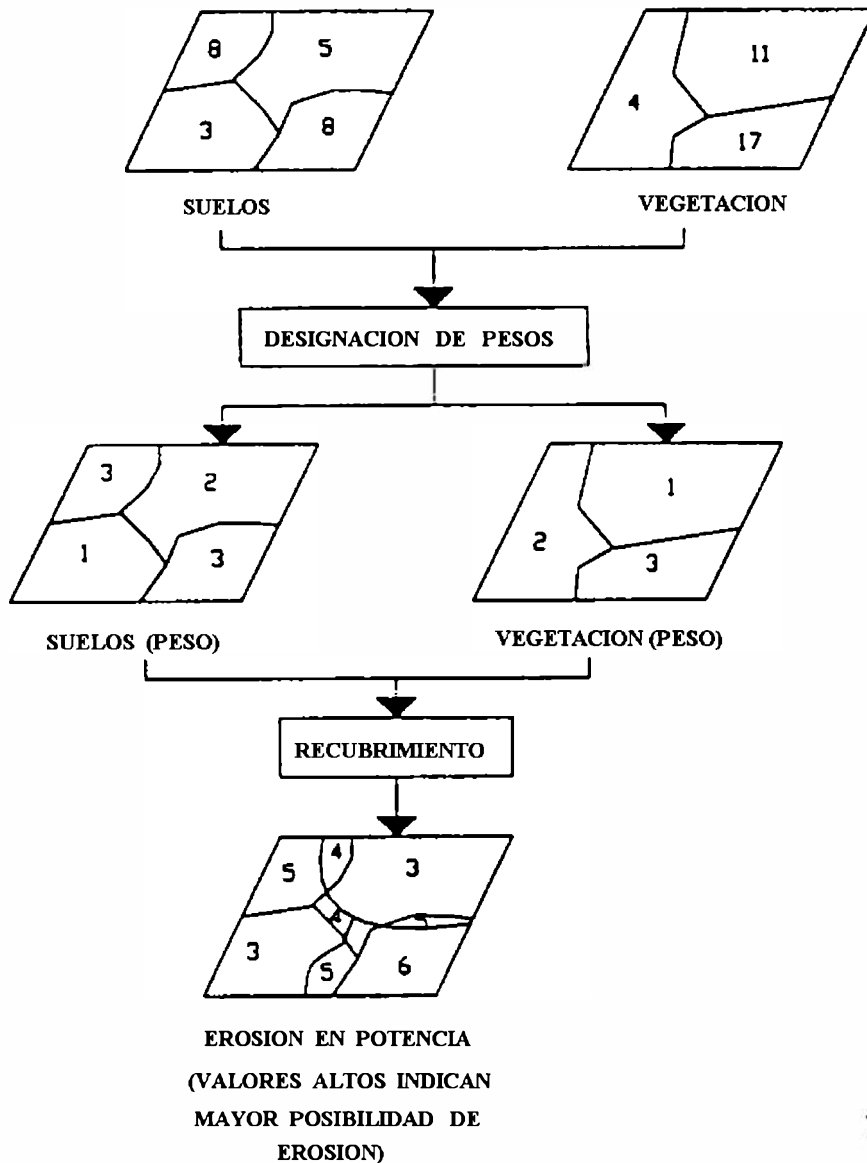
1) Determinación de las características

- a) Tipo de suelo (algunos tipos de suelos poseen alto grado de erosibilidad cuando son expuestos a una precipitación intensa);
- b) Tipo de vegetación (algunos tipos de vegetación protegen el suelo de la precipitación)

2) Definición del factor peso (valores altos reflejan alto grado de erosibilidad debido a la precipitación):

Características	Tipo	Descripción	Peso
Suelo	08	Arenoso	3
	05	Arcilloso	2
	03	Pedregoso	1
Vegetación	04	Arbusto	2
	11	Pasto	1
	17	Bosque	3

3) Implementación. La figura siguiente ejemplifica el proceso de modelar el eterno problema de erosión del suelo.



4) Programación de los atributos

- ✓ Se usa el DBMS del G.I.S.;
- ✓ Se usan DBMSs independientes (cuidando que el archivo creado sea compatible con la estructura o formato del G.I.S.)



2.9.7 Análisis estadístico en G.I.S.

2.9.7.1 Representación de los datos geográficos para la estadística

El problema de la representación de los datos estadísticos en el campo del G.I.S. implica la descripción de los aspectos descriptivos y del espacio geométrico de las informaciones, de modo de asegurar:

- a) Una fácil formulación de las preguntas estadísticas conteniendo referencias de los atributos geográficos de los datos;
- b) Una forma simple de combinar los datos estadísticos y sus referencias geográficas.

Toda aplicación de las técnicas de administración de la BD está relacionada a la representación de los datos estadísticos sobre la geografía, por ejemplo, la distribución espacial de las variables relacionadas a los fenómenos naturales y socio - económicos.

Normalmente, tales datos han sido capturados en diferentes niveles de agregación espacial, donde las bases de esas agregaciones fueron expresadas en términos de alguna jerarquía predefinida por el usuario, a través de una especificación directa (geométrica).

Usando un eficiente y poderoso modelo de representación de información geográfica y la relación geográfica entre los datos, es posible especificar agregaciones geográficas por medio de preguntas geográficas disponibles, involucrando relaciones geométrico - espaciales.

Descripción del problema y las soluciones usuales

En G.I.S.s, las entidades pueden ser organizadas en jerarquías administrativas y normalmente estas corresponden a las relaciones espaciales en ellas contenidas. La derivación de datos estadísticos es efectuada a través de preguntas que siguen estrictamente esa jerarquía administrativa.

Una alternativa y la manera más flexible es usar preguntas que envuelvan también la manipulación de relaciones geométrico - espaciales. Esta da la posibilidad de proceder siguiendo el contenido jerárquico espacial, y sobretodo, posibilita seguir la búsqueda de caminos asociativos que no tienen un contenido administrativo.

En tal estructura, el punto central es usar una representación de los aspectos geométricos y descriptivos de los datos geográficos que permitan manipular eficientemente las relaciones geométrico - espaciales. Eso involucra niveles de abstracción de representación. En el nivel **conceptual**, la estructura necesita de un modelo para describir de modo completo y sintético la dupla naturaleza de los datos geográficos. En el nivel **lógico** y **físico**, ella necesita de soluciones para una administración eficiente de los datos geográficos, que hacen lo posible para responder preguntas, involucrando tanto la geometría como la sistemática de los datos.

Varias aproximaciones han sido desarrolladas para el problema. Ellas pueden ser resumidas como sigue:

- 1) Informaciones geométricas, relativas a datos geográficos, son representadas fuera de la información descriptiva (facilitando el camino de acceso geométrico para datos) y referencias cruzadas son adicionadas para permitir una unión entre



los dos aspectos. Un avance reciente en esa dirección es el **modelado orientado por objeto**, el cual junta los dos aspectos de información geográfica, para asumir que datos geográficos son casos de clases disponibles y útiles para representar tanto las relaciones geométrico - espaciales como las descriptivas.

2) Informaciones geométricas son representadas, como una información descriptiva, en términos del **modelo relacional**: este indica una baja eficiencia desde el punto de vista de tratamiento de preguntas geométrico - espaciales. Variaciones sobre este asunto incluyen la **modelización de los datos espaciales como entidades continuas**. Tales entidades son entonces "absorbidas" en un discreto DBMS que considera el tema de la discretización.

En los ítems siguientes, se presenta un metaesquema conceptual para datos geográficos y se da un ejemplo de aplicación de tales modelos en el nivel de esquema.

Necesidad de un metaesquema conceptual para los datos geográficos

Los datos geográficos pueden ser clasificados en dos niveles de abstracción. En el nivel más bajo, se tiene la abstracción de grupos de datos geográficos como **clases**, cuyos elementos tienen propiedades comunes (por ejemplo, la clase "Ciudad" como abstracción de Roma, San Pablo, Buenos Aires, etc.). En el nivel más alto, se tiene la abstracción de clases de grupos con propiedades comunes como **metaclase** (por ejemplo, la metaclase de entidad geográfica como abstracción de las clases "Ciudad", "País", "Río", etc.).

En el nivel de metaesquema, los datos geográficos pueden ser clasificados, de una forma grosera, a través de 3 metaclases, llevando en cuenta la naturaleza descriptiva de la información, la naturaleza geométrico - espacial de la información y la relación entre esos dos aspectos.

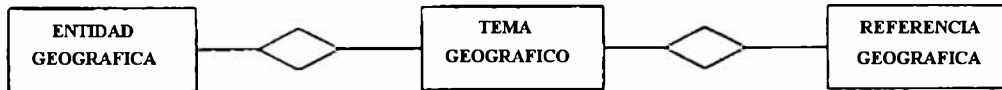
De manera más precisa, se pueden identificar tres metaclases:

a) Entidad geográfica esta metaclase representa la abstracción de todas las formas posibles de clasificación de datos geográficos conforme a su naturaleza descriptiva;

b) Referencia geométrica esta metaclase representa la abstracción de todas las referencias geométrico - espaciales posibles, las cuales pueden ser asociadas a los datos geográficos;

c) Tema geográfico esta metaclase representa la abstracción de todas las relaciones posibles que aseguren, para un determinado dato geográfico, sus aspectos descriptivos y geométricos.

En la figura siguiente, se representan tales entidades y las asociaciones entre ellas es dada usando el formalismo gráfico del diagrama de E - R (este es el primer diagrama del metaesquema para datos geográficos).



1) Entidad geográfica

Esta metaclase es una unidad muy general y un análisis profundo nos lleva a dividirla en dos partes. La clave para tal división es la posibilidad de identificar ejemplos de datos geográficos por su propio nombre o no.

La abstracción de todas las clases que representan ejemplos de datos gráficos identificables por su propio nombre, será llamada **elemento geográfico**. Un ejemplo de esta metaclase es la clase "ciudad" con valor "Buenos Aires", "San Pablo", etc.

La segunda metaclase es la abstracción de todas las clases que representan ejemplos de datos geográficos no identificables por su propio nombre. Tales datos geográficos corresponden a valores de cualidades distribuidas sobre el suelo. Se puede llamar esta metaclase de **propiedades geográficas**. Un ejemplo de esta metaclase es la "clase alta" con valor "0 - 100", "101 - 200", "201 - 300", etc.

Se nota que en la distribución entre **elemento geográfico** y **propiedad geográfica** es necesaria la representación de una cualidad distribuida sobre el suelo, sin necesariamente considerar la asociación entre puntos del suelo y valores de la cualidad, pero llevando en cuenta solamente el ajuste de valores asumidos por tales cualidades. Entonces:

- a) Elemento geográfico: esta metaclase es la abstracción de todas las clases cuyos ejemplos son objetos identificables a través de sus nombres. Claramente, vienen a ser cada clase de grupos de objetos de los fenómenos naturales del punto de vista descriptivo. Algunas de estas clases pueden referirse a tipos de corporaciones administrativas (por ejemplo, "País", "Estado", "Región Militar", etc.), y algunos tipos de entidades físicas (por ejemplo, "Río", "Lago", "Montaña").

En cada esquema de la BD geográfica, es muy común que, entre clases de esta metaclase, haya asociaciones de varias claves. Un ejemplo, es la asociación "Lago - municipio" que relaciona cada lago con el país o municipio. Además un tipo especial de asociación es un valor único representado por la agregación de asociaciones: ellas relacionan la clase en una jerarquía administrativa o física con clases subordinadas y viceversa. Ejemplo: la asociación "Municipio - Estado", que relaciona un estado con todos los municipios en él involucrados, y la asociación "Río - Cuenca Hidrográfica", que relaciona una cuenca hidrográfica con todos sus ríos.

Como consecuencia, en el metaesquema es necesario introducir además de las dos metaclases, la asociación y agregación de elementos geográficos para representar la abstracción de los dos tipos de asociaciones descriptos arriba.

Como es usual, cada clase es caracterizada por un cierto conjunto de atributos, uno o más, los cuales son claves para identificación de ejemplos de clases. Por eso, es necesario adicionar una metaclase **atributo**, que representa la abstracción de todos los posibles atributos de la clase, y una metaclase



"atributo clave", en el subconjunto jerárquico con atributo que modela esos atributos claves.

- b) Propiedad geográfica: esta metaclase es la abstracción de todas las clases cuyos ítems son valores cuantitativos (normalmente recolectados sobre un elemento predefinido de la porción del suelo). Obviamente, cada valor de grupos de clases se refiere a la misma cantidad. Algunas clases pueden referirse a tipos de cantidades distribuidas sobre el suelo de una manera continua (por ejemplo, "suelo superior", "declive del suelo"), otras a tipos de cantidades que son mostradas y distribuidas en una forma discreta (por ejemplo, "población", "residencias", etc.).

Algunas de las clases de esta metaclase pueden estar presentes en el esquema también como atributos de clases de elementos geográficos, dependiendo de como sus ítems hayan sido recolectados. Por ejemplo, la propiedad que representa la media de los suelos superiores de una región, cuando el dato acerca del suelo superior ha sido recolectado como un atributo de la clase "estado" (porque en este caso, la altura es considerada como una propiedad de estado). Contrariamente, si el dato acerca del suelo superior ha sido obtenido, directamente o a través de algún cálculo, a partir de levantamientos directos, el "suelo superior" será una clase por sí misma (porque en este caso, la altura es considerada como una propiedad de los puntos del suelo). Ciertamente, si el mismo concepto estuviera presente en el esquema sobre las dos estructuras, temas consistentes pueden aparecer, que deben ser controlados por el administrador de la BD.

Para considerar la asociación entre clases de esta metaclase, no hay una clave de agregación. Por eso es necesario introducir en el metaesquema, solamente la metaclase de **Asociación de Propiedad Geográfica**, que representa la abstracción de todas las asociaciones entre tipos de metaclase de **Propiedad Geográfica**.

Es notorio que las guías de la clase en la propiedad geográfica no tengan atributos y sean identificadas a través de ellas mismas. Por eso, no es necesario introducirlas en la metaclase del metaesquema como realmente está presente en la metaclase clave - atributo.

2) Referencia geométrica

Se define esta metaclase como la abstracción de todos los posibles medios para dar una referencia geométrica espacial a los datos geográficos. En principio, esta es una definición ambiciosa, pero en la práctica, si nos restringimos, como ocurre en la cartografía, para la representación de la información con una geometría bidimensional, los tipos de esta metaclase serán representados por los conceptos usuales de Punto, Curva y Región. Por eso, las clases en esta metaclase serán "Punto", "Curva" y "Región".

Se nota que nuestra finalidad es solamente el modelamiento a nivel conceptual de las relaciones topológicas entre las entidades geográficas. La consecuencia más importante de esta aproximación es administrar el aspecto métrico de la información geográfica en el nivel conceptual.



El tema central de la modelización de la referencia geométrico - espacial es que, no obliga a contabilizar el conjunto R de los números reales, pues clases de "Puntos", "Curvas" y "Regiones" son incontables en sí mismas. Así, casos de tales clases no pueden tener un identificador asociado, definido como una secuencia finita de caracteres a partir del alfabeto finito.

Cada entidad debe tener un identificador asociado a ella, de modo que sea identificada solamente como entidad. Presuponiendo tres referencias dadas a las entidades de clases: "Punto", "Curva" y "Región", será posible conocer si ellas se referencian a la misma entidad.

Así, no estamos interesados en la administración directa de la entidad de clase "Punto", "Curva" y "Región", pero, administrar las referencias para que ellas sean introducidas por las descripciones geométricas de la información geográfica.

La clave para identificar los casos de clases "Punto", "Curva" y "Región" son las clases entre sí mismas, en el sentido de poder asumir la existencia de una identidad procurada (A, B), lo cual dará dos referencias A y B para casos de la misma clase, eso es verdad si solamente A y B se refieren a una misma circunstancia. Se nota que todas las circunstancias posibles de la clase "Punto", "Curva" y "Región" están implícitamente presentes en cada esquema. Esta suposición está fundamentada, en este caso, en una pregunta posible para especificar de modo arbitrario la descripción geométrica de un objeto. Por eso, como en un modelo de clase de datos la evidencia de un objeto es hecha por la especificación de su nombre (que es su clave), en ese modelo necesita ser especificada la referencia para el objeto deseado.

La especificación de las condiciones dependientes de mediciones en la pregunta formulada es expresada, en un nivel conceptual, a través de la selección de casos disponibles de la clase de "Punto", "Curva" y "Región" y por la reducción de tales condiciones para un conjunto de las condiciones topológicas, representadas dentro del esquema por la asociación entre las clases "Punto", "Curva" y "Región". Conforme se ejecuta la selección de la entidad geométrica, debe ser posible especificar la referencia para la entidad deseada, tanto a través de la disponibilidad del formulario como por el ejemplo de las funciones analíticas, o por especificación gráfica directa. En un nivel lógico, esto puede ser realizado por una función definida (F, R), la cual, dada la descripción F (tanto por la función analítica como por el ejemplo) de una entidad geométrica, retorna la referencia R .

Se introduce entonces una metaclase denominada **asociación topológica**, que representa la abstracción de todas las posibles relaciones topológicas entre las clases "Punto", "Curva" y "Región". Ella evidencia solamente las relaciones topológicas que son necesarias para expresar preguntas dependientes de medidas que son las relaciones de intersección: entonces cada esquema incluye las relaciones "Punto - Línea - Int", "Punto - Región - Int", "Línea - Región - Int" y la relación reflexiva "Punto - punto - Int", "Línea - línea - Int" y "Región - región - Int".

En el nivel lógico, tales asociaciones no serán implementadas como tablas relacionales, sino a través de funciones disponibles, correspondientes a los accesos posibles para tales asociaciones. Tales funciones pueden ser fácilmente implementadas a través de las estructuras y algoritmos de datos geométricos computacionales. Ellas hacen la aproximación desde el punto de vista práctico, con base en la implementación física, obteniendo eficiencia.



3) Tema geográfico

La división de la metaclase Entidad Geográfica permite que la metaclase tema geográfico tenga una división analógica. Los Elementos Geográficos son abstracciones de todos las posibles relaciones que asocian ejemplos o casos de datos geográficos, identificables por el nombre o la referencia geométrico - espacial. Temas de Propiedades Geográficas son abstracciones de todas las posibles relaciones que asocian los tipos de datos geográficos a sus correspondientes valores cuantitativos para la referencia geométrica - espacial.

Cada relación se hace sobre un conjunto de pesos (R_j, V_j) tal que:

- ✓ R_j es una referencia para un punto, curva o región, que da la referencia geométrico - espacial para V_j ;
- ✓ V_j es un ejemplo del atributo - clave de una clase perteneciente a un elemento geográfico o a una propiedad geográfica.

Análisis cuantitativo de los datos geográficos

La realidad presenta un vasto panorama de informaciones aparentemente caóticas y desconectadas a partir de las cuales se manifiesta la necesidad de la utilización de técnicas estadísticas, para seleccionar y ordenar estas informaciones y tornarlas manipulables y comprensibles. Así, se puede afirmar que en los bancos de datos del G.I.S. existe abundancia de datos, siendo muy difícil, si no imposible, tratar conjuntos muy numerosos sin el empleo de técnicas cuantitativas, permitiendo la reducción de las informaciones a formas manejables e interpretables.

Conocida la naturaleza y la representación de los datos geográficos, hay necesidad de empleo de técnicas cuantitativas en las informaciones Geográficas, reforzadas por el carácter de lenguaje científico, interdisciplinar y universal que las mismas presentan. Así, por ejemplo, un índice de correlación $r = 0,9$ tiene el mismo sentido para cualquier investigador si él conoce la técnica de correlación, cualquiera que sea la disciplina que él practique.

Por eso, la importancia de la aproximación cuantitativa debe ser resaltada en la contribución que la misma ofrece a la aplicación del G.I.S. en la solución de problemas de diversas naturalezas, a través del ofrecimiento de eficientes modelos analíticos, predictivos y de planeamiento.

Descripción práctica de las escalas de medida

Las medidas típicas en el G.I.S. se refieren a las entidades u objetos de la superficie terrestre y a los aspectos de la interacción entre esas entidades geográficas. Es preciso resaltar, entretanto, que las medidas en el G.I.S. no son diferentes, en sí mismas, de las medidas hechas por los investigadores de otras disciplinas. Entendemos por medida la atribución de un número a atributos de una entidad o fenómeno geográfico según reglas definidas. El proceso de atribuir números a atributos de entidades forma la escala de medida

Tenemos cuatro maneras o niveles básicos de medida: nominal, ordinal, intervalo y razón. La primera manera es la más simple, la última la más compleja. Es importante definir los niveles de medida para las variables con que el investigador va a trabajar, porque las técnicas de análisis estadístico que pueden ser aplicadas a los datos



geográficos dependen de la escala de medida. Esta determinación del nivel debe ser hecha por el investigador que, en seguida, define una determinada técnica para sus datos.

1) Escala nominal

La escala nominal es el nivel más simple de las escalas de medida. Algunos autores colocan la escala nominal como un sistema simple de clasificación.

Esta escala es utilizada para clasificar entidades o fenómenos en términos de igualdad de sus atributos y los numera. De esta forma, la escala nominal es simplemente un recurso para clasificar y rotular o dar nombres a objetos o conjuntos de objetos.

La forma más simple de medición nominal es la división en dos clases, que son identificadas con los números cero y uno. En G.I.S., se aplica con frecuencia este tipo de medidas, generalmente en términos de presencia o ausencia del hecho en el área estudiada.

Otra manera de utilización de la escala nominal es la de atribuir números secuenciales o letras a áreas o regiones, o nombres completos, como por ejemplo, región norte, región noroeste o región I, región II, etc.

Cada observación en la medición nominal pertenece a una sola clase, siendo las clases, por consecuencia, mutuamente exclusivas. También es preciso notar que las operaciones aritméticas comunes de adición y multiplicación no pueden ser aplicadas a las mediciones nominales, pero es posible extraer otras informaciones numéricas como las operaciones de conteo simples.

2) Escala ordinal

Esta escala es utilizada cuando los fenómenos o atributos pueden ser arreglados siguiendo un orden o criterio, tal como grandeza, preferencia, importancia o distancia. Así, las expresiones cualitativas son arregladas siguiendo un orden como, por ejemplo, la clasificación jerárquica de los niveles educacionales (primer grado, segundo grado, tercer grado) en una secuencia numérica como uno, dos, tres. Otro ejemplo sería la clasificación de los niveles de renta de una población, también siguiendo una secuencia numérica uno, dos, tres, cuatro, etc. En este caso no importa cuales números sean atribuidos a cada categoría, sino que se mantenga el orden. Si se atribuyen a las clases una secuencia numérica que respete reglas de ordenación trazadas "a priori", no habrá pérdida de informaciones. Así, por ejemplo, si en una escala de status socio - económica se obtienen tres clases: baja renta, media renta y renta alta, e indicamos con los números 1, 2 y 3 a cada clase, respectivamente, tendremos $1 < 2 < 3$. Esta relación permanecería inalterada si los números fueran 4, 5, 6.

Tenemos numerosos ejemplos del uso de esta escala en datos geográficos como la división de la población en clases sociales, la jerarquía urbana, la preferencia locacional y la escala de dureza de los minerales.

Esta forma de medida es solamente posible cuando se desarrolla una secuencia cualitativa en la cual es lógico colocar un hecho antes de otro. En la escala ordinal, las operaciones aritméticas también no deben ser hechas. Así, en una clasificación de hoteles, por ejemplo, en tres niveles jerárquicos, lujosos, medios y simples, no se puede decir que los hoteles lujosos sean dos veces mejores que los medios. Sabemos, por suposición, que los hoteles lujosos son de nivel jerárquico superior a los medios en



cuanto a una serie de características (confort y servicios), pero no tenemos medios para cuantificar esta diferencia en la escala ordinal.

3) Escala de intervalo

Esta escala se refiere a un nivel de medida en que la escala tiene todas las características de una escala ordinal, pero los intervalos entre los valores asociados son conocidos exactamente y así cada atributo puede recibir un valor numérico preciso.

La exactitud de cada intervalo sucesivo es constante como la numeración de los años, variación de altitudes a través de curvas de nivel y escalas de temperatura.

El punto cero de una escala de intervalo es arbitrario y no indica ausencia de la característica medida. La falta de un cero absoluto es una desventaja. Con esto, no es posible afirmar que una temperatura de 20 ° C es dos veces más que una de 10 ° C porque el 0 ° C es arbitrario.

La escala de intervalo es apropiada para operaciones de transformación lineal, es decir, podemos convertir ° C en ° Fahrenheit a través de la ecuación $^{\circ}F = 32 + 1,8^{\circ}C$. Cada transformación lineal preserva la información en el dato original. Transformaciones más complejas alteran las relaciones. Como vimos, no tiene sentido decir que la temperatura de 30 ° C sería dos veces más que la de 15 ° C. En el caso en que fuera posible, esto significa que 86 ° F (= 30 ° C) sería dos veces superior a 59 ° F (= 15 ° C).

Por otro lado la escala de intervalo se adapta a todas las operaciones aritméticas usuales desde que sea mantenido el orden de los objetos y las diferencias relativas entre ellos. La media y el desvío pueden ser calculados.

4) Escala de razón

Es la más precisa de todas las escalas y se refiere a un nivel de medida en que la escala tiene todas las características de una escala de intervalo, acrecentando que el punto cero es un origen verdadero, o sea, el cero indica la ausencia del fenómeno o atributo. Como ejemplo de esta escala podemos citar: escala métrica, edades y pesos de personas, distancia, producción, renta por cápita, área cultivada, capacidad, etc.

Los números asociados a la escala de razón son números verdaderos con cero verdadero o real, permitiendo, portanto, todas las operaciones posibles con números. La gran diferencia de esta escala con relación a la de intervalo, además del cero arbitrario, es la posibilidad que se pueda, en la escala de razón, calcular cualquier razón entre dos medidas o dos valores. Así, una densidad de cero personas/ km² quiere indicar que ninguna persona está en el área y una densidad de 30 personas quiere indicar tres veces más que 10 personas / km². O, que la razón $40/100 = 8/20 = 2/5$. O, ahora se puede decir que un intervalo es tres veces más que otro intervalo y también que el valor de una determinada posición es dos veces mayor que el mismo en otra posición.

Cualquiera de los tests estadísticos paramétricos o no paramétricos pueden ser utilizados con medidas en la escala de razón, si bien generalmente los tests no paramétricos reducen la información cuando requieren la transformación de medidas razón en medidas de intervalo u ordinal.

Finalmente, podemos decir que el conocimiento de las escalas de medida es muy importante en el momento de la aplicación de cuestionarios. Se deben elaborar las preguntas de tal manera que las respuestas sean dadas en la escala deseada. Normalmente podemos formular una pregunta de dos o tres maneras según la medición



escogida. Así, en un análisis, la información que queremos sobre el nivel escolar del jefe de familia puede resultar en las siguientes preguntas:

Escala nominal : El jefe de familia es alfabetizado? Si.....No.....

Escala ordinal : Cuál es el nivel escolar del jefe de familia? 1º grado...2º grado...3º grado.....

Escala de razón: Cuantos años frecuentó la escuela? Años.....

Es claro que la elección de la pregunta siguiendo la escala de medida, debe ser dedicada individualmente para cada pesquisa.

En la cartografía, la elección de los símbolos adecuados para el diseño del mapa depende de la escala de medida en que se encuentran los datos originales, o sea, la información que el mapa final provee varía con los niveles de medida. Siendo el punto, la línea y el área las tres formas básicas de entidades geográficas, podemos utilizarlas en los cuatro niveles de medición. La tabla que sigue da una visión global de las escalas de medición y sus aplicaciones, y la próxima figura provee ejemplos de las entidades cartográficas según las escalas de medición.

ESCALAS DE MEDICION	ENTIDADES CARTOGRAFICAS		
	PUNTOS	LINEAS	AREAS
NOMINAL	 H = HOSPITAL E = ESCUELA	 RUTAS AEREAS	 USO DE LA TIERRA
ORDINAL	PEQUEÑA MEDIA GRANDE AGLOMERACIONES	 CAMINOS CARRETERAS FERROVIAS VIAS	 ZONAS CLIMATICAS
INTERVALO	 TEMPERATURA MEDIA	 LATITUD / LONGITUD	 AÑO DE LA PLANTACION DE SOJA
RAZON	 POBLACION DE NUCLEOS URBANOS	 ISOIETAS	 DENSIDAD DE LA POBLACION



	Propiedades Formales	Aplicaciones	
		Geografía Física	Geografía Humana
Nominal	-Equivalencia de las clases(=)	-terreno sedimentar -terreno cristalino	-población urbana -población rural
Ordinal	-Relación de equivalencia intra clase -Relación de grandeza entre clases (>)	-ríos de 1°, 2°, 3° orden	-jerarquía urbana
Intervalo	-Relación de equivalencia intra clase -Relación de grandeza entre clases -Razón conocida entre 2 intervalos	-temperatura	-año de la instalación de la estación ferroviaria
Razón	-Relación de equivalencia intra clase -Relación de grandeza entre clases -Razón conocida entre 2 intervalos -Razón conocida entre dos valores cualquiera de la escala	-precipitaciones anuales (mm)	

Escalas de medición y sus aplicaciones

2.9.7.2 Análisis estadístico espacial y no espacial

Vimos que en el G.I.S., diversos tipos de datos proveen el material básico para el análisis. Así, la mayoría de los datos cuantitativos puede provenir de levantamientos elaborados por el propio investigador o de las estadísticas ya existentes. Una vez obtenidos los datos e identificadas las escalas de medición en que fueran registrados, se ordena o se arregla una gran cantidad de datos para tornarlos más fácilmente manejables y comprensibles.

Existen varias maneras de arreglo, ordenación o reducción del conjunto de informaciones para formas manejables, de tal manera que una comparación con otros datos sea posible. Eso puede ser hecho a través de tablas simples, distribuciones de frecuencia, representaciones gráficas (diagrama de dispersión, histogramas, polígonos de frecuencia, etc.) o a través de matrices geográficas. La elección de la técnica para el desarrollo de un trabajo científico dependerá básicamente de la naturaleza de los datos, del objetivo y de la profundidad del análisis.

Estadística no-espacial o descriptiva

La media, mediana y las varianzas de los valores de atributos de una capa (o área delimitada en una capa) son necesarias para variables continuas. Por ejemplo, conocer la elevación media de un área específica, o la varianza de la densidad de vegetación en el campo.

1) Conteo de frecuencias e histogramas

El histograma de un conjunto de datos nos provee la distribución de los valores de atributos en una región. Esos cálculos son directos en la estructura raster, ya que cada celda almacena informaciones de los atributos para un área predeterminada. Por otro lado, en la estructura vector se tiene la opción de usar el área de cada polígono para



evaluar apropiadamente el atributo, o alternativamente, basar el histograma en el análisis de polígono a polígono.

Cuentas de histogramas y frecuencias pueden ser extremadamente valorables como herramientas de visualización de datos y pueden auxiliarnos en la formulación de hipótesis durante el análisis. Los histogramas son útiles para examinar todos los tipos de variables.

2) Valores extremos

Es muy útil localizar los valores mínimos o máximos de atributos en un área especificada. Como ejemplo, tenemos en el conjunto de datos de una batimetría donde se pueden encontrar los valores de superficialidad y profundidad del cuerpo de agua. Esa información es vital durante el procesamiento, para asegurar que los valores que fueron introducidos en la BD sean razonables; ellas son rápidas para detectar algunos tipos de códigos y errores de transcripción.

3) Correlación y tablas de cruzamiento

En un análisis de correlación se desea comparar la distribución espacial de atributos en dos (o más) capas, especialmente para calcular el coeficiente de correlación o regresión lineal cuando se trabaja con variables de intervalo y razón.

Para variables nominales y ordinales, hay una tabla de cruzamiento que compara los atributos de dos capas por la determinación de la distribución del conjunto de los atributos.

Es común en el G.I.S. el uso de tablas bidimensionales:

Media de residencia por renta por cápita				
Rentas	< \$ 5.000	< \$ 12.000	< \$ 22.500	> \$ 22.500
Propietario	154	354	673	982
Inquilino	269	627	512	451

La tabla (que muestra la categoría de las variables) describe dos capas de informaciones demográficas, una relacionando la renta por cápita para residencia, y otra indicando el propietario de la casa. Está basada en categoría de datos: propietario de la residencia es nominal y renta por cápita es una variable de índice, que ha sido dividida en categorías y así aparece en este análisis como variable ordinal. Ese análisis específico puede ser usado para examinar si hay una relación entre el nivel de renta y la propiedad (de la residencia).

4) Medidas de tendencia central

Los métodos que resumen los datos en la forma de tablas como frecuencia, gráficos y matrices son útiles, particularmente en el inicio de una pesquisa, pero hay frecuentemente situaciones en que hay necesidad de expresar ese conjunto de datos de forma más precisa. Al resumir los datos, a través de la formación de clases, hay pérdida de información. No sabemos, por ejemplo, como es la distribución de los datos dentro de la clase, es decir, como esos datos se agrupan cerca del punto medio, del límite inferior o superior de la misma o como son distribuidos regularmente dentro de ella.



Si tenemos, por ejemplo, dos histogramas, podemos ver que ellos difieren entre sí, pero no podemos indicar, a través de un valor numérico, como ellos difieren. Así, para describir mejor una frecuencia de datos o la distribución de esa frecuencia, debemos encontrar algunas características dimensionales, llamadas parámetros. Para algunas distribuciones como la normal, dos parámetros sirven para hacer una buena descripción. Uno mide la tendencia central y el otro la dispersión.

Si observamos un conjunto de datos percibiremos que en casi todos los casos, los valores tienden a agruparse en torno de un valor central. Parece que ese valor central es común para el conjunto de datos y que él localiza el centro de la distribución.

Para datos geográficos tres tipos de medidas de tendencia central o medidas de posición son importantes: media aritmética, mediana y moda.

Las tres medidas de tendencia central son utilizadas en el G.I.S. La elección de una de ellas depende del conjunto de datos y también del objetivo de la investigación. Es importante conocer las ventajas y desventajas de cada una de estas medidas, para cada situación.

La moda indica lo que es común y frecuente, aunque de vez en cuando no sea fácil decir exactamente donde está la moda. También la clase modal varía en función de la selección de las clases. Así, la moda puede tender a ser una forma imprecisa del valor medio. Por otro lado, la moda no tiene realmente cualidades matemáticas. Entretanto, para la presentación de gráfica la moda es un método eficiente.

En la determinación de la mediana, cada ocurrencia tiene el mismo peso, tratándose tanto de un valor bajo como de un valor alto. Así, conjuntos bien diferentes pueden tener la misma mediana, como muestra el ejemplo siguiente, en los cuales la mediana es 300 (1, 5, 300, 800, 1000, 290, 295, 300, 301, 302). La mediana también no es realmente un valor matemático.

La media aritmética, por otro lado, es matemáticamente fundamentada. En el cálculo, cada ocurrencia tiene el peso según a su magnitud.

5) Medidas de variabilidad o dispersión

Para describir un conjunto de datos no basta indicar la tendencia central. Cuando se hace la comparación entre dos o más conjuntos de datos, puede suceder que los valores medios sean los mismos pero que la distribución varíe mucho: un conjunto puede tener los datos próximos a la media, y otro bien dispersos. Las medidas de la tendencia central describen sólo un aspecto de los datos, pero ellas no proveen informaciones sobre el grado de dispersión, o sea, el grado con que los datos tienden a dispersarse en torno de un valor central. De este modo, además de las medidas de tendencia central debemos conocer las medidas de dispersión, de variabilidad, o de variación, como son también llamadas.

Existen muchas medidas de dispersión. Las más comunes son la amplitud total, el desvío medio y el desvío patrón, siendo que la amplitud total es la medida más simple y elemental y el desvío patrón la más compleja. El investigador debe escoger la medida más adecuada para su análisis.

Estadística espacial

En las distribuciones estudiadas hasta ahora, la dimensión espacial fue utilizada apenas para la representación de los resultados obtenidos. En el G.I.S. muchas veces la localización de un determinado evento tiene una importancia tan fundamental en su



explicación que deberá ser considerada (en términos cuantitativos) en la elaboración de las informaciones de tal forma que sea incorporada en los cálculos.

Dicotomizada en términos de latitud / longitud o verticales / horizontales, la dimensión espacial puede ser trabajada de manera de encontrar su centro, su variabilidad o dispersión, etc.

La forma más común de representar distribuciones espaciales es a través de mapas o cartogramas.

Para los análisis, la estadística es muy útil cuando se procura definir de forma objetiva el contenido mapeado a través de medidas de conceptos como densidades, dispersión, concentración, proximidad, potencial, accesibilidad, etc.

Por otro lado, considerando que es de primordial interés para el G.I.S. el lugar exacto de las actividades humanas o de los hechos naturales, el espacio pasa a ser la referencia fundamental.

La estadística espacial o geoestadística deriva básicamente de analogías entre los diagramas de frecuencia de los estadísticos y los mapas de frecuencia de los geógrafos, resultando en una estadística descriptiva bidimensional. Se asignan conjuntos de datos geográficos distribuidos sobre el espacio a un histograma (mapas coropléticos), o a un polígono de frecuencias (mapas de isolíneas). La diferencia básica entre las representaciones estadísticas y las geográficas es la que existe entre una línea y un plano, o sea, la introducción de la variable localización como una de las dimensiones a considerar.

1) Medidas de tendencia central en patrones de puntos

Las medidas espaciales de tendencia central demuestran donde se localiza el centro de la distribución de puntos en relación a un par de coordenadas cartesianas.

2) Medidas de variabilidad o dispersión en distribuciones espaciales de puntos

Medidas de variabilidad o dispersión, teniendo como referencia un punto central, son útiles en el conocimiento exacto de las distribuciones geográficas. En la estadística lineal, la variabilidad es medida arriba y abajo o a derecha y a izquierda del punto central (generalmente la media).

3) La curva normal de distribución de frecuencia

La curva normal, también denominada distribución de Gauss, es simétrica en relación a un punto central. Es una distribución continua y la suposición básica para la aplicación de muchas técnicas estadísticas. Considerando que varios tipos de conjuntos de datos geográficos tienen esta distribución normal, o casi normal, ella puede servir como importante modelo teórico.

Si tenemos diversos conjuntos de datos con el mismo desvío patrón, pero medias diferentes, la forma de la curva es, en todos los casos la misma. Por otro lado, si los diversos conjuntos de datos tienen la misma media, pero valores de desvío patrón diferentes, resultan curvas con fórmulas diferentes. En general, podemos decir que cuanto mayor el desvío patrón, más achatada y larga es la curva; cuanto menor el desvío patrón, más alta y estrecha esta será.

4) Regresión y correlación lineal simple



Los análisis de correlación y regresión simples son técnicas importantes para la interpretación de los datos y fenómenos geográficos, involucrando, al mismo tiempo, dos variables en vez de una sola. Además de esto, el conocimiento de estos análisis es básico para el empleo de otras técnicas más avanzadas, como por ejemplo, el análisis factorial.

- a) Concepto de regresión - La pregunta en el análisis de regresión es: es posible, partiendo de una variable, predecir otra? Es decir, podemos predecir el valor de una variable Y que corresponda a un valor de una variable X ? Normalmente X es la variable independiente e Y la variable dependiente. El objetivo de la regresión es estimar la relación de una variable con respecto a otra, expresando una en términos de la función lineal (o más compleja) de la otra.
- b) Concepto de correlación - Después de haber sido determinada la recta de regresión, podemos, a través del análisis de correlación, medir el grado de asociación entre las dos variables. Contrariamente al análisis de regresión, no expresamos una variable como función lineal de la otra. En el análisis de correlación, no existe más esta distinción, tan importante en la regresión, entre la variable dependiente y la independiente. Se habla de correlación entre X e Y y examinamos particularmente hasta que grado las variables son interdependientes o covarían (varían juntas) y determinamos la dirección de esta covariación.

2.9.8 Algunos procesos de análisis de datos geográficos

El objetivo clave de cualquier G.I.S. es el análisis de relaciones complejas contenidas en la BD.

Esas relaciones, que representan una variedad de datos geográficos, descriptivos y estadísticos, deben ser fácilmente accesibles a una variedad de preguntas, análisis y modelos.

a) Análisis espacial

Los analistas usan datos geográficos para crear relaciones topológicas para ser usadas en el análisis espacial y como entrada para otros procesos de los analistas.

El analista posee una variedad de funciones sofisticadas y procesos que aumentan la creación, búsqueda y visualización de los datos geográficos estructurados topológicamente. Se ve el proceso simplificado en la figura siguiente:



La interpretación de imágenes raster provee los fundamentos para establecer conclusiones o soluciones. Normalmente, se ejecutan análisis sobre imágenes multiespectrales. Los factores espectrales posibilitan al usuario ajustar contrastes de las imágenes, delinear formas, medir los cambios temporales, analizar nuevos patrones como: cambios de urbanización, variación de la cobertura vegetal y cambios de las fuentes de población, etc.

e) Análisis del MDT

Ese módulo posee herramientas para análisis de datos tridimensionales. Es útil para modelización de áreas inundadas, intervisibilidad, telecomunicaciones, etc.

La entrada de datos proviene de los levantamientos fotogramétricos, topográficos y archivos comerciales ya existentes. El MDT generado de esos datos puede ser basado en la red de triángulos irregulares (TIN) o basado en formatos raster y vector.

f) Análisis geológico y exploración de petróleo

La geología, geofísica y aplicaciones petrofísicas se benefician de la capacidad analítica del G.I.S., pues él permite la generación, interpretación y administración de secciones geológicas en 2D y 3D, correlación y mapeamiento de subsuelos.



3. Descripción de las herramientas

GeoNasa basa su funcionamiento en la combinación de dos herramientas: Atlas G.I.S. for Windows 3.0 y Visual Basic for Windows 3.0. La primera sirvió para proveer los servicios necesarios en los análisis geográficos y la segunda para desarrollar una interfase amigable e intuitiva. En ocasiones fue necesario acceder a funciones de la API (Application Programming Interface) de Windows para obtener alguna funcionalidad que no proveen las herramientas mencionadas.

3.1 Descripción de Atlas GIS

3.1.1 Mapas y Atlas GIS

Un mapa es una representación geográfica de las *características* que tiene la superficie terrestre.

Un mapa contiene información locacional acerca de cada *característica* (la forma de esa característica y el lugar donde está localizada sobre la tierra) y como las características están relacionadas espacialmente.

Un mapa también contiene información acerca de los *atributos* de cada *característica*.

Algunos ejemplos de *características* son: parcelas, caminos, negocios y atributos de estas *características* pueden ser "zoning", tipo de camino y volumen de ventas.

Atlas GIS permite capturar, almacenar, recuperar, manipular, analizar, mostrar y brindar información locacional o de *atributos* de las *características* de un mapa.

3.1.1.1 Datos locacionales

La información locacional de cada *característica* del mapa se almacena en un *Archivo Geográfico*. Este tipo de archivo también contiene información sobre los *atributos* básicos de cada *característica* (luego se verá con más detalle).

3.1.1.2 Características de los mapas

Las *características* se definen por una serie de coordenadas X-Y (o latitud-longitud) que están conectadas. Estas coordenadas, también llamadas *vértices*, representan la forma de la *característica* y su posición sobre la tierra. Existen tres tipos fundamentales de *características* sobre los mapas:

Regiones: (También llamadas áreas o polígonos) están definidas por una serie ordenada de coordenadas X-Y o *vértices*. Cada *vértice* se conecta con el siguiente por un segmento. El último vértice de la región automáticamente se conecta con el primero quedando de esta manera cerrada la superficie.

Algunos ejemplos de regiones son:

- ✓ Límites entre países
- ✓ Territorios de ventas
- ✓ Areas que representas los distintos usos que se le dan a las tierras



Líneas: Semejantemente a las *regiones*, las *líneas* también son una serie ordenada de vértices conectados por segmentos, pero a diferencia de las *regiones*, las *líneas* no tienen conectado el primer y último *vértice*. Las *líneas* se usan para representar *características*, que por no ser lo suficientemente anchas, no pueden ser representadas como *regiones*.

Pueden verse los siguientes ejemplos:

- ✓ Ríos
- ✓ Caminos
- ✓ Cañerías

Puntos: Se definen por una simple coordenada X-Y representando una localización o posición dentro del mapa. Los *puntos* se utilizan para representar *características* que no tienen el ancho ni el largo suficientes como para ser representadas como *regiones* o *líneas*.

Algunas muestras de lo representable mediante puntos son las siguientes:

- ✓ Ciudades
- ✓ Mojones
- ✓ Oficinas de ventas

Un *Archivo Geográfico* posee también (para coordinar los datos) información locacional extra que permite a Atlas GIS realizar varios tipos de búsquedas y análisis ya sean geométricos o espaciales.

Capas

Las *características*, en Atlas GIS, se organizan en *capas*. Un mapa generalmente posee varias *características* que se representan con *capas*. Por ejemplo, el contenido de las *capas* pueden ser parcelas, distritos, caminos. En Atlas GIS las *regiones* se almacenan en *Capas de Región*, las *líneas* en *Capas de Líneas* y los *puntos* en *Capas de Puntos*. En un solo *Archivo Geográfico* pueden existir hasta 250 *capas*.

3.1.1.3 Bordes comunes

Una *región* (en un *Archivo Geográfico*) generalmente comparte un *borde común* con cada *región* adyacente.

Por lo tanto hay que tener en cuenta que:

- El mapa no debe contener agujeros ni áreas superpuestas.
- Atlas GIS puede mantener automáticamente el *borde común* entre dos *regiones* aunque alguna de ellas sea editada o alterada.
- Atlas GIS puede detectar *bordes comunes* cuando se realizan búsquedas espaciales y análisis.

3.1.1.4 Islas y Lagos

Aunque la mayoría de las *regiones* se pueden representar por un solo polígono algunas podrían tener que ser representadas como varios polígonos agrupados. Cuando una *región* está constituida por un grupo de polígonos, uno de ellos es considerado el *polígono principal* y los otros *islas* o *lagos* del *polígono principal*.



Una *isla* es un polígono que está afuera del *polígono principal*. Por ejemplo, el estado de Hawai está constituido por un *polígono principal* y varios polígonos *islas*.

Un *lago* es un polígono dentro de otro polígono, creándose de esta manera un agujero dentro del *polígono principal*. Un lago puede ser un *lago real* o una *región encajada*. Esta última es una *región* que esta completamente contenida en otra.

En el caso de las *regiones encajadas*, la región exterior es la que contiene el *lago* que encierra a la región encajada y esta última existe como una *característica* separada.

3.1.1.5 Atributos de datos

Además de la información locacional, un *archivo geográfico* contiene un conjunto predefinido básico de *atributos* por cada *característica* del mapa.

Toda información extra sobre atributos se almacena en un archivo separado llamado *Archivo de Atributos* el cual esta vinculado ("linkeado") con el *Archivo Geográfico*.

Atributos Internos: Los atributos que están en el *Archivo Geográfico* se llaman *atributos internos*. Ellos son:

Identificación única (Unique ID): A cada *característica* se le asigna automáticamente un código de 16 caracteres que la identifica unívocamente. Este código puede ser modificado siempre y cuando siga siendo único.

Nombre primario: Mientras que la *identificación única* generalmente tiene sentido solo para Atlas GIS, el *nombre primario* es el nombre que se usa para identificar la *característica*. Este también **debería** ser único. El *nombre primario* se usa generalmente para importar y vincular ("linkear") datos de *atributos externos* con un *Archivo Geográfico*. También se puede usar como rótulo.

Nombre secundario: Una *característica* puede tener, además del *nombre primario*, un *nombre secundario* que es opcional. A menudo se usa este nombre para rótulos o para tener una identificación abreviada o más nemotécnica del *nombre primario*. También puede servir al propósito de buscar direcciones que posean calles que puedan ser referenciadas de dos maneras diferentes (como sería el caso de la calle Cangallo o Pte. Perón en la Cap. Fed.). En este ejemplo, uno de los nombres de la calle sería el *nombre primario* y el otro el *nombre secundario*.

Rangos de Direcciones (address ranges): Si un archivo geográfico contiene calles sobre las cuales se harán búsquedas de direcciones, por cada calle se almacenará el límite inferior y superior del rango de números que recorre.

Área: Cada región posee un área que es calculada y mantenida automáticamente por Atlas GIS y no puede ser editada. Las *líneas* y *puntos* no poseen *áreas*.

Perímetro / longitud: Las *regiones* poseen *perímetro* y las *líneas* tienen *longitud*, las cuales son calculadas y mantenidas automáticamente por Atlas GIS y no pueden ser editadas. Los *puntos* no tienen *perímetro* ni *longitud*.

Centro y posición del rótulo: Atlas GIS calcula y mantiene automáticamente el *centro de la región* y la *posición del rótulo* de cada *característica*. El valor calculado como *posición del rótulo* es el valor por omisión.

Vértices y polígonos: Atlas GIS también calcula y mantiene el número de *vértices* y el número de objetos separados que componen cada *característica*. Una sola *región* o *línea* puede estar definida hasta por 4.000 *vértices* y puede estar formada por



múltiples polígonos separados o líneas agrupadas juntas (ver "Islas y lagos" ya referenciado anteriormente).

Atributos Externos: Los atributos adicionales que se almacenan en *Archivos de Atributos* (como ya se dijo) se denominan *atributos externos*.

Por ejemplo, un *Archivo de Atributos* podría contener características específicas del mapa como ser datos demográficos y de ventas.

Un *Archivo de Atributos* es un archivo rectangular de Bases de Datos compatible con Dbase (.DBF) en el cual los registros (filas) corresponden a una *característica* del mapa y cada campo (columna) corresponde a algún *atributo*.

Además de sus campos propios, un *Archivo de Atributos* siempre contiene un campo de *identificación única* (unique ID), mediante el cual se podrá vincular ("linkear") cada registro con su correspondiente *característica* en el *Archivo Geográfico* (se vinculará con la *característica* que posea la misma *identificación única*).

El *Archivo de Atributos* está separado del *Archivo Geográfico* por las siguientes razones:

- Por cada *Archivo Geográfico* se pueden tener varios *Archivos de Atributos* cada uno de los cuales podrá tener distintos conjuntos de *atributos* para un conjunto diferente de *características*.
- El *Archivo de Atributos* puede ser manejado independientemente del *Archivo Geográfico* por Atlas GIS o por otras aplicaciones.

Un *Archivo de Atributos* puede contener hasta 255 campos incluyendo la *identificación única*. Estos campos podrán ser de alguno de los siguientes tipos:

- ✓ **Numérico:** Puede contener hasta 19 dígitos.
- ✓ **Carácter:** Puede contener hasta 254 caracteres. (el campo *identificación única* es de tipo carácter de longitud 16).
- ✓ **Lógico:** Este campo podrá poseer valores True/False o Yes/No y tiene un solo carácter de longitud.
- ✓ **Fecha:** Tiene el formato MM/DD/AA con 8 caracteres de longitud.

Los *atributos* no sirven solamente para mostrar información acerca de las *características* de un mapa, también se pueden usar para mostrar el mapa de diferentes formas realizando mapas temáticos.

3.1.2 Datapoints

Comúnmente se usan para representar lo que serían los "pinches" que se suelen colocar en los mapas para representar localizaciones. Por ejemplo, podría ser necesario superponer a un mapa las localizaciones de clientes, competidores o lugares donde se produjeron crímenes. Como este tipo de datos suele ser dinámico, seguramente habrá que colocar nuevos "pinches" (y quitar otros) periódicamente.

Atlas GIS permite representar información de este estilo mediante los *Datapoints*, los cuales son almacenados en un *Archivo de Datapoints*. Los Archivos de *Datapoints* son compatibles con los de Dbase (.DBF). Cada registro contiene información de un punto, y cada campo corresponde a una característica o atributo. Un



Archivo de Datapoints siempre contiene un campo de latitud y otro de longitud además de los otros campos. Estos campos de latitud y longitud dan la localización del punto sobre el mapa.

Cuando se superpone un *Archivo de Datapoints* a un *Archivo Geográfico*, los *Datapoints* pasan a ser una *capa* más del mapa.

Atlas GIS automáticamente convierte las coordenadas de latitud-longitud del *Archivo de Datapoints* a la misma proyección del *Archivo Geográfico*. Estas coordenadas proyectadas se mantienen en un archivo separado juntamente con otra información que Atlas GIS usa para realizar búsquedas espaciales y análisis.

Es posible usar un *Archivo de Datapoints* sin que este posea los campos de latitud y longitud. Sin esta información no se podrá mostrar la información sobre el mapa o realizar operaciones geográficas o espaciales pero si se podrá mostrar, consultar, editar y analizar los datos.

3.1.3 Conceptos para trabajar con mapas

Escalas: La escala de un mapa es la relación entre una distancia sobre un mapa y la correspondiente distancia sobre la tierra. Generalmente a la distancia sobre el mapa se la representa con el valor 1, de manera tal que una escala de 1:100.000 significa que una pulgada en el mapa equivale a 100.000 pulgadas sobre la tierra.

La escala a usarse en un mapa depende del área cubierta y del nivel de detalle que se desee. Los mapas que representan un área pequeña generalmente requieren poca reducción y tendrán un gran nivel de detalle, y los que representan un gran territorio requerirán una gran reducción y mostrarán un escaso nivel de detalle. Por ejemplo, un mapa de la ciudad de La Plata podrá mostrar todas sus calles, en cambio uno de la Pcia. de Buenos Aires solamente mostrará las rutas.

Tendremos que tener en cuenta los términos *gran escala* y *pequeña escala*. El primero podríamos usarlo para una escala como 1:24.000 mientras que el otro para una escala de 1:2.000.000. Esto es así, pues $1/24.000 > 1/2.000.000$.

Latitud y longitud: Para localizar puntos sobre una superficie bidimensional se usa el conocido *sistema de coordenadas x-y*, pero para localizar puntos sobre la Tierra se utiliza el *sistema de latitud-longitud* o también llamado *sistema de coordenadas geográficas* el cual refleja el hecho que la Tierra es una esfera. El *Ecuador* y el *Meridiano de Greenwich* en el sistema de coordenadas geográficas son los equivalentes a los ejes X e Y del sistema tradicional respectivamente.

Líneas de latitud o también llamadas *Paralelos* son círculos paralelos al Ecuador que rodean la Tierra. La latitud representa el posicionamiento norte/sur de un punto (lo que sería la coordenada Y en el sistema de coordenadas x-y). El *Ecuador* es el *paralelo* más largo que existe y este representa los 0 grados (sin desplazamiento hacia el norte ni al sur). El polo norte está 90 grados al norte y el polo sur 90 grados hacia el sur.

Líneas de longitud o también llamados *Meridianos* son semicírculos que van desde un polo hasta el otro. Representan el posicionamiento este/oeste de un punto (lo que sería la coordenada X en el sistema de coordenadas x-y). Los puntos que se quieran representar podrán estar desde 0 hasta 180 grados al este o al oeste del *Meridiano de Greenwich*.

Los *paralelos* están a la misma distancia unos de otros y cada grado de latitud representa aproximadamente 69 millas. Los *meridianos* divergen hasta el *Ecuador*



donde cada grado de longitud representa aproximadamente 69 millas. Acercándose a los polos, la distancia entre los *meridianos* tiende a 0.

Las latitudes y longitudes se representan en grados, minutos y segundos con la aclaración de norte, sur, este u oeste según corresponda. Por ejemplo, el punto que está a 120 grados, 30 minutos, 50 segundos al oeste del *Meridiano de Greenwich* se representa como 120° 30' 50" W y uno que se encuentra a 45 grados, 20 minutos, 10 segundos al norte del *Ecuador* se anotaría como 45° 20' 10" N.

Para ingresar una latitud o longitud en Atlas GIS habrá que tipear los números que representan los grados, los minutos etc. sin sus símbolos correspondientes. Por ejemplo, para ingresar los puntos mencionados en el párrafo anterior colocaríamos 120 30 50 W en el primer caso y 45 20 10 N en el segundo. Alternativamente, se puede ingresar grados decimales en lugar de grados, minutos y segundos. Para escribir en grados decimales se deberá tener en cuenta que hay 60 segundos en un minuto, 60 minutos en un grado, y un total de 3.600 segundos (60 veces 60) en un grado. Por ejemplo, para convertir a grados decimales 120° 30' 50 " habrá que hacer:

$$(120+(30/60)+(50/3600))$$

$$(120+0.5+0.01)$$

120.51 W o -120.51

Dirección y distancia: Un "azimuth" y un "bearing" dan una dirección sobre la tierra aunque difieren levemente. Atlas GIS usa "azimuth". Se denomina *círculo grande* a aquel cuyo centro y radio son los mismos que los de la tierra. Un *círculo grande* es el círculo más largo que se puede dibujar sobre la superficie de la tierra. Si la tierra fuera cortada a lo largo de un *círculo grande* sería separada exactamente en dos partes iguales. Cuando se quiere mover una distancia y dirección especificadas desde un punto dado, Atlas GIS siempre se mueve a lo largo de un *círculo grande*, ya que a través de este se recorre la menor distancia entre dos puntos. Hay que notar que desplazándose a través de un *círculo grande* se intersecta cada meridiano en un ángulo diferente. La dirección de un arco de un *círculo grande* se llama "azimuth" y está dada por el ángulo formado entre el *Meridiano de Greenwich* y el punto inicial del arco midiéndose en grados (desde 0 a 360) en el sentido de las agujas del reloj.

Para algunas aplicaciones, tales como mapeo temático (especialmente para mapas que detallan pequeñas áreas, tales como una ciudad o distrito), se puede pensar a la tierra como un plano y el sistema de latitud-longitud puede ser tratado como si fuera un sistema de coordenadas rectangular. Cuando se utiliza un archivo geográfico que contiene coordenadas de latitud-longitud, Atlas GIS realiza automáticamente una proyección simple cuando dibuja el mapa. Esto hace posible el uso de coordenadas de latitud-longitud, no solamente para una pequeña área sino también para una de tamaño mediano tal como la de un estado.

Es importante distinguir entre una *proyección* y un *sistema coordinado*. Una *proyección* de mapa tiene un número de parámetros, tales como un origen y paralelas estándar. Un *sistema coordinado* está definido por una *proyección* de mapa y su conjunto de parámetros de *proyección*. Por ejemplo, los siete *sistemas coordinados* del



plano del estado de California usan la *proyección* "Lambert Conformal Conic" pero con diferentes parámetros.

Atlas GIS soporta varias *proyecciones* de mapa sofisticadas y *sistemas coordenados*, además del sistema de latitud-longitud, y permite convertir fácilmente un archivo geográfico de uno a otro.

Atlas GIS también soporta sistemas coordenados definidos por el usuario. Estos pueden ser cualquier sistema coordenado rectangular arbitrario. Sin embargo, dado que un sistema coordenado definido por el usuario no está definido en términos de una proyección de mapa conocida, Atlas GIS no puede convertir entre ésta y las coordenadas latitud-longitud.

3.1.4 Cambios en la exhibición del mapa

Se permite cambiar la forma en la cual las *capas* y los *labels* aparecen:

Se pueden ocultar o agregar capas. Se puede setear cada capa para ser visible solamente a cierta escala. Por ejemplo, se puede setear la visibilidad de capas que contienen caminos pequeños para que ellos no sean dibujados a menos que se haga *zoom* sobre el mapa.

Se puede cambiar la apariencia de las capas (cambiar al color, el ancho de las líneas, etc.)

Se pueden agregar *labels* para capas enteras.

Se puede definir también que los *labels* en una capa sean invisibles excepto dentro de un rango de escalas del mapa.

Se pueden seleccionar *labels* específicos en una capa y hacerlos visibles siempre, o solamente dentro de un rango especificado de la escala del mapa.

Se permite controlar cómo aparecen los elementos de la página (por ejemplo *inset1*¹ e *inset2*) y cuáles de ellos son visibles:

Se pueden ocultar o agregar elementos.

Se le pueden hacer *zoom* a los elementos de la página.

Se pueden mover elementos de la página y también se les puede cambiar el tamaño.

Se pueden cambiar los seteos de los elementos de la página. Para cada elemento, se puede dibujar su borde, delinearle color y darle tamaño a las características.

Se puede también cambiar el color de fondo de los elementos de la página, lo cual puede mejorar la presentación del mapa sobre la pantalla o sobre una impresora color.

¹ Vista ampliada de una parte del mapa.



3.1.5 Consultas y Selecciones

Se pueden seleccionar ciertas características en relación geográfica a otras características. Atlas GIS permite tres formas:

- **"Inside"** selecciona características cuyo centro (es decir su centro geográfico de masa o longitud) se encuentra dentro de otra característica. Por ejemplo, nos referiremos a un área de un mapa en el cual se encuentran 2 depósitos. Se debe definir primero círculos de 5 millas (llamados buffers) alrededor de cada depósito. Luego se le pide a Atlas GIS que haga una selección *"Inside"* con las áreas buffers como la capa de entrada y las 5 millas especificadas como la distancia. De esta manera se seleccionan todas las regiones cuyo centro se encuentre hasta 5 millas de distancia de un depósito.
- **"Touching"** selecciona características que se superponen o están contiguas con otras características. Si en el ejemplo anterior le pidiéramos a Atlas GIS que hiciera una selección *"Touching"*, se seleccionarían todas las regiones con alguna porción tocando los círculos (es decir, con "alguna" porción, no necesariamente el centro de la región permaneciendo dentro de las 5 millas de distancia a un depósito).
- **"Near"** selecciona características que están dentro de una distancia especificada de otra característica o características. Se puede elegir si el centro debe permanecer dentro de la distancia especificada, o si alguna parte de la característica puede permanecer dentro de la distancia especificada

Se pueden también seleccionar características basadas sobre la relación entre atributos. Hacer consultas al archivo de atributos es un método poderoso para seleccionar simultáneamente todos las características que reúnan ciertas condiciones o compartan ciertos rasgos. Por ejemplo, una condición POBLACION > 10.000 seleccionará las características con valores más grandes que 10.000 en el campo POBLACION de su registro de atributos.

Ya se explicó que se pueden seleccionar todas las regiones cuyo centro geográfico permanece dentro de un radio de 5 millas desde uno de los depósitos. Atlas GIS permite refinar esta selección definiendo las condiciones para un subconjunto de características. Por ejemplo, supongamos que lo que se quiere es limitar las regiones seleccionadas a aquellas con ventas superiores al promedio. Atlas GIS calcula el subconjunto de regiones que satisfacen esta condición adicional, despliega el número de regiones seleccionadas y si se desea, se las podrá visualizar.

3.1.6 Mapas Temáticos

Los mapas temáticos muestran los datos de los atributos gráficamente. Ellos ilustran la relación espacial entre rasgos geográficos y sus atributos. Generalmente éstos mapas representan los datos aplicando al mapa sombreado, codificación de color, o puntos. Por ejemplo, se pueden mostrar totales de venta coloreando con rojo territorios con ventas altas, con naranja los de ventas medianas y con amarillo los de ventas bajas. También se puede representar cantidad de clientes ubicando sobre el mapa símbolos de tamaño proporcional a la cantidad.



Atlas GIS provee las herramientas necesarias para crear tres tipos de mapas temáticos:

- Mapas "*proporcionales*": Permiten distinguir datos a través de variar el porcentaje de coloreado, ancho de línea o tamaño de símbolo para cada característica en proporción directa a sus valores.
- Mapas "*rangeados*": Permiten usar una variedad de métodos para dividir los datos en distintos rangos. Cada rango de datos se representa por un color, una línea, un símbolo, etc.
- Mapas con "*densidad de puntos*": Permiten llenar regiones de manera que los puntos queden aleatoriamente o uniformemente ubicados. El número de puntos es proporcional a los valores de los datos y su ubicación revela distintos patrones.

Se pueden crear mapas temáticos para regiones, líneas y puntos.

Se pueden mostrar dos variables, de la misma capa o de capas diferentes, cada una con su propia leyenda (luego se verá leyendas temáticas).

Se pueden "rangear" los datos en ocho formas diferentes, incluyendo "listas de valores" para datos de tipo carácter. Se pueden mapear hasta 32 rangos en cada uno de los métodos excepto el Optimal, el cual tiene un máximo de 20 rangos.

Se pueden seleccionar colores y patrones de una amplia variedad para mostrar los datos de manera útil y atractiva.

En general, los colores irán de suaves a oscuros o de opacos a brillantes y los patrones de abiertos a densos, cuando los valores de los datos se muevan de bajos a altos.

Si se dispone de un monitor monocromático o si se va a imprimir el mapa sobre una impresora blanco y negro, se tendrá que variar el estilo y la densidad de los patrones en lugar del color.

Las leyendas temáticas son tan importantes como sus mapas temáticos asociados. Una leyenda temática clara ayuda al usuario a ver inmediatamente la relación que está siendo ilustrada a través de los colores y los patrones.

Se pueden desarrollar leyendas temáticas de acuerdo a las necesidades del proyecto estableciendo:

- el número de columnas
- el tamaño, orden y espaciado de las leyendas
- el estilo, color, y ancho del borde de la leyenda
- el tamaño del texto, color, y tipo de letra del título de la leyenda
- el formato de las descripciones de la leyenda

Considerando el número de columnas, se puede establecer el tamaño y forma del área de la leyenda y determinar el número de columnas. Atlas GIS hace el resto, *espacia* las



columnas y descripciones en el espacio definido. Por ejemplo, se podría poner la leyenda al pie del mapa, dividido en columnas múltiples.

Considerando el tamaño del texto, se puede setear el tamaño del texto.

Se puede también cambiar la posición y el tamaño de la leyenda temática. Por ejemplo, en un mapa temático complicado con numerosos rangos, se podría agrandar la leyenda temática y así las descripciones del rango serían claramente distinguibles.

3.1.7 Edición de características y atributos

Edición de características

Cuando se agrega una nueva *característica* geográfica Atlas GIS le asigna automáticamente un ID único.

Atlas GIS permite editar las *características* geográficas mediante manipulación directa de los vértices de una *región* o *línea* a la vez que mantiene todos los *bordes comunes* y *puntos finales*, y recalcula automáticamente la nueva área y perímetro/longitud de todas las características afectadas.

Al eliminar una característica se tiene la opción de hacerlo parcial o totalmente:

- Se podrá eliminar una característica sin eliminar su correspondiente registro de atributo. Como así también borrar el registro de atributo y no así su correspondiente característica geográfica.
- Eliminar tanto la característica geográfica como su registro de atributo.

Edición de atributos

Los *atributos internos* son un conjunto básico y predefinido de *atributos* para cada *característica* del *archivo geográfico*. Los *atributos externos* son atributos adicionales de características. Estos son almacenados en el *archivo de atributos*, y aparecen en la *hoja de trabajo* (lugar donde se editan estos atributos) solo cuando un *archivo de atributos* está activo.

Atlas GIS provee herramientas para crear índices como así también para agregar un nuevo campo a un *archivo de atributos* y reemplazar el contenido de un campo a través de una expresión matemática o de texto. Este reemplazo, al igual que el que se puede efectuar sobre los *Datapoints*, puede realizarse sobre toda la base de datos o solamente sobre las características seleccionadas. Todas estas operaciones pueden llevarse a cabo desde la *hoja de trabajo* sin necesidad de acceder al mapa.

3.1.8 Operaciones Analíticas

Atlas GIS permite realizar diferentes tipos de operaciones analíticas entre *capas* creando nuevas *capas* y nuevos datos de *atributos*. Entre las operaciones posibles podemos citar:

- Combinar *características* con atributos comunes para crear una *capa* nueva y agregarle los datos a sus *atributos*.



- Superponer dos capas para crear una tercera que sea la intersección de ambas con atributos de las capas originales.
- Crear regiones "Buffers" de cualquier tamaño alrededor de las *características* y usarlas para futuras búsquedas y análisis. Estas regiones se usan para determinar un área de influencia, para determinar la cercanía de una región con otra y convertir características lineales en características de área.
- Asignar *atributos* de una *característica* a otra bajo la condición de que una esté cerca o dentro de la otra.
- Agregar datos a los *atributos* de una *capa* mediante el agregado de datos a los *atributos* de otra *capa*.

3.1.9 Personalización del mapa y de la página

Personalización del mapa

Se puede personalizar el mapa de varias maneras:

Establecer las características gráficas de las capas mediante el "encendido" o "apagado" de ellas, cambiando sus estilos (color, patrón, ancho de línea y rango de visibilidad) o cambiando sus rótulos.

Establecer los formatos de los rótulos, ocultarlos, mostrarlos y moverlos.

Otra herramienta de personalización muy usada es la *prioridad*. A través de ella se puede controlar el orden en que se dibujarán las capas. El método consiste en asignar un número de prioridad a cada capa (cuando haya más de una) para que luego Atlas GIS las grafique conforme a la prioridad (primero los números bajos y luego los altos), permitiéndose colocar números de prioridad entre 1 y 10.000. Se acostumbra a graficar las regiones en primer término y luego líneas y puntos.

Advertencia: los anchos de línea están dados por Atlas GIS en milésimas de pulgada. En el monitor prácticamente no se notará la diferencia entre 10 y 25 milésimas de pulgada pero si se notará en una impresión láser de alta resolución, por ello se aconseja realizar pruebas de impresión hasta dar con el ancho de línea deseado.

Personalización de la página

Los elementos de la página (mapa, leyendas de mapas temáticos, inset1 ², inset2, título, escala, etc.) pueden sacarse o colocarse.

Mover o cambiar el tamaño de los elementos de una página.

Agregar y editar texto o gráficos (por ej. vacas, vehículos, rosa de los vientos, etc.).

3.1.10 Reporte de datos

Atlas GIS permite diseñar, visualizar e imprimir reportes de datos en forma tabular acerca de las características de los mapas.

² Vista ampliada de una parte del mapa.



Se pueden elegir en forma exacta las variables que se requieren en cada columna de los reportes, como así también el formato de los datos y el aspecto de las columnas y encabezados. Se puede agrupar u ordenar los datos. Una gran variedad de resúmenes estadísticos pueden ser calculados para cada grupo como así también obtener los totales acumulativos al final del reporte.

Los seteos establecidos para un reporte pueden ser guardados en un archivo y vueltos a usar cada vez que se requiera.

3.1.11 Digitalización de mapas

El primer paso es utilizar un archivo geográfico y establecer un sistema coordenado. Se puede utilizar un archivo geográfico nuevo o utilizar uno ya existente.

Si trabajamos con un mapa que no posee un sistema coordenado o proyección, necesitaremos tomar o definir un sistema "definido por el usuario" (user-define). Sin embargo con un sistema user-define no podremos combinar u "overlay" el archivo geográfico con otro archivo en diferente sistema coordenado.

Colocando el mapa en la tableta

Colocar el mapa en la tableta tratando de que quede absolutamente chato sobre ella.

Si se está digitalizando un mapa que es demasiado grande para caber en la tableta, se puede utilizar una fotocopia reducida para trabajar con ella, o se puede dividir en múltiples hojas (mapas) y trabajar con cada una individualmente.

Colocando el template en la tableta

El "template" de la tableta está dividido en dos áreas. El área de puntuación y el área de comandos. La primera permite apuntar a la pantalla, de la misma forma que con un mouse, para operaciones tales como editar, dibujar libremente y navegar a través de los menús de comando. Desde el área de comando, se puede seleccionar comandos comúnmente usados directamente desde la tableta.

No se requiere el "template" para la tableta para la digitalización. Cuando el "template" y el mapa se sobreponen (por el tamaño de ambos), se puede utilizar un comando para activar/desactivar el área del template cuando se necesite.

Alternativamente, se puede reducir el tamaño del template con una fotocopia reducida y utilizar la versión pequeña.

Seteando puntos de control

Los puntos de control son puntos sobre el mapa de papel con coordenadas conocidas. Atlas GIS los utiliza para calcular una transformación tableta-a-mapa, una ecuación que hace posible que Atlas GIS traslade posiciones en la tableta a coordenadas en el archivo geográfico.

Esto también hace posible trabajar en la digitalización de un mapa, parando y moviendo/sacando el mapa de papel de la tableta, y más tarde volver a colocarlo en la tableta realineándolo con el archivo geográfico y continuar.

Se recomienda un mínimo de cuatro puntos de control aunque Atlas GIS permite trabajar con un mínimo de tres. Para especificar cada uno de ellos se ingresa un nombre, las coordenadas de latitud-longitud y luego se "clickea" un punto con el cursor en la tableta.

Digitalizando características de mapas



Involucra tres pasos básicos:

1. Elegir una capa en el archivo geográfico para la nueva característica.
2. Ingresar un nombre primario y secundario (y cualquier otro atributo para la primer característica.)
3. Digitalizar la característica. Luego repetir 2 y 3 para cada característica adicional a agregar a la capa.

3.2 Descripción de Visual Basic (VB)

Esta conocida herramienta de programación sobre Windows permite desarrollar aplicaciones guiadas por eventos con interfases de usuario muy amigables. Su filosofía consiste en el uso de una serie de “Controles” que encapsulan propiedades predefinidas y un determinado conjunto de eventos que puede atender cada “control”. Una de las ventajas que posee este producto es la de permitir anexar nuevos “controles” que amplían su funcionalidad.

En el caso de GeoNasa, fue necesario incluir un “control” provisto por la empresa Strategic Mapping Inc. que permite la interacción entre Visual Basic y Atlas GIS. Además, VB permite ampliar su funcionalidad utilizando procedimientos que residen en DLLs (Dynamic Link Libraries). Esta cualidad fue aprovechada para utilizar un conjunto de funciones que provee la empresa mencionada a través de una librería (DLL), las cuales permiten realizar los análisis y operaciones geográficas desde VB haciendo los llamados correspondientes. Este conjunto de funciones es conocido por su nombre comercial de Atlas Script /VB.



4. Desarrollo de la aplicación

4.1 Estudio de la Organización

En una primera etapa de reconocimiento, se efectuó un estudio completo de la Organización dentro de la cual se debía insertar el sistema de información georreferenciado. Para ello se analizaron cada una de sus partes y se construyó un modelo de la misma de acuerdo a la teoría de sistemas.

4.1.1 Introducción

Las Empresas como sistemas dinámicos se encuentran en un constante estado evolutivo, generado por los permanentes cambios de necesidades internas y externas a la organización.

Con un enfoque sistémico del concepto de organización, el equilibrio de la Empresa dependerá del equilibrio dinámico de sus procesos internos y esto sólo podrá lograrse si se prevé acertadamente cómo conjugar los factores que contribuyen a su estabilidad. Por ejemplo, dentro del SENASA, para un correcto funcionamiento del sistema epidemiológico y su sistema de información (Georreferenciado o no), uno de los factores determinantes para mantener el equilibrio de la organización, es que la instrumentación del nuevo sistema deberá estar contenida dentro del "**Modelo Conceptual Informático**" que rige el funcionamiento de todos los sistemas Informáticos de la organización.

4.1.2 Conceptos sobre sistemas de información

El modelo conceptual informático para el SENASA, obedece a un concepto fundamental consistente en que, el conjunto de datos generados dentro de la organización es parte fundamental de su patrimonio. En consecuencia, debido a su importancia estratégica, éstos deben estar protegidos y organizados de tal manera que se asegure su almacenamiento y oportuna disponibilidad, su actualización y su unicidad.

La información, en tanto, debe ser gestionada por los usuarios, echando mano a un variado herramental orientado al usuario final, hoy disponible en el mercado.

Vemos en la (**Fig.1**) cómo se estructura jerárquicamente una organización desde el punto de vista de la interacción entre decisiones y la información por ellas requerida. Es en el nivel operativo donde se generan y actualizan los datos básicos empresarios, que conforman la base de datos de la empresa.

Observamos que en la medida que subimos en la escala decisoria se generan nuevas bases de datos, que obedecen a sucesivos **procesos de síntesis**. Cada una de estas bases de datos deben ser suficientes para brindar la información adecuada a cada nivel decisorio, hasta llegar así al máximo nivel de síntesis- abarcativa de toda la organización- en el vértice superior del triángulo, coincidente con el máximo nivel decisorio.

Surge con claridad la imposibilidad de generar información o de efectuar procesos de síntesis, careciendo de los datos. Si estos son incompletos, desactualizados o repetidos, los resultados serán incorrectos.

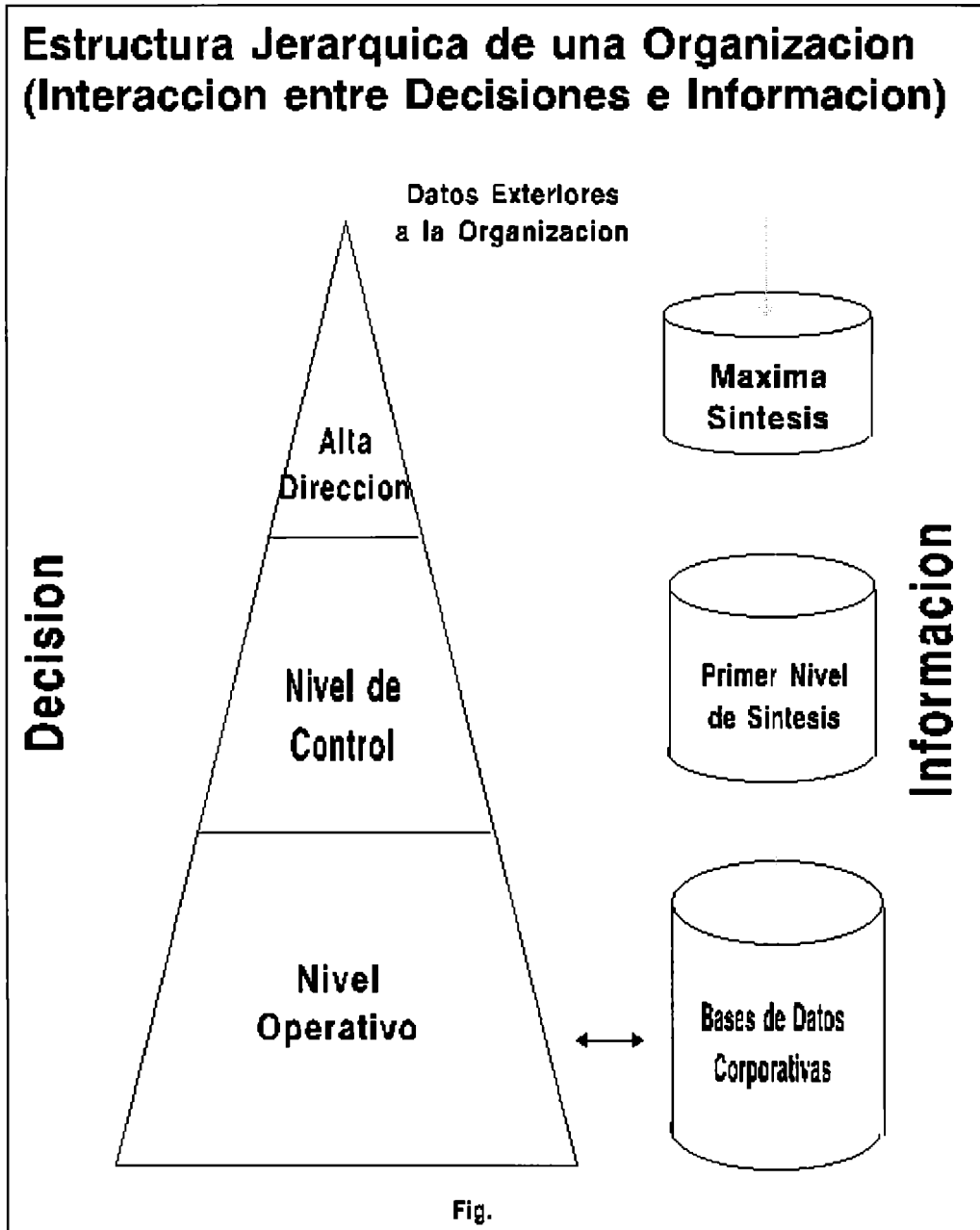
Los procesos de síntesis y las informaciones de los distintos niveles decisorios se deberán efectuar con los procedimientos y herramientas más adecuados.



Puede deducirse rápidamente que en la base del triángulo, por el volumen y tratamiento de los datos, se requerirán procedimientos generalizados y un soporte físico adecuado a dicho volumen.

En la medida que se sintetizan las bases de datos, otros serán los procedimientos y las herramientas. Esto evidencia la distancia existente entre el computador central, con gran capacidad de almacenamiento, y el microcomputador, útil para la gestión de menor cantidad de datos, con una alta dosis de inteligencia agregada.

Es obvio entonces que dentro la organización, el desarrollo del sistema informático de apoyo al problema epidemiológico, comenzará necesariamente en la base del triángulo.





4.1.3 La Organización SENASA

4.1.3.1 Objetivos

El SENASA (Fig. 2) es el encargado de ejecutar la política que el Gobierno Nacional dicta en materia de salud animal y tiene los siguientes objetivos:

- **Prevenir**, diagnosticar y erradicar las enfermedades propias de los animales y las transmisibles al hombre, promoviendo la acción sanitaria en todo el país.
- **Fiscalizar** el cumplimiento de las normas higiénico-sanitarias para la elaboración, industrialización, procesamiento, almacenamiento, transporte y comercialización de productos, subproductos y derivados e insumos de origen animal.
- **Fiscalizar** el uso y la comercialización de productos, subproductos, drogas y materias primas intervinientes o relacionadas con la Medicina Veterinaria velando por el cumplimiento de la legislación vigente en la materia.

Parámetros característicos indicativos

Presupuesto anual en U\$S.....	:70.000.000
Cantidad de personal	: 3000
Cantidad de regiones	: 20
Cantidad de comisiones locales ..	: 320
Nº de establecimientos	: 300.000
Cantidad de productores	: 300.000
Cant. de hacienda movilizada año.	: 26.000.000
Cantidad de planes año de Vacunación	: 310
Área geográfica bajo control Km2.	: 3.000.000
Cant. de hacienda bajo control	: 57.000.000

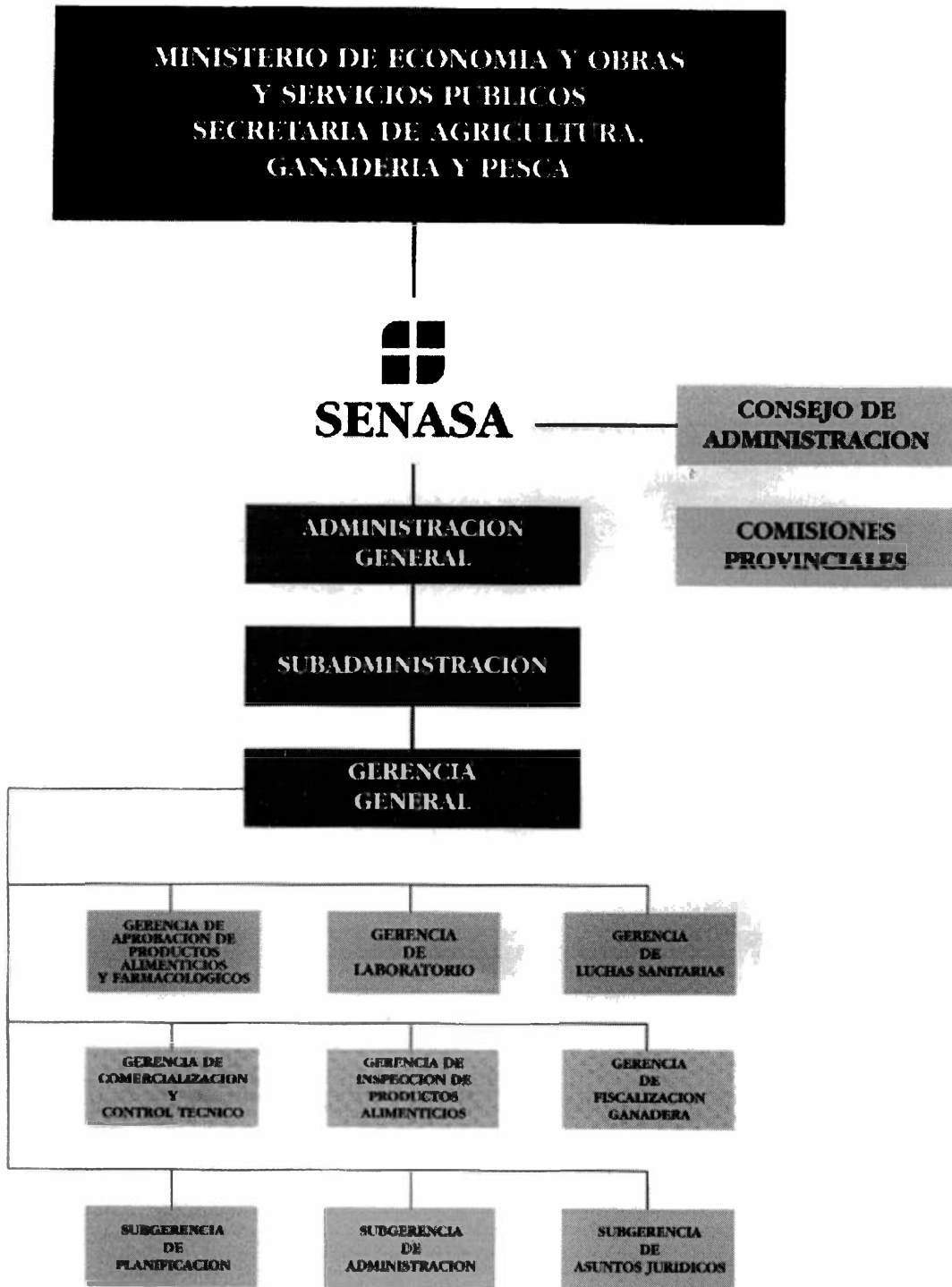


Fig.2

Como se visualiza en la Fig.2, la organización del SENASA, para la lucha epidemiológica cuenta con una gerencia denominada GELSA, de la cuál a su vez dependen 20 Supervisiones Regionales distribuidas en el Territorio Nacional y unas 300 comisiones locales (Fig.3).



Fig.
Fig.3

4.1.4 El modelo del Sistema Senasa

Introducción

Todo **sistema** es una entidad compleja formada por varias partes, que pueden ser de diferentes clases, interrelacionadas, que sirven a una finalidad común. La identificación del mismo se efectúa considerando tres factores fundamentales:



- El objetivo
- Las partes que lo componen.
- Las relaciones entre las partes.

En este caso, el **objetivo** mayor podemos considerar que es la erradicación de la fiebre aftosa en todo el País.

En cuanto a las partes que lo componen y sus relaciones, podemos considerarlo compuesto por tres subsistemas fundamentales (**Fig.4**):

- El sistema operante.
- El sistema de regulación y control.
- El sistema informativo.

El **sistema operante** está constituido por el conjunto de actividades primarias que se desarrollan para el logro de los objetivos. Por ejemplo, la vacunación de animales, la emisión de constancias de vacunación, los movimientos, las inspecciones, la fabricación de vacunas, etc.

El **sistema de regulación y control**, es el responsable de gobernar al sistema operante mediante una supervisión permanente de sus actividades y del estado de situación de la realidad. En función de ello enviará las ordenes correctivas (Decisiones) necesarias para mantener al sistema dentro de los márgenes tolerables definidos. Esta función dentro de la organización SENASA la cumplen, en sus distintos niveles, las supervisiones regionales, la jefatura de programa aftosa, la coordinación general de campo y la gerencia GELSA.

El **sistema de información** es la materia prima consumida por los tres módulos, para su funcionamiento.

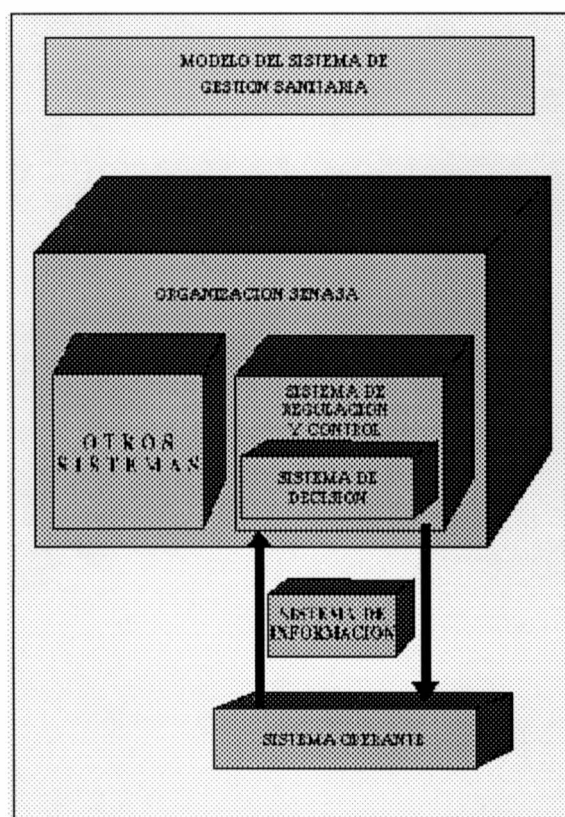


Fig.4



4.1.4.1 El sistema operante

Teniendo en cuenta la Organización y lo expresado en los puntos anteriores, podemos establecer el objetivo y los principales componentes del sistema operante, dentro del Sistema Informático de apoyo a la erradicación de fiebre aftosa.

Objetivo:

Cumplir con eficiencia las normas y procedimientos establecidos para el sistema epidemiológico de lucha sanitaria contra la fiebre aftosa.

Elementos que lo componen:

- Comisiones locales del GELSA.
- Inspecciones del GIPA
- Delegados.
- Fundaciones.
- Provincias.
- Municipios.
- Policía.
- Productores.
- Consignatarios.
- Transportistas.
- Lavaderos.
- Laboratorios.

Para un eficaz y eficiente logro de los objetivos, cada uno de los componentes deberán cumplir, dentro del sistema, con los roles y procedimientos que le fueron asignados, caso contrario el porcentaje de eficacia de todo el conjunto se verá disminuido.

Comisiones locales

Las Comisiones Locales constituyen, en su área de influencia, el elemento operante por excelencia del SENASA y representan la imagen de toda la organización ante las personas y organizaciones a los cuales el SENASA brinda servicio. Por lo tanto, en la definición del alcance del sistema computarizado, se deberá considerar la necesidad de otorgar a este nivel operativo, las herramientas necesarias y adecuadas para desarrollar en forma eficiente las tareas de su competencia y la toma de decisiones.

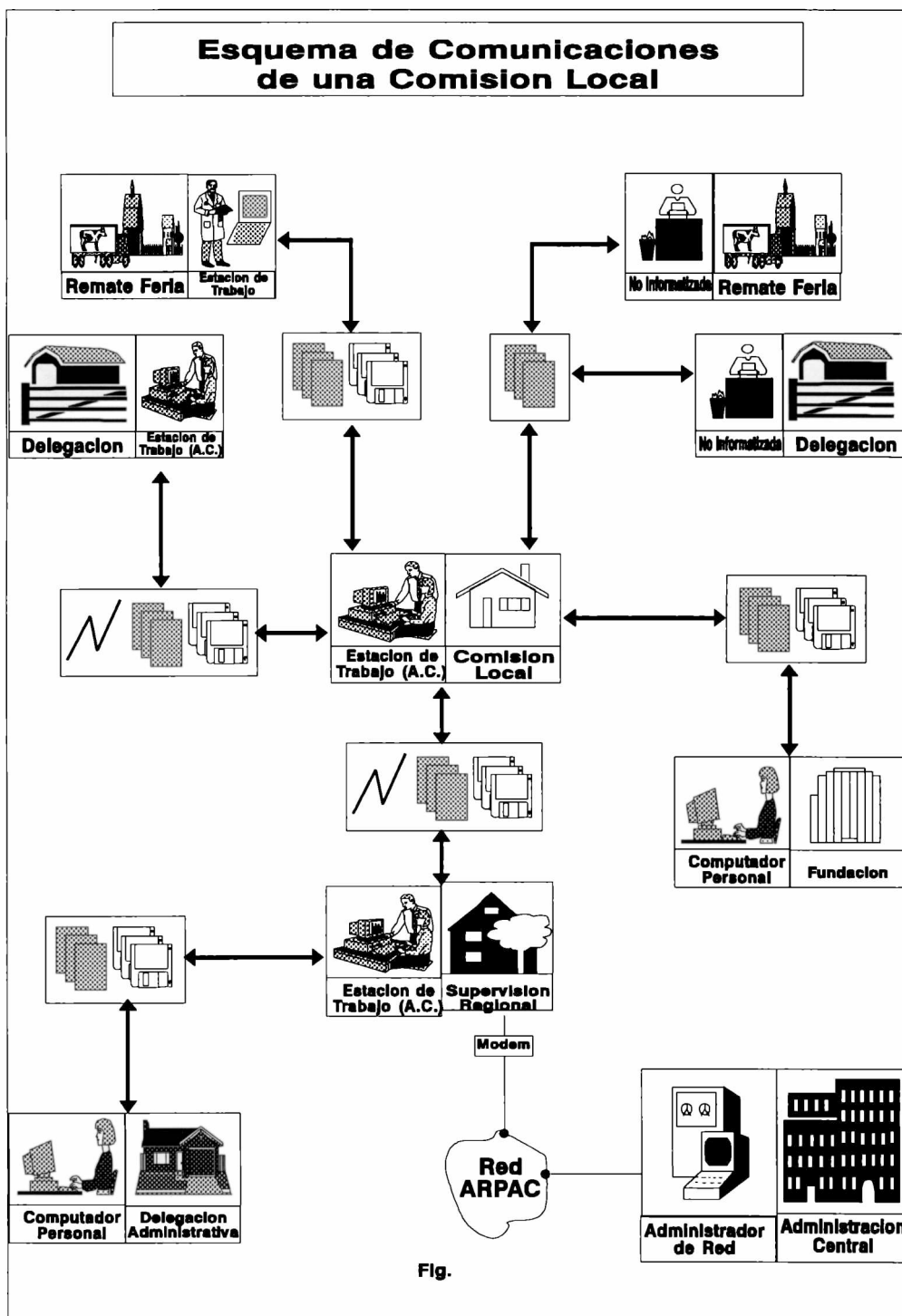


Fig. 5

La (Fig.5), simboliza la gran cantidad de relaciones que existe entre una Comisión Local (CL) y los otros componentes del sistema operante. Queda claro que la CL constituye el núcleo por donde pasan todas las actividades de campo, y por lo tanto es allí donde se deberá focalizar la mayor parte de nuestra atención.

Fundaciones



Las fundaciones constituyen un factor importante para el éxito del funcionamiento del sistema, dado que en ellas se delega la responsabilidad de programar y ejecutar la parte operativa de la campaña.

Esto es, el proceso de vacunación del ganado en su zona de influencia. Por ello será necesario desarrollar un sistema, compatible con el de las comisiones locales, que le permita realizar con eficiencia las tareas que le fueron encomendadas y permitir al SENASA de ejercer la tarea indelegable del control sobre todo el sistema.

Provincias y Municipios

Efectuar los convenios correspondientes con todas las Provincias y Municipios del País, para lograr el cierre de la información de los movimientos de hacienda con destino a frigoríficos y mataderos de jurisdicción provincial.

Transportistas de hacienda y lavaderos de camiones (Fig. 6)

El transportista y los lavaderos como elementos activos dentro del sistema, y a los efectos de no ocasionar un desequilibrio dentro del sistema epidemiológico, deben cumplir con las funciones que le fueron asignadas. Las mismas constituyen un "factor de autorregulación" del sistema, puesto que, el transportista deberá exigir toda la documentación para realizar el transporte, y además que sea veraz en cuanto al destino estipulado, caso contrario corre con el riesgo de perder su habilitación.

Laboratorios

El sistema manejará la información necesaria para poder instrumentar una rutina de control, entre las vacunas utilizadas en las fundaciones para los planes de vacunación y las series producidas por los distintos laboratorios.

Para ello será necesario informar a todas las fundaciones, la cantidad de vacunas producidas por cada número de serie de los correspondientes Laboratorios.

Además, para realizar el cierre de información, cada Fundación deberá informar con anticipación a la Comisión Local del SENASA, los números de serie y marca de vacunas a utilizar en cada plan.

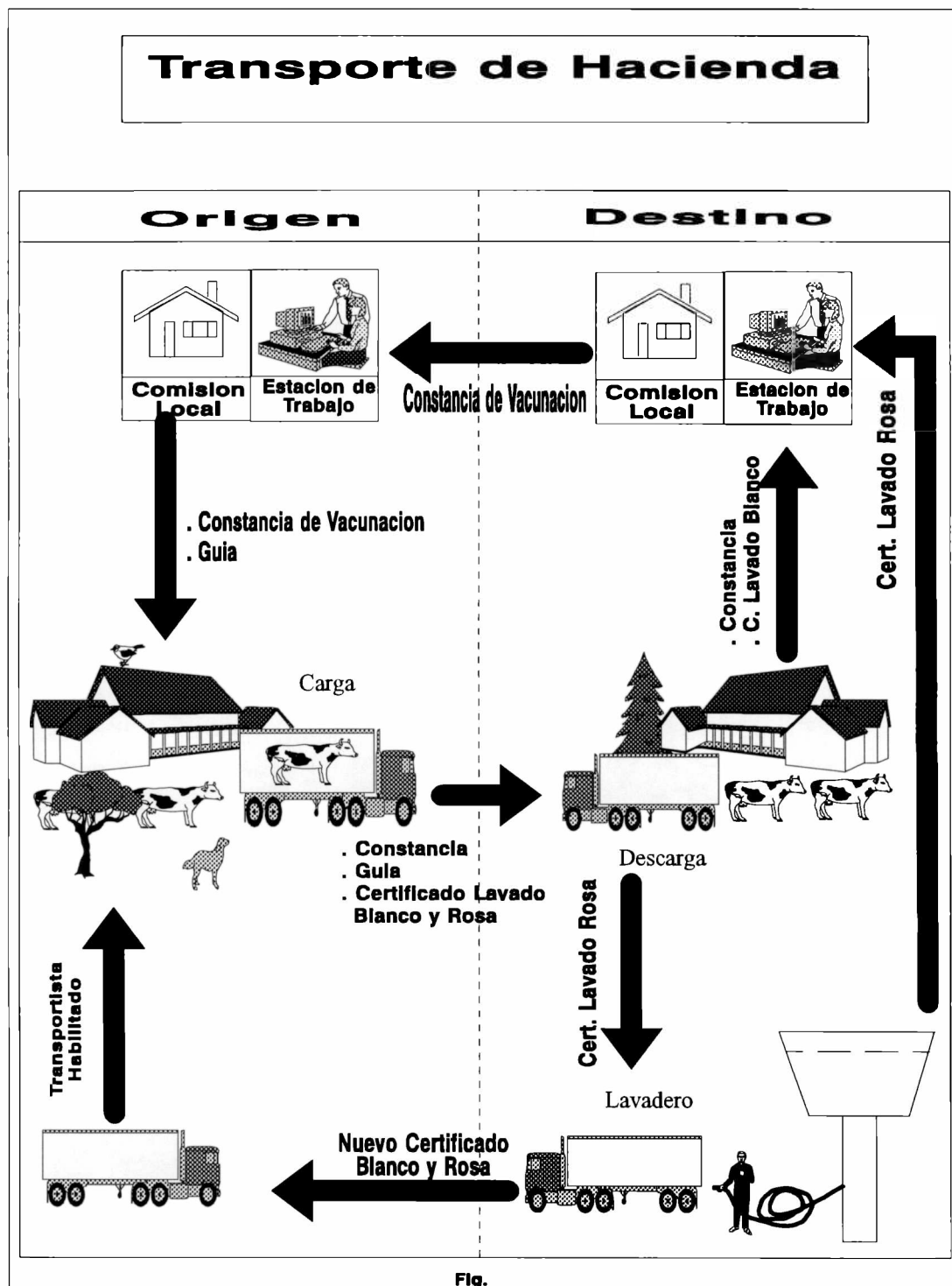


Fig. 6

4.1.4.2 Sistema de Regulación y Control

De la misma manera que en los puntos anteriores, el objetivo y los principales componentes del sistema de regulación y control del sistema epidemiológico son:

Objetivo:



Realizar con eficiencia las tareas, de control de gestión y auditoría de las normas y procedimientos establecidos para el sistema operante.

Elementos que lo componen:

- Gerencia del SELSA.
- Coordinación general de campo.
- Jefatura del programa aftosa.
- Supervisiones regionales.

4.1.4.3 El sistema Informativo

Objetivo:

Brindar información confiable, oportuna, y segura para el funcionamiento del sistema de regulación y control y sistema operante.

El sistema de información del sistema epidemiológico, cumplirá con las premisas establecidas en el "Modelo Conceptual Informático", y las indicadas en la Fig.1.

Elementos involucrados en el sistema de información:

- Todos los elementos del sistema Operante
- Todos los elementos del sistema de regulación y control.

Información a nivel de Comisión Local

La Base de Datos alfanumérica en la Estación de Trabajo de la Comisión Local, reflejará en todo instante la situación de la realidad en toda su área de influencia. Es así que podemos disponer de todos los datos que representan el funcionamiento y su historia, lo que nos permite el manejo estadístico de algunos parámetros importantes para la etapa de prevención de las enfermedades.

El profesional responsable de la toma de decisiones, debe disponer de una potente herramienta para manejar a voluntad todos los datos disponibles en la Base de Datos de la Comisión Local, generando información con cualquier combinación de los mismos, en forma interactiva y dinámica. Esta herramienta incluirá el manejo de las funciones estadísticas y la parte gráfica.

Información a nivel de Supervisión Regional

En este nivel, se generará una "Base de Datos de síntesis" con la información referente a la actividad realizada en todas las Comisiones Locales que se encuentran bajo su supervisión. Esto permitirá realizar el control de gestión de normas y procedimientos del sistema epidemiológico en toda su Zona de influencia. El Supervisor Regional contará con la misma herramienta de generación de información que el Profesional de las comisiones locales, para la toma de decisiones.

Información a nivel de Administración central

En una única "Base de Datos de síntesis" en la que se encontrarán almacenados los datos referentes al sistema epidemiológico a nivel Nacional. Los sectores involucrados para utilizar la información son los siguientes :

- Administración general
- Gerencia GELSA



Coordinación de Campo.
Jefatura de Programa

4.1.5 Arquitectura del Sistema Informático funcionando en Comisiones Locales

La (Fig.7), representa la arquitectura de la estación de trabajo (ET), dentro de la cuál se encuentran instalados todos los sistemas desarrollados para las Comisiones Locales. La misma fué diseñada teniendo en cuenta, principios de seguridad y facilidad de manejo, a los efectos de facilitar el soporte técnico en un área de 3.000.000 Km².

En la (Fig.7), se observa también, la arquitectura de los módulos de los sistemas instalados en las Comisiones Locales. Dichos módulos son los siguientes:

- 1- Padrón de Establecimientos y Productores.
- 2- Campañas de Vacunación.
- 3- Alarma Epidemiológica.
- 4- Facturación (Emisión de la constancia de vacunación).
- 5- Movimientos de hacienda.
- 6- Remate Feria.
- 7- Registro de Actividades.
- 8- Auditoria.
- 9- Seguridad.
- 10- Sistema de Información.
- 11- Utilitarios.

Padrón de Establecimientos y Productores

Este módulo comprende la gestión de una Base de Datos con los Productores y Establecimientos comprendidos en la zona de influencia de cada Comisión Local.

Dicha base contiene los datos característicos de los establecimientos, y además toda la información relacionada con la actividad de los productores, su stock de animales por categorías, como así también toda la información necesaria para el control del cronograma de vacunación por productor para la erradicación de Aftosa y Brucelosis.

En cuanto al stock de animales vacunados se mantiene actualizado, con todos los tipos de movimientos (Altas por nacimiento, bajas por muerte, compras, ventas, etc.)

Dentro del módulo, se pueden realizar consultas por pantalla con diferentes ordenamientos y listados de apoyo.

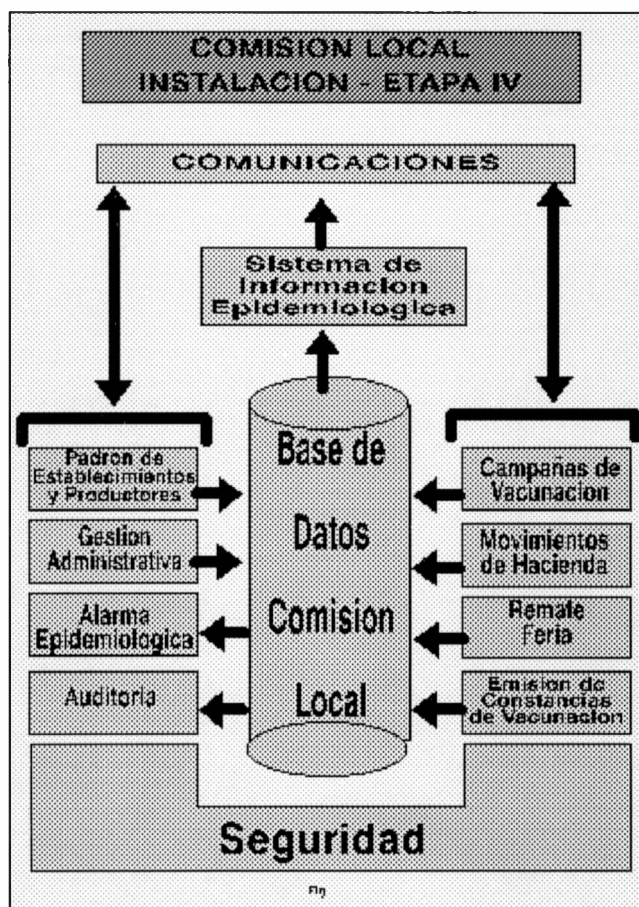


Fig. 7

Campañías de Vacunación

En este módulo se realiza la gestión de las Actas de vacunación, que son suministradas por las fundaciones a las Comisiones Locales durante la campaña. Esto permite comparar y conciliar la información contenida en las actas de vacunación, con el stock de hacienda por categoría que figura en la Base de Datos correspondiente al stock de hacienda del Productor.

Con el manejo de las fechas de campaña, dato que está incorporado en las constancias de vacunación emitidas para cada movimiento, es posible controlar la vigencia de la vacunación en los traslados de hacienda de un plan a otro.

A través de este módulo se puede comparar los resultados de las campañas de diferentes años. Para lograr dicho fin es necesario el mantenimiento de información histórica y la posibilidad de realizar consultas por pantallas con diferentes ordenamientos y listados de evaluación.

Alarma Epidemiológica

El objetivo fundamental de este módulo es el de suministrar una herramienta destinada a facilitar la tarea del profesional de la Comisión Local en la identificación de los movimientos realizados en los focos y perifocos. Esto permite, bloquear, en forma automática, la emisión de constancias de vacunación a todos los productores involucrados.



Con el sistema de comunicaciones, se podrá enviar la alarma epidemiológica a las otras zonas del SENASA afectadas por los movimientos realizados desde los establecimientos que se encuentran dentro del anillo de vacunación.

El sistema se valdrá de los datos cargados en el módulo de movimientos de hacienda y la ubicación de los Establecimientos de la zona para emitir la información necesaria de apoyo a las acciones que el veterinario local deberá realizar, en el momento de la visita al establecimiento afectado.

En este módulo se emitirá también el correspondiente "Protocolo de intervención en área de foco de Fiebre Aftosa".

Facturación (Cobro de aranceles)

A través de este módulo se emiten las constancias de vacunación solicitadas por productores a los efectos de realizar el movimiento de hacienda, y la factura correspondiente.

El sistema controla si corresponde o no emitir la constancia de vacunación, en función del stock por categoría de animales vacunados. El mismo se actualiza constantemente en la Base de Datos de la Comisión Local, con los distintos tipos de movimientos que el productor realiza. Esto se puede asimilar, a llevar una "cuenta corriente" de animales por cada productor. El módulo de auditoría está constantemente controlando las operaciones de este tipo que se realicen.

Movimientos de hacienda

A través de este módulo se realiza el control del movimiento de la hacienda en todo el País. Se registrarán los movimientos de hacienda producidos, entradas y salidas de la zona de influencia de la Comisión Local, y los realizados internamente en dicha zona.

Los movimientos, desde el punto de vista de la información, tendrá dos caminos:

El terrestre, en el cuál el transportista llevará la correspondiente constancia de vacunación e implícitamente toda la información que en ella se registra. Esta es:

- Origen y destino del movimiento.
- Cantidad de cabezas transportadas por categoría.
- Fecha de la última Vacunación de cada una de las categorías.
- Índice de riesgo, en función de la microcaracterización del establecimiento origen.
- Datos del transportista.

El de la red de comunicaciones (**Fig.8**), en la cuál viajará la misma información anterior.

Dentro de este modulo, se realiza el "cierre de la información" entre el origen y el destino. Esto significa, que cuando la comisión Local origen realiza un movimiento a un destino fuera de su zona de influencia, genera lo que se llama un movimiento abierto. Para producir el cierre del mismo, la Comisión Local destino deberá informar del arribo



satisfactorio. Esto significa, que en todos los movimientos, cualquiera sea su destino deberán estar cerrados, caso contrario se gatillará un proceso de control, que investigará el motivo de su permanencia en el modo "abierto".

En este sistema, el Concepto de cierre de información tiene dos procesos, la verificación previa del destino solicitado en el origen, y el control posterior que efectivamente el movimiento se realizó a dicho destino.

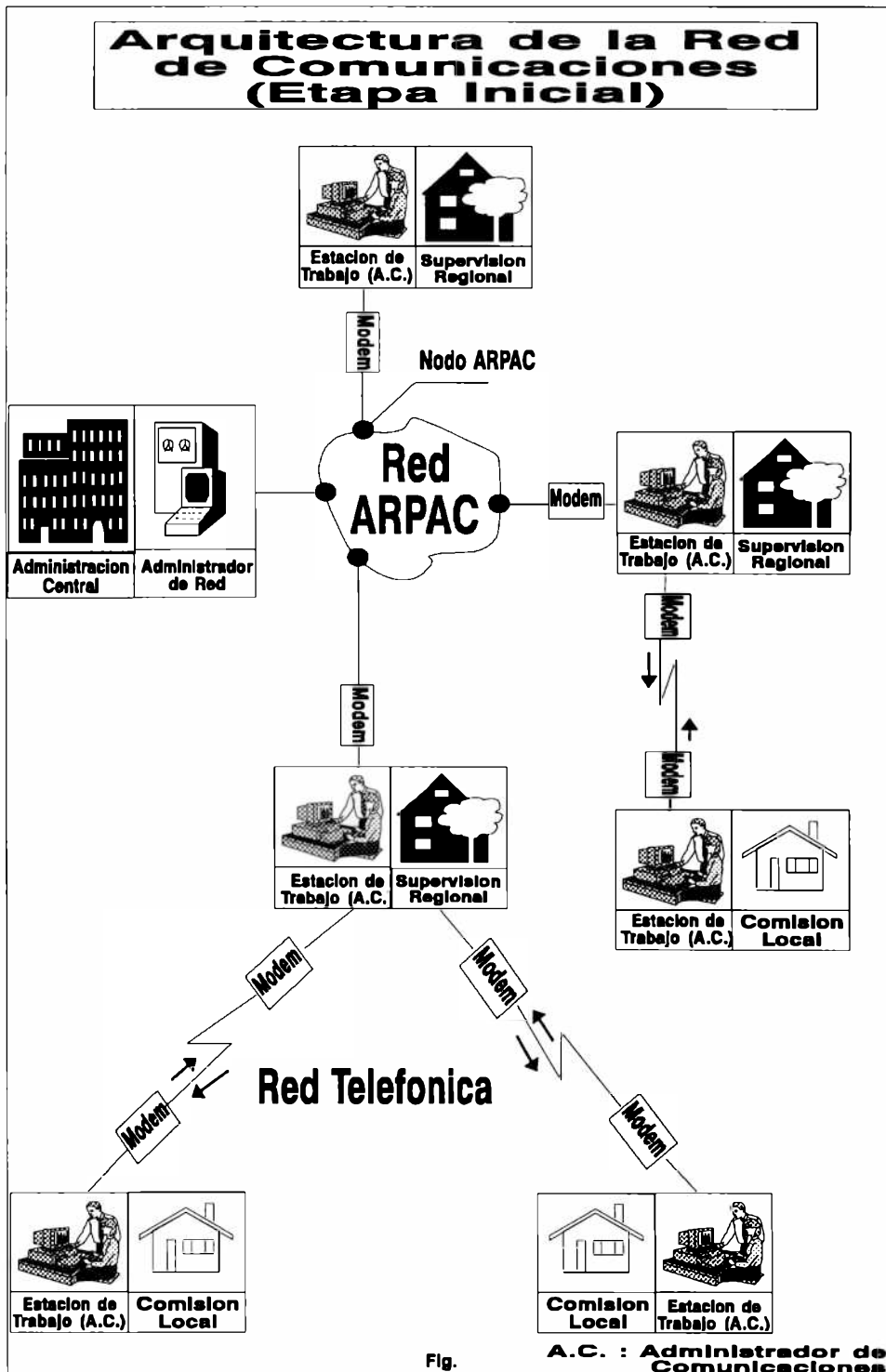


Fig . 8



Remate Feria (Fig.9)

Este módulo tiene por objetivo controlar las operaciones que se realizan en los remates ferias. Realiza el balance de entradas y salidas de animales al remate feria y emite un listado de control. Se registrarán, también, los ingresos a través de las constancias de vacunación, de la hacienda provenientes de aquellas zonas que por alguna razón no informaron a través del sistema de comunicaciones. En cuanto a las salidas del remate feria, se emitirán manualmente las constancias de vacunación según el procedimiento preestablecido de emisión.

Este módulo transfiere información a los módulos de control de movimientos de hacienda y facturación.

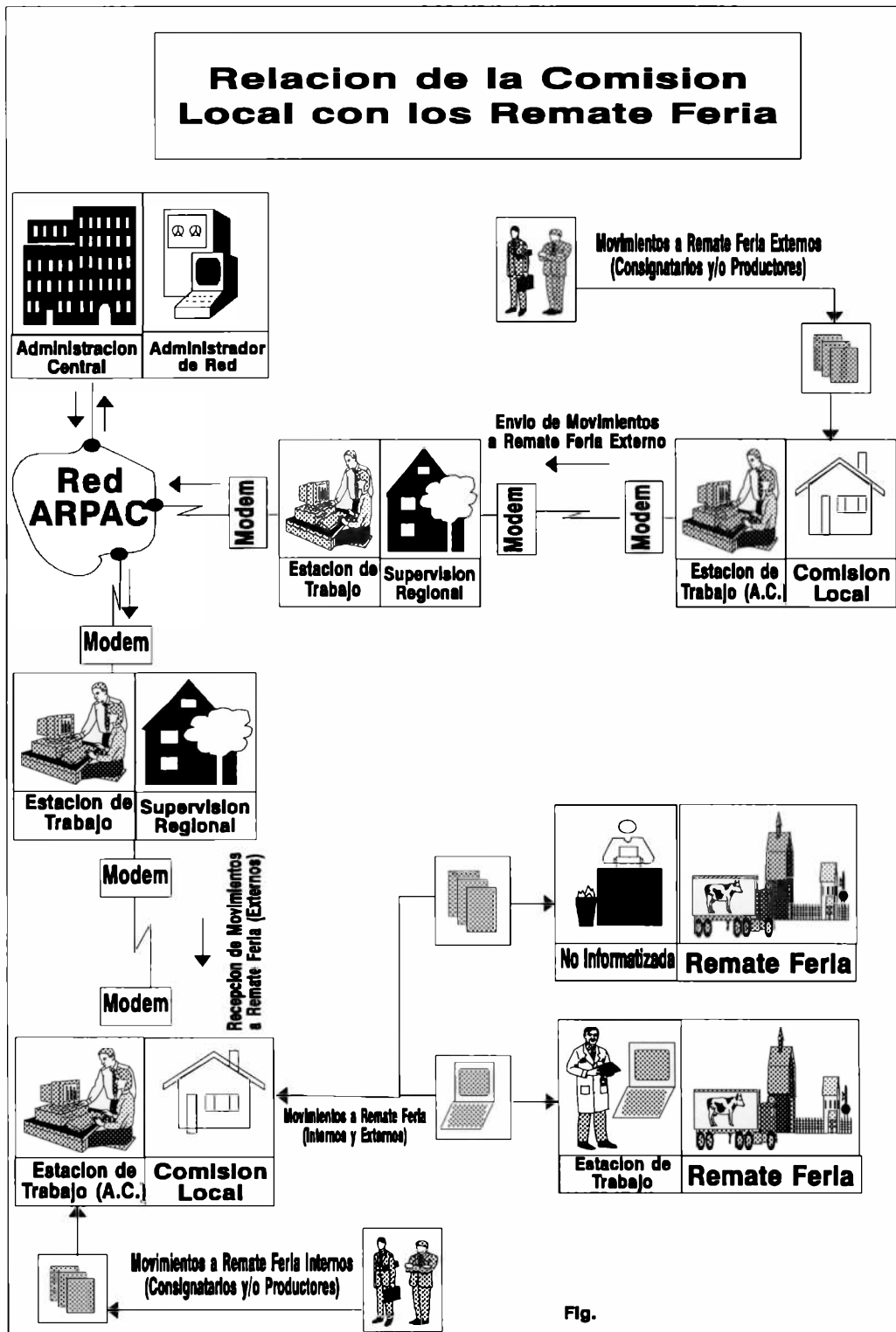


Fig.

Fig. 9

Seguridad

En la estación de trabajo de las Comisiones Locales se dispone de tres tipos de seguridad:

Evitar que el software desarrollado pueda ser ejecutado en otro equipamiento diferente del que fué instalado.



Evitar el acceso al área de disco donde se encuentran los archivos que maneja el sistema.

Evitar el acceso al sistema a personas no autorizadas. Para esto se valdrá de una clave maestra que administrará claves de usuario y permitirá un acceso a las distintas opciones en forma selectiva. Además se generará un archivo con la información de los accesos al sistema que alimentará al módulo de auditoría.

Sistema de Información

Si bien cada módulo brinda información inherente a su función específica, a través de esta parte del sistema se relacionan los datos disponibles en la base de datos para generar consultas y listados orientados a dar apoyo a la gestión del profesional de las Comisiones Locales.

4.1.6 Planteo del problema a resolver

Introducción

Sin duda, de acuerdo a lo expuesto en los puntos precedentes, uno de los principales factores que determinan el éxito de la gestión de una Organización de las características del SENASA consiste en el buen entendimiento de lo que sucede en el territorio cubierto por su área de influencia.

Históricamente los responsables de los distintos sectores de la Organización obtenían, en gran medida, este entendimiento recorriendo el territorio e informándose personalmente o a través de confiables colaboradores. Hoy en día el enorme caudal de información y su rápida velocidad de cambio hace que además deba valerse de adecuados sistemas de información.

Sin embargo, en el caso de la lucha sanitaria, el sistema de información tradicional con que cuenta el SENASA no presenta los datos "de los objetos y eventos" relacionados con su ubicación geográfica. Para visualizar y analizar la información que proveen dichos sistemas hay que imaginar su distribución espacial o volcarlos e interpretarlos sobre un mapa de papel, trabajo que lógicamente resulta muy lento y engorroso. Este es el mecanismo utilizado por las Comisiones Locales, Supervisiones Regionales y la GELSA en la Administración General.

Sin duda, y se desprende de lo expuesto hasta el momento, una herramienta G.I.S. puede constituir la solución más adecuada a la problemática del SENASA. Por este motivo se realizó la construcción de un prototipo para que pueda funcionar en el nivel operativo de las Comisiones Locales.

Este prototipo, deberá permitir realizar consultas georreferenciadas del tipo:

- Saber cómo se distribuye la población bovina. Como se segmenta por categorías, como se agrupan geográficamente dichos segmentos, evolución de su comportamiento, etc.
- Conocer dónde, en qué cantidad se encuentran las distintas delegaciones, Comisiones locales, etc.
- Visualizar dinámicamente los distintos tipos de movimientos que se realizan por campos, Partidos, Provincia, y País.
- Etc.

Este tipo de herramienta otorga un valor distinto a la información geográficamente ordenada, puesto que permite una mejor administración, control y planeamiento de la gestión de las misiones y funciones de la Organización. Esto es así por las siguientes razones :



- Se mejora la calidad de las decisiones porque permite integrar y analizar complejas relaciones entre diferentes tipos de datos. Por ejemplo población bovina, tipos de movimientos, faenas, marcas de vacuna, enfermedades post mortem, etc.
- Ante emergencias localizadas que requieren una rápida respuesta por parte de las autoridades sanitarias (focos, epidemias, fenómenos naturales, etc), permite establecer una estrategia adecuada con la urgencia del caso y facilita una mejor coordinación de tareas.
- Como herramienta de planeamiento, permite analizar y comparar el impacto de la implementación de estrategias alternativas, efectuando consultas del tipo "Qué pasa sí..." y "Dónde es que..."
- Como herramienta de administración y control de gestión .

4.1.7 Proyecto G.I.S. para una Comisión Local del SENASA

Introducción

En los puntos anteriores se explicó la potencialidad de la herramienta, los elementos que la componen y las características de los datos que maneja. Por otro lado se debería tener en cuenta la arquitectura de los sistemas informáticos del SENASA, basándonos en el funcionamiento de organizaciones distribuidas en territorios extensos como lo es nuestro País. Esto es, la necesidad de contar con módulos a nivel operativo (Distribuidos en todo el territorio Nacional como las Comisiones Locales y delegaciones), el nivel táctico o de Supervisión (caso de las Zonas o Supervisiones Regionales) y el nivel estratégico correspondiente (Gerencias y la Administración General). Este concepto podría hacerse traslativo al caso de un sistema de información territorial para el SENASA soportado en un G.I.S., para lo cuál en el caso de la lucha sanitaria, correspondería un G.I.S. para cada uno de los tres niveles de la pirámide (**Ver figura 10**).

Algunos de los problemas que deberían resolverse considerando como válido un planteo como el anterior, serían los siguientes:

1. Establecer con los expertos epidemiólogos las distintas capas de interés que debería tener el G.I.S., a los efectos del control de las enfermedades.
2. La actualización permanente de los datos alfanuméricos en los distintos niveles.
3. La disponibilidad y carga inicial de la cartografía y los datos geográficos.
4. El mantenimiento de las modificaciones cartográficas y de los datos geográficos en los distintos niveles.

Punto 1 : Este punto es muy importante, lo tienen que definir los expertos en epidemiología y determina el volumen de datos que son necesarios incorporar en la base de datos geográfica. Como ejemplo podríamos considerar las siguientes capas de información:

Cartografía de la República Argentina, con la información catastral digitalizada de los establecimientos ganaderos.

La información hidrográfica.

La red carretera.

La distribución de la especie Porcina.

Capa correspondiente a información topográfica.

Ubicación física de las Comisiones, Delegaciones, etc.



Lógicamente se podrían agregar varias capas más, tales como: las provincias, partidos, capitales, red ferroviaria; temáticas de población humana, distribución de animales salvajes que pueden ser transmisores de determinadas enfermedades, etc.

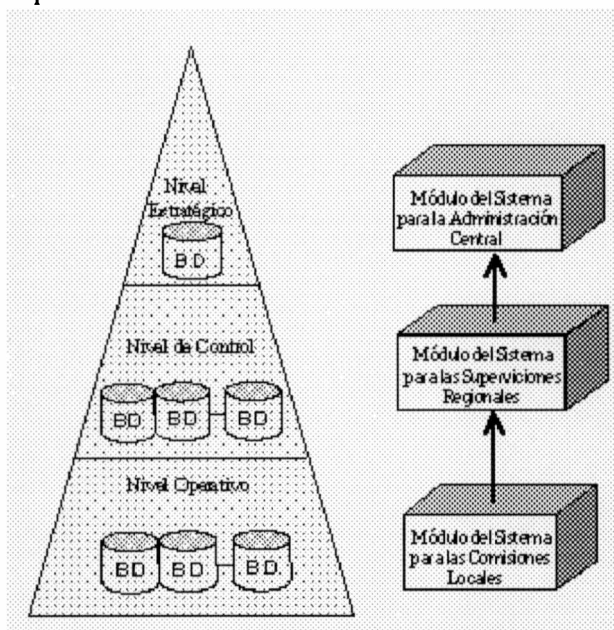


Fig. 10

Punto 2 : Como lo establece el proyecto informático, en cada nivel de la pirámide se encuentran las bases de datos con información alfanumérica de su área de influencia. Es así, que cada Comisión Local tiene su BD, la Supervisión la suya y finalmente la Administración Central. Lógicamente para disponer de una consistencia en la información, se debe establecer un mecanismo de actualización de los datos en los distintos niveles. Para ello se debería utilizar la red de comunicaciones oportunamente definida.

La incorporación de un proyecto G.I.S., posiblemente establecerá la necesidad de modificar algunos diseños de las bases de datos alfanuméricas de la Organización.

Punto 3 : Este punto está relacionado con el **Punto 1**. Como se puede intuir, uno de los problemas más importantes que surgen en este tipo de proyectos, es el de establecer los datos que se deben incorporar a la base de datos geográfica, la calidad de los mismos (por ejemplo el nivel de precisión) y cómo se puede realizar la carga inicial. Podemos asegurar que en el mercado existe la posibilidad de adquirir algunas de las capas que se establecieron como ejemplo. En consecuencia una tarea importante de este punto, es identificar cuáles son los datos que ya están disponibles en el mercado para su incorporación al proyecto.

Un equipo de personas responsables de las tareas de digitalización, constituye una necesidad ineludible dentro del proyecto, puesto que se deberán responsabilizar del mantenimiento de los datos cartográficos.

Punto 4 : De la misma manera que los datos alfanuméricos, es necesario realizar el mantenimiento de los datos digitalizados. Por ejemplo las divisiones o uniones de los campos que se puedan producir en los distintos puntos del País, el cambio de una zona epidemiológica, la creación de nuevas zonas administrativas, sanitarias, etc.

Lógicamente toda la organización deberá disponer de esta información oportuna



y consistentemente. Para ello es necesario establecer los procedimientos y una organización que responda a estas necesidades. Por ejemplo:

- Disponer de una oficina centralizada para realizar los procesos de digitalización .
- Crear la figura del administrador del G.I.S., con la responsabilidad de mantener los datos actualizados en todo el País.
- Establecer los mecanismos de actualización de los Datos geográficos en todos los niveles de la organización.
- Utilizar la red de comunicaciones como soporte de actualización, tal como está previsto para las bases alfanuméricas.

4.1.7.1 El modelo de la Comisión Local de Castelli

Introducción

A los efectos de mostrar el funcionamiento de un G.I.S. a nivel operativo, se construyó un modelo tomando como referencia la Comisión Local de Castelli. El mismo funciona utilizando la base de datos alfanumérica del "Sistema Epidemiológico" y dentro de las características de hardware definidas para una Estación de Trabajo.

Como se estableció en los puntos anteriores, el funcionamiento de una comisión Local se deberá basar en la utilización de la información puntual de su área de influencia, sea ésta proveniente de un G.I.S. o simplemente de la base alfanumérica, y la información global correspondiente al resto de la organización. Para cumplir con estos requerimientos, fué necesario realizar modificaciones en el diseño de base de datos de la Comisión Local y la incorporación y captura de los datos necesarios para las distintas capas definidas para el funcionamiento del modelo.



4.2 Descripción de las etapas del proyecto

4.2.1 Etapa I

Luego del estudio de los conceptos de los sistemas G.I.S., de sistemas de coordenadas y sus proyecciones, de cartografía, del producto a utilizar y de la organización y problemática del Senasa, se procedió a realizar un relevamiento de la información que constó de entrevistas con el responsable de la Comisión Local del Senasa en Castelli (lugar hacia el cual se orientó el prototipo) para determinar la operatoria que se realiza en el lugar, metodología actual de trabajo, funcionamiento y aprovechamiento del sistema de información ya instalado, como así también tipo y uso de la cartografía existente en el lugar. Se entrevistó al responsable del desarrollo del Sistema de Información ya existente tomando conocimiento de las capacidades y alcances del mismo, del tipo de información disponible para ser utilizada por el prototipo a desarrollar, obteniéndose por otro lado un esquema detallado del funcionamiento de la organización, del rol que cumple el actual sistema y del que cumpliría la probable inserción de la aplicación a desarrollar. Por último se consultó al Supervisor responsable de la instalación de los puestos de trabajo en el territorio de la República Argentina para trazar un perfil del futuro usuario, como así también obtener su valioso punto de vista sobre el posible aprovechamiento de un sistema G.I.S. dentro de las necesidades y problemática diaria de la Organización, ya sea a nivel operativo como gerencial.

El siguiente paso fue la realización del análisis de requerimientos tomando como base toda la información obtenida en los pasos previos y teniendo en cuenta las posibilidades que brinda la herramienta G.I.S.; lo que derivó en la determinación de los objetivos del proyecto y del producto esperado.

4.2.2 Etapa II

En general, en toda organización, se tiene un Sistema de Información alfanumérico; cuando sus datos están de alguna manera influenciados o dictados por alguna relación o detalle geográfico; junto con el paso del tiempo, la aparición de la necesidad de analizar esa información geográficamente y el descubrimiento de las herramientas G.I.S. por parte de estas organizaciones, nace la posibilidad de integrar estos dos tipos de Sistemas de Información aprovechando la base de datos existente.

Hoy en día los sistema G.I.S. forman una PARTE del sistema total de información, donde es el encargado de proveer la componente espacial. Con esto se quiere notar, que la BD generalmente existe y es administrada por productos (DBMS) inigualables en esa tarea y a cuyos datos es posible acceder externamente. Esto deriva en que el G.I.S. aporta la base de datos espacial al Sistema de Información, y relaciona a los objetos de esta con información alfanumérica ya existente mediante conexiones a estos datos ya sea en forma nativa o mediante los DBMS.

Este es el caso del prototipo desarrollado, el cual obtiene la información (en su mayoría) del Sistema de Información ya instalado y agrega los datos particulares necesarios en cada caso, sin modificar ni interferir los existentes

En sistemas donde la componente espacial es el núcleo del mismo, y donde la necesidad de manejar información está sola y totalmente ligada a la componente gráfica, justifica un diseño de los datos en función del G.I.S. a desarrollar.



4.2.2.1 Diseño de la BD

En general, la base de datos de un G.I.S. posee dos componentes (dos bases separadas): la geográfica y la alfanumérica, haciendo el G.I.S. de nexo entre ambas. Se cree que en un futuro no muy lejano, dichos componentes residirán en una sola base. Una aproximación para su implementación son las Bases de Datos Orientadas a Objetos.

A) Identificación de los datos espaciales y sus atributos

Las funciones a cumplir por el prototipo, determinaron, entre otras, una serie de consultas geográficas a realizar, ya sea por medio de procesos realizados por el sistema (construcción de un mapa temático sobre ciertas categorías de ganado en establecimientos ganaderos), como así también mediante la simple visualización de determinada información geográfica que no requiere de ningún tratamiento particular (ej. visualización de las delegaciones y los partidos de las provincias). Dichas consultas determinaron el conjunto de entidades geográficas a ser incluidas en la BD. Asociados a estas, en base a los datos ya existentes del Sistema de Información y a los nuevos requerimientos, se determinaron los atributos correspondientes a cada una.

Entidad Geográfica	Clase de Entidad
Provincias	Región
Partidos	Región
Establecimientos de Castelli	Región
Capitales de Provincias	Punto
Cabeceras de Partidos	Punto
Ríos	Línea
Lagos	Región
Rutas	Línea
Ferrocarriles	Línea
Regiones Epidemiológicas	Región
Supervisiones Regionales	Región
Coordinaciones Regionales	Región
Comisiones Locales	Punto
Delegaciones	Punto
Focos de Aftosa	Región

Atributos de las Entidades

Provincias

ID_Provincia
 Nombre Provincia
 Cabezas de Ganado Bovino
 Población Masculina
 Población Femenina

Partidos

ID_Partido
 Nombre Partido

Establecimientos de Castelli

ID_Establecimiento



Código del SENASA
Nombre Establecimiento
ID_Titular
Paralelo
Meridiano
Letra
Cantidad de Potreros
Cantidad de Mangas de Bovinos
Cantidad de Corrales de Bovinos

Capitales de Provincias

ID_Cabecera
Nombre Cabecera

Cabeceras de Partidos

ID_Partido
Nombre Partido

Ríos

ID_Río
Nombre Río

Lagos

ID_Lago
Nombre Lago

Rutas

ID_Ruta
Nombre Ruta

Ferrocarriles

ID_Ferrocarril
Nombre Ferrocarril

Regiones Epidemiológicas

ID_Región
Número Región

Supervisiones Regionales

ID_Supervisión
Número de Zona

Coordinaciones Regionales

ID_Coordinación
Nombre Coordinación

Comisiones Locales

ID_Comisión
Veterinario Responsable
Localidad
ID_Partido
Calle
Teléfono
Código Postal

Delegaciones

ID_Delegación
Responsable Delegación
Localidad



ID_Partido
Calle
Teléfono
Código Postal
Tipo de Domicilio
Movimiento Promedio Mensual
Movimiento Pico Diario

Focos de Aftosa

ID_Foco
Cantidad de Potreros
Cantidad de Mangas de Bovinos
Cantidad de Corrales de Bovinos
Cantidad Vacas
Cantidad Vaquillonas
Cantidad Terneros
Cantidad Terneras
Cantidad Novillos
Cantidad Novillitos
Cantidad Toros
Cantidad Bueyes

Atributos Geográficos

Al momento de la creación de las entidades geográficas, Atlas GIS genera entre otros, los siguientes atributos para cada clase de entidad

Línea

Largo de la línea

Región

Área
Centroide
Perímetro
Punto
Latitud, Longitud

La aplicación G.I.S. hace uso de los atributos descriptos precedentemente. Debido a la normalización de la información, existen otros atributos que son utilizados por el Sistema de Información y se relacionan indirectamente con los asociados a las entidades geográficas.

Los datos “heredados” del Sistema de Información son archivos planos, que se acceden mediante ODBC (Open DataBase Connectivity) desde código de Visual Basic y mediante funciones propias de Atlas GIS cuando este tiene el control de las mismas.

Debido a que cada atributo geográfico se relaciona con sus datos en la base de datos alfanumérica mediante un identificador, fueron agregados campos para cumplir esta función, los cuales no interfieren con el normal desenvolvimiento del Sistema de Información.

Entre las entidades no geográficas están:



Unidades Productivas

ID_Establecimiento
ID_UnidadProductiva
ID_Titular

Especies por Unidad Productiva

ID_UnidadProductiva
ID_Especie
Cantidad de Cabezas

Movimientos de Hacienda

ID_Movimiento
ID_TipoMovimiento
ID_MotivoMovimiento
ID_EntidadOrigen
ID_EntidadDestino

Cabe aclarar que estos datos forman un subconjunto de toda la información disponible del Sistema de Información. El propósito del prototipo no fue aprovecharla en su totalidad, sino demostrar la viabilidad del uso de la misma sin afectar los datos existentes.

B) Organización de las capas

Las capas creadas fueron organizadas teniendo en cuenta que todas las instancias de cada entidad geográfica residieran en una misma. Las capas resultantes son:

Entidad Geográfica
Provincias
Partidos
Establecimientos de Castelli
Capitales de Provincias
Cabeceras de Partidos
Ríos
Lagos
Rutas
Ferrocarriles
Regiones Epidemiológicas
Supervisiones Regionales
Coordinaciones Regionales
Comisiones Locales
Delegaciones
Focos de Aftosa

Este enfoque permite una clara y ordenada visualización de la entidades geográficas mediante el ocultamiento y visibilidad de las correspondientes.



c) Identificación de las coberturas a ser capturadas

Se partió de un mapa base existente del territorio de la República Argentina, el cual contenía información geográfica de la división política de la misma: límites nacionales, provincias, partidos, capitales, cabeceras; principales accidentes geográficos: lagos, ríos, costas; y vías de comunicación terrestre: rutas y ferrocarriles. Dicho mapa estaba en coordenadas UTM-20.

La información geográfica faltante, por las necesidades del proyecto, o sea la cartografía de Castelli, se obtuvo del Mapa Rural utilizado por el SENASA. Esta se eligió entre otras, por ser la misma con que se trabaja en la organización, porque proveía los datos geográficos faltantes al mapa base y por adaptarse su escala a las necesidades del proyecto.

4.2.3 Etapa III

La entrada de datos espaciales se realizó mediante la digitalización de la cartografía mencionada en la etapa anterior utilizando la técnica de digitalización manual con tableta digitalizadora. Para esta tarea, luego de evaluar un producto CAD (MicroStation), se optó por realizarlo con el G.I.S., debido al formato propietario del mismo sobre sus bases de datos geográficas, lo que complicaba el uso de una fuente externa para la obtención de las mismas.

Entre los problemas presentados y resueltos se encontraron:

- ☞ Georreferenciar, mediante la ubicación de puntos de control, el Mapa Rural, el cual no se provee con coordenadas.
- ☞ Digitalizar la cartografía de Castelli en un sistema de coordenadas distinto al del mapa base, luego proyectarla e incorporarla a la cartografía base, minimizando las posibles diferencias entre ambas.
- ☞ La relación del tamaño de la tableta digitalizadora respecto de la cartografía a incorporar no era la adecuada (tableta pequeña), causando esto reiterados desplazamientos del mapa para poder abarcar su totalidad, con el consecuente arrastre de errores de precisión normales en estas condiciones de desarrollo. Esto se solucionó mediante la detección y corrección de los errores en base a un exhaustivo control de calidad de los datos geográficos.

Respecto a la generación de la topología, cabe aclarar que esta es generada automáticamente por el G.I.S. en el momento de la creación de cada entidad geográfica, y es posible también georreferenciarla en la misma operación. Esto evita errores en la creación de la topología, pues se chequea automáticamente en el instante de la digitalización.

4.2.4 Etapa IV

En función de la tres etapas anteriores, y aprovechando las ventajas del entorno de programación utilizado, el cual permite una rápida prototipación, se generó un primer prototipo, el cual fue evolucionando a medida que era evaluado en su funcionamiento por los potenciales usuarios del mismo, quienes corregían, redefinían y/o aprobaban su comportamiento. Esto derivó en la aplicación modelo obtenida.



4.3 Descripción de GeoNasa*

A los efectos de optimizar el funcionamiento de una Comisión Local del SENASA, y apoyar en la toma de decisiones se construyó un modelo tomando como referencia la Comisión Local de Castelli. El mismo funciona utilizando la base de datos alfanumerica del "Sistema Epidemiológico" ya existente dentro de la Organización y dentro de las características de hardware que actualmente está utilizando.

El funcionamiento de una Comisión Local se deberá basar en la utilización de la información puntual de su área de influencia, sea esta proveniente de un G.I.S. o simplemente de la base alfanumérica, y la información global correspondiente al resto de la Organización. Para cumplir con estos requerimientos, fué necesario realizar modificaciones en el diseño de base de datos de la Comisión Local y la incorporación y captura de los datos necesarios para las distintas capas definidas para el funcionamiento del modelo.

En general, podemos decir que se realizaron consultas del siguiente tipo:

MAPA \Rightarrow DATOS, donde se señala un sector del mapa para obtener la información alfanumerica asociada a él. Por ejemplo, seleccionando un campo, podemos obtener el nombre del titular, superficie, cantidad de potreros, cantidad de bovinos, etc.

DATOS \Rightarrow MAPA, donde se ingresa la información alfanumerica en forma de pregunta (consultas definidas por el usuario) y se obtiene como respuesta una señalización sobre el mapa de los objetos que satisfacen la consulta. Por ejemplo: indicar todas las Delegaciones del País que posean una cantidad de movimiento de ganado mensual mayor que 100 y menor que 250 obteniéndose como respuesta una señalización sobre el mapa de los puntos representativos de la ubicación física de las Delegaciones que cumplen con esta condición.

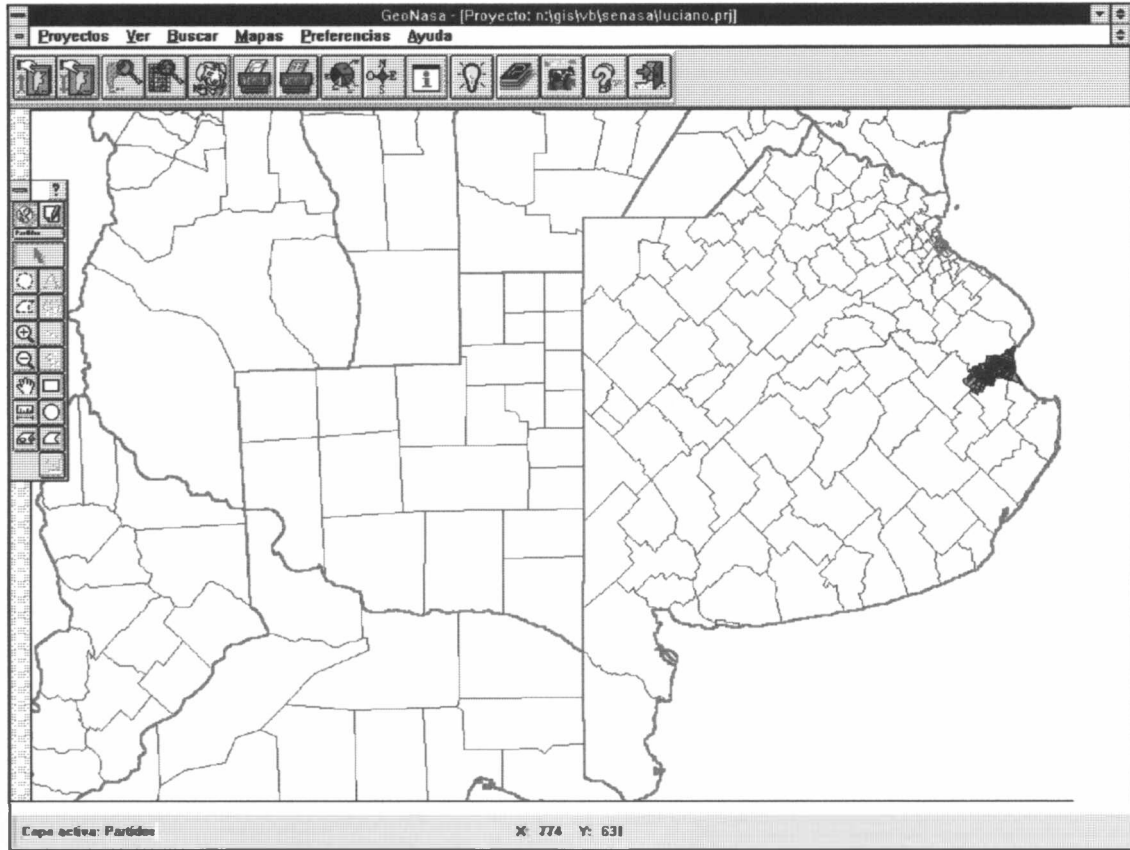
MAPA \Rightarrow MAPA, permiten que a partir de la selección de una parte del mapa, la aplicación indique sobre el mismo otros sectores que cumplan una determinada condición. Por ejemplo, marcando un campo o conjunto de campos en Castelli, la aplicación señala los lugares del País que le enviaron hacienda.

DATOS \Rightarrow DATOS, consiste en establecer una consulta en base a datos alfanumericos y obtener como respuesta información del mismo tipo. Estas consultas que en realidad pueden ser satisfechas con cualquier base de datos alfanumericas, se ven potenciadas dentro del G.I.S., ya que este dispone de información espacial.

* GeoNasa es el nombre de la Aplicación.

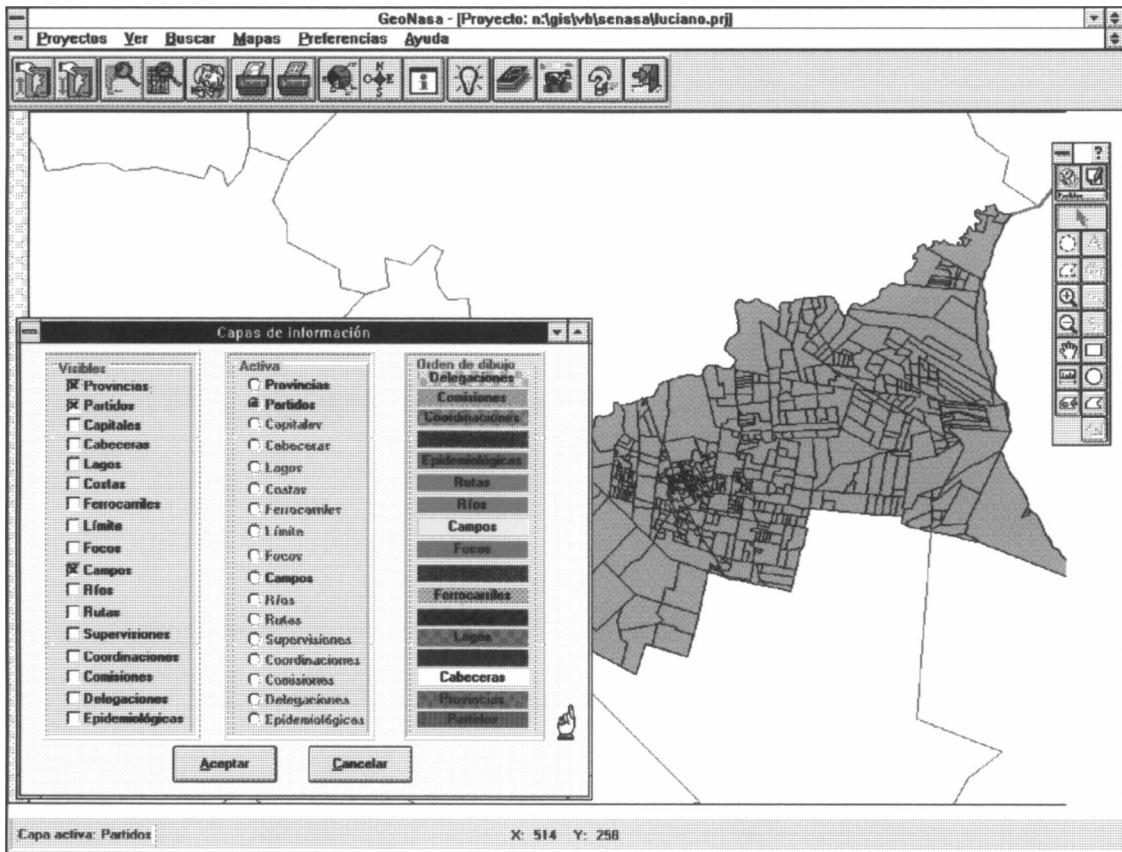


En esta figura puede observarse una pantalla de GeoNasa, donde se aprecia que su operación se realiza utilizando una interfase icónica sobre Windows. En este caso se realizó un zoom en una parte la República Argentina y se están visualizando simultáneamente las capas de Provincias, Partidos y Campos de Castelli.



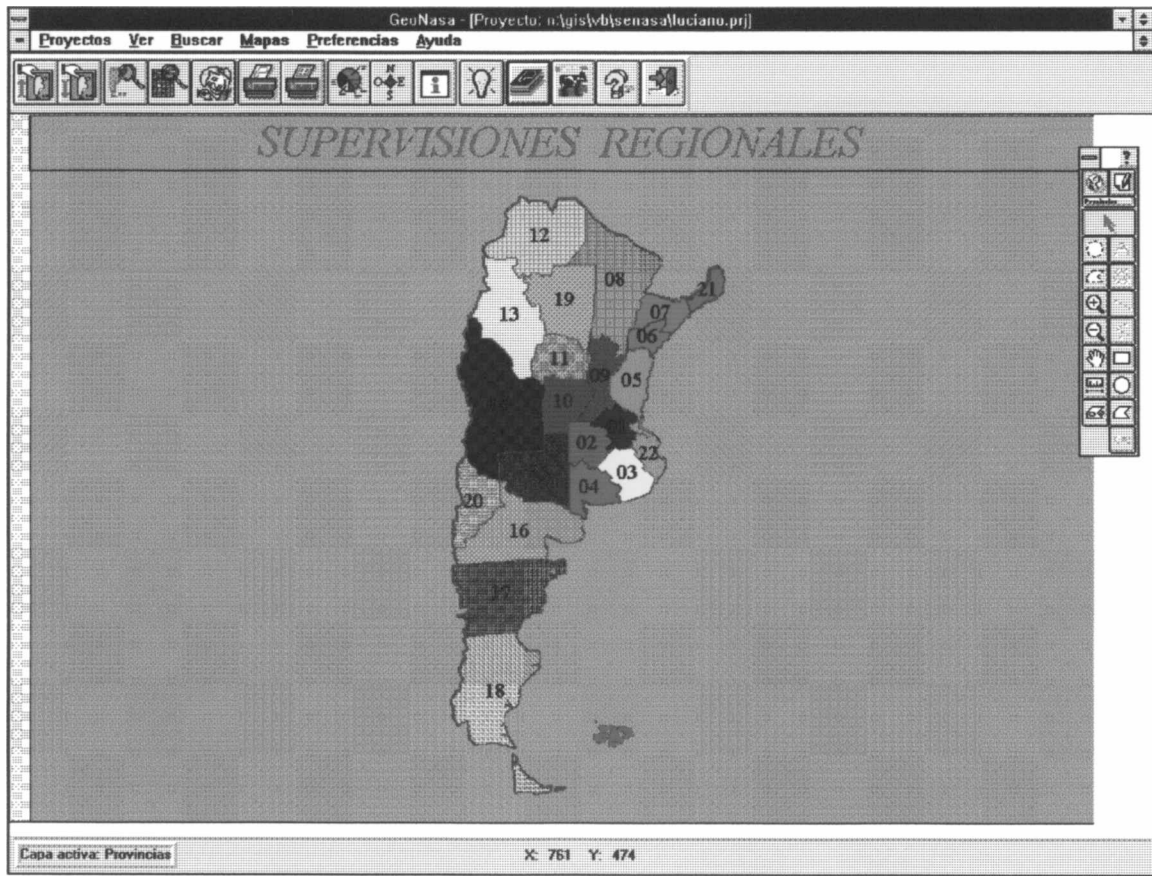


La figura nos muestra todas las capas de información que posee la aplicación. En la pantalla se muestran tres sectores. En uno de ellos se pueden seleccionar todas las capas que queremos que se visualicen a la vez, en otro sector se define la capa activa (aquella que es sensible a los “clic” del usuario) y en el tercero, se establece el orden en el cual se dibujarán las capas (esto permite tener visiones diferentes para una mejor interpretación de lo que se está analizando).



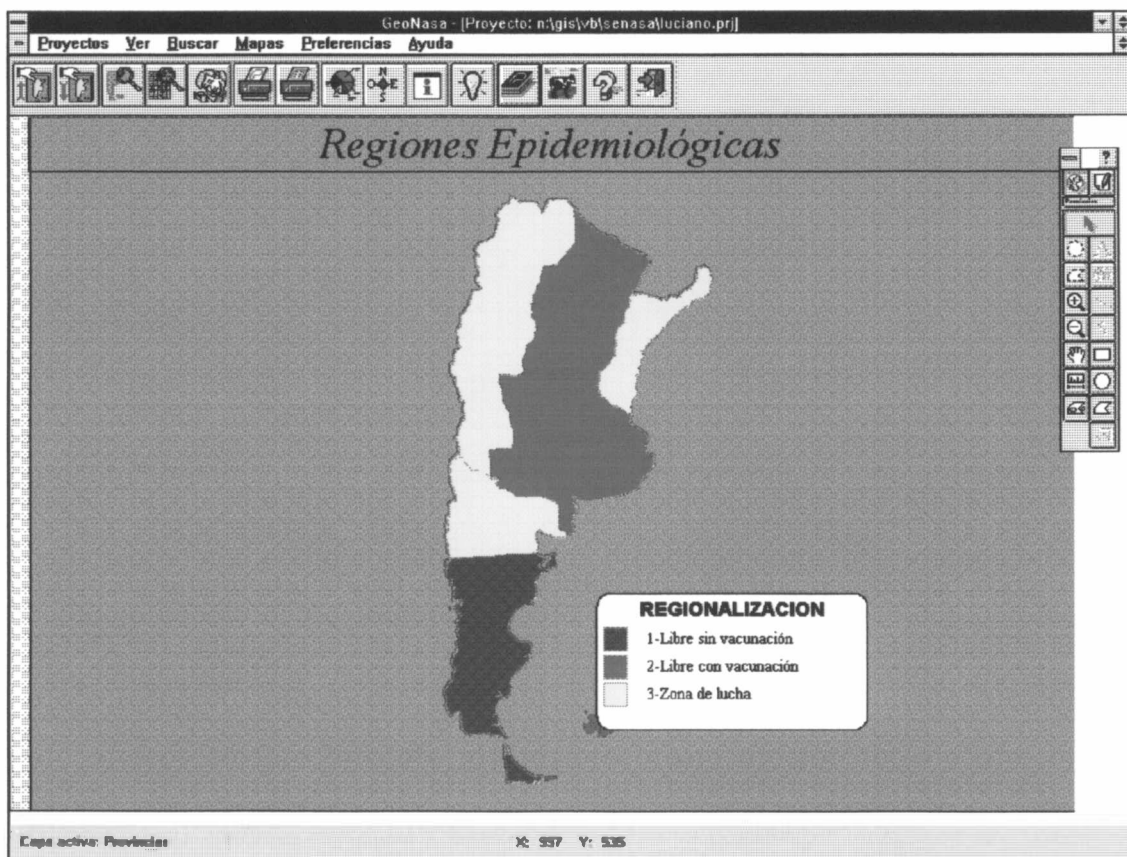


Esta figura nos muestra el área de influencia (fronteras geográficas) que tienen las Supervisiones Regionales.



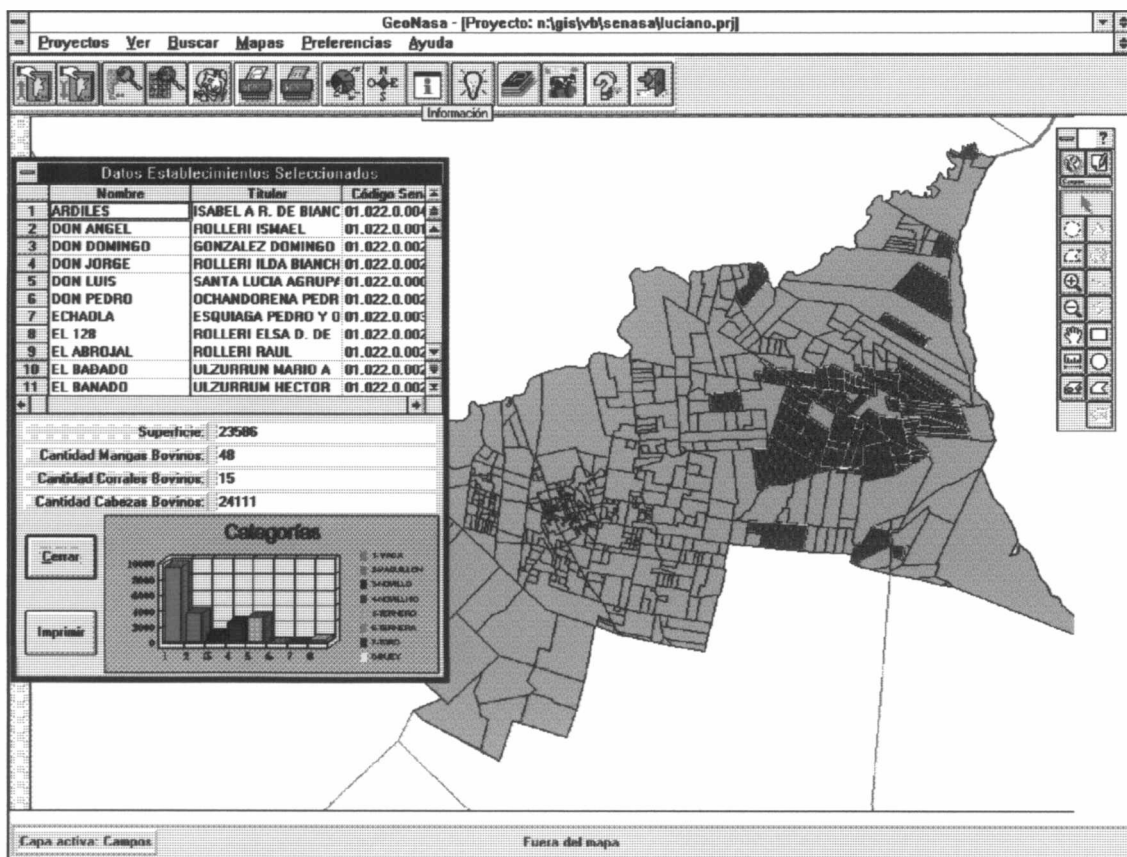


Aquí pueden apreciarse las fronteras de las distintas Regiones Epidemiológicas para la aftosa en todo el país.



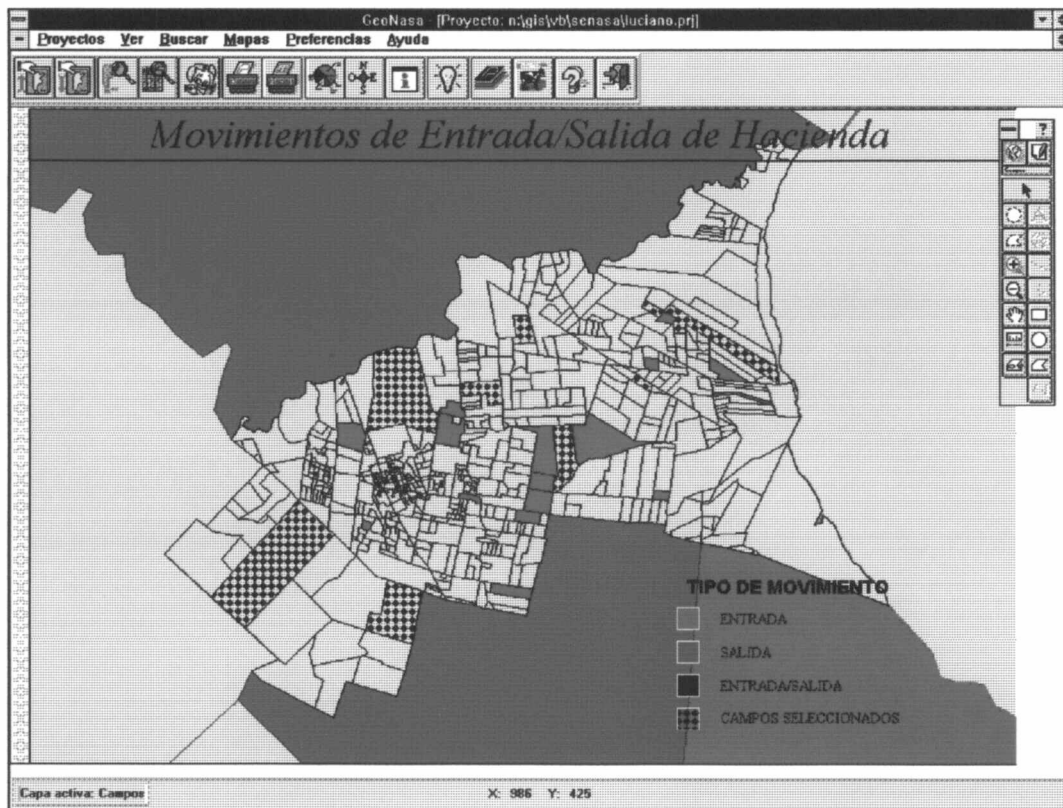


El gráfico, nos muestra la imagen de todos los campos dentro del Partido de Castelli. Marcando en el mapa un campo o conjunto de campos, podemos obtener la información alfanumérica asociada junto con algunos datos estadísticos que consideran al conjunto seleccionado.



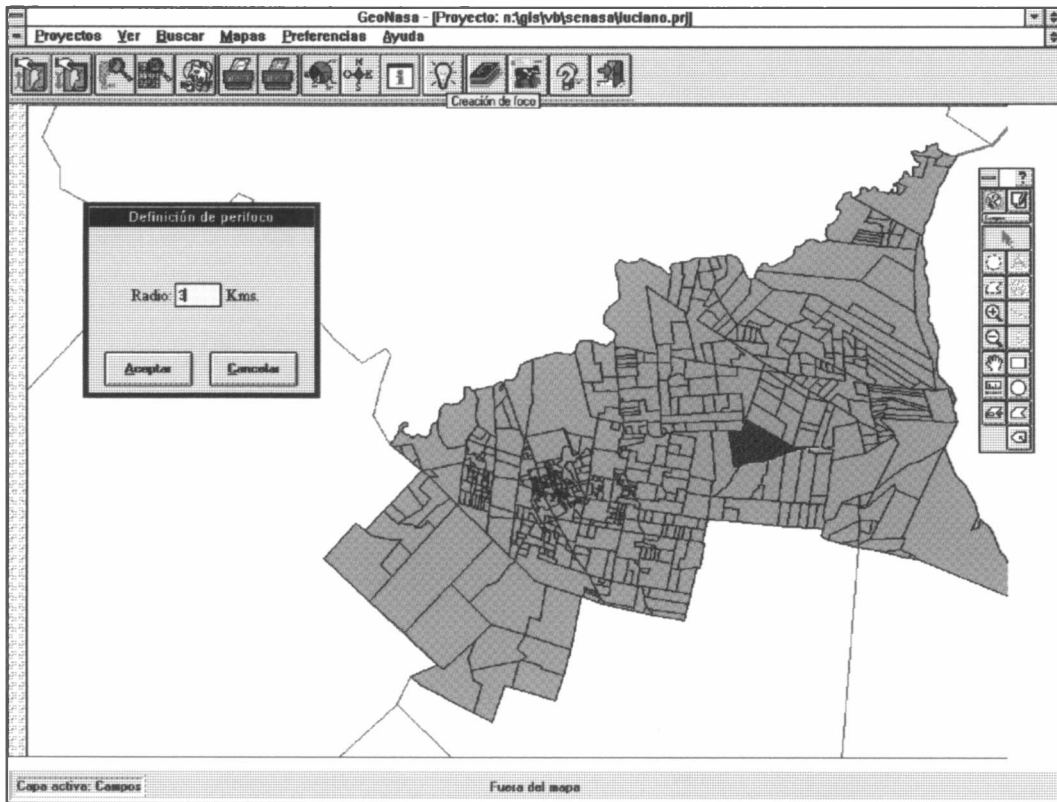


La información sobre movimientos de hacienda es de gran importancia para el control de la aftosa. Cuando se detecta un campo con aftosa, se debe determinar a que lugares se envió hacienda y desde que lugares llegó a fin de tomar las medidas pertinentes. Para este caso, la consulta se genera indicando el campo con aftosa y automáticamente la aplicación marcará sobre el mapa, todos los lugares que han recepcionado o enviado hacienda al campo de referencia. La siguiente figura muestra el resultado de analizar varios campos con aftosa:



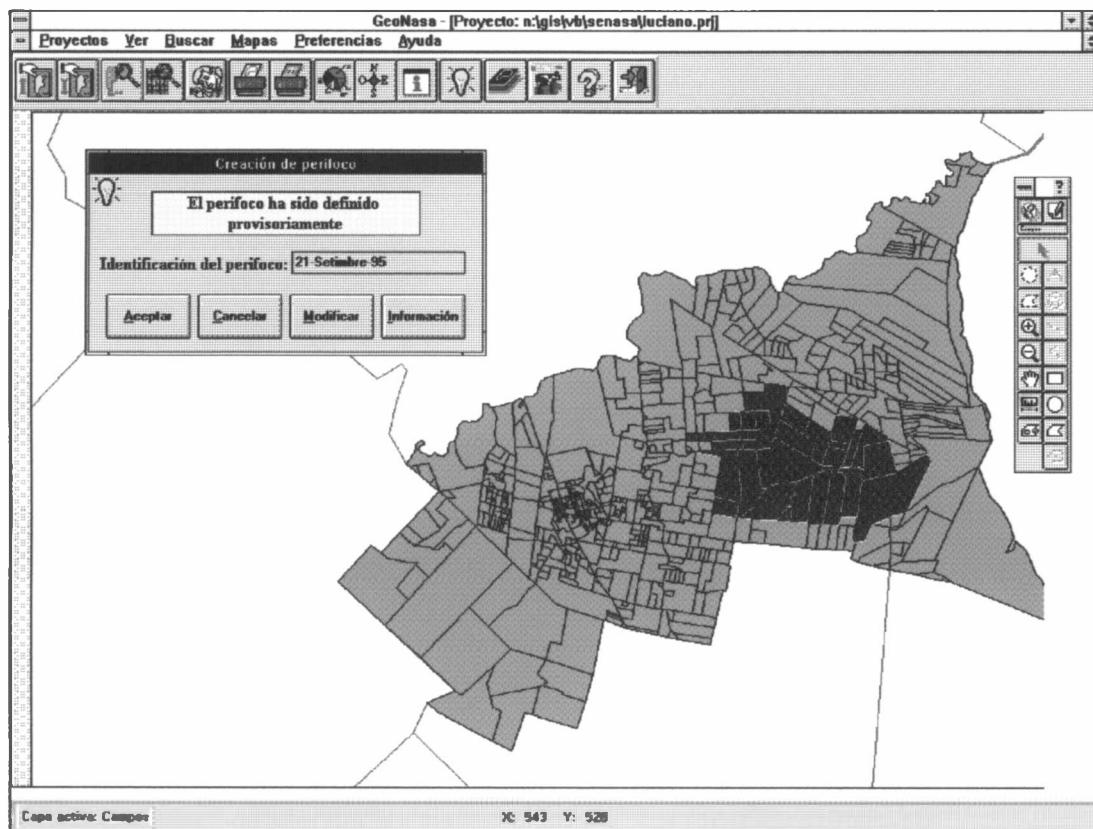


Cuando es detectado un campo con aftosa, se debe generar un perifoco. Esto significa, que se deberá identificar a los campos que se encuentran dentro de un radio determinado por el usuario, dado que éstos corren riesgo de contagio. Luego que el usuario indica el campo infectado, la aplicación pregunta el radio que tendrá el perifoco de la siguiente manera:





Luego que el usuario indica el radio, la aplicación marcará los campos que se encuentran en riesgo de contagio (perifoco). A partir de aquí, el usuario puede agregar o quitar campos a la selección propuesta por la aplicación para observar “que pasaría si ...”; o puede confirmarlo como un foco, esto significa que pasará a formar parte de un registro histórico de focos de aftosa tanto en forma gráfica como alfanumérica.





La manera que tiene el usuario de determinar los alcances del perifoco es analizar la información alfanumérica que puede solicitar en cada paso del análisis como puede observarse en la siguiente figura:

The screenshot shows the GeoNasa software interface. At the top, there is a menu bar with options: **Proyectos Ver Buscar Mapas Preferencias Ayuda**. Below the menu is a toolbar with various icons for map navigation and analysis. The main window is divided into several sections:

- Datos Establecimientos Seleccionados:** A table listing selected establishments with columns for Nombre, Titular, and Código Senc.

Nombre	Titular	Código Senc
15 LA SALADA	MICONO DE CIUZZANI	01.022.0.000
16 LAS ESCOBAS	IRIARTE ANIBAL	01.022.0.000
17 LO DE CHELO	PERALTA HERMANOS	01.022.0.000
18 LOS MOLLES	ULQUE ELSA	01.022.0.000
19 LOS MOLLES	RONCORONI HNOS	01.022.0.000
20 LOS MOLLES	DE NOBILI SILVIA Y M	01.022.0.000
21 LOS MOLLES	LAVIGNE LORENZO	01.022.0.000
22 LOS RIOJANOS	ENRIQUE GARAT AGR	01.022.0.000
23 PUESTO DE SING	ALDAZ ELSA B DE	01.022.0.000
24 SANTA ANA	ROLLERI SOFIA DIAZ I	01.022.0.000
25 SANTA TERESITA	ARCA JUAN JOSE	01.022.0.000
- Summary Statistics:**
 - Superficie: 22316
 - Cantidad Mangos Bovinos: 22
 - Cantidad Conales Bovinos: 4
 - Cantidad Cabezas Bovinos: 22379
- Categorías:** A bar chart showing the distribution of categories 1 through 8. The y-axis ranges from 0 to 10000. A legend on the right lists categories: 1-MAE, 2-SANAGALLO, 3-SANAGALLO, 4-SANAGALLO, 5-SERRA, 6-SERRA, 7-SERRA, 8-SERRA.
- Creación de perifoco:** A dialog box with the message "El perifoca ha sido definido provisoriamente" and "Identificación del perifoco: 21-Setiembre-95". It includes buttons for "Aceptar", "Cancelar", "Modificar", and "Información".

At the bottom of the window, it shows "Capa activa: Campos" and coordinates "X: 543 Y: 528".



En esta pantalla podemos ver como el usuario obtiene información de un foco histórico a los efectos de realizar análisis estadísticos.

The screenshot shows the GeoNasa software interface. At the top, the title bar reads "GeoNasa - [Proyecto: N:\GIS\VR\SENASA\DEMOFOCO.PFL]". Below the title bar is a menu bar with "Proyectos", "Ver", "Buscar", "Mapas", "Preferencias", and "Ayuda". A toolbar with various icons is located below the menu bar. The main window displays a map of land parcels, with one parcel highlighted in dark grey. To the right of the map is a panel titled "Información del foco" containing a table with the following data:

	Nombre	Titular	Código Sena
1	DOBA FRUMA	LEWIN RUBEN	01.022.0.004
2	DON MARIO	LOZA JOSE LUIS	01.022.0.002
3	GRANJA MARIEL	SUCESION MARTINEZ	01.022.0.003
4	LA DELIA	LARRAZA ABEL	01.022.0.003
5	LA LUISA	MASSEIRA ALBERTO	01.022.0.004
6	LA LUISA	EGUIA CARLOS	01.022.0.001
7	LA PELADA	TERRAGARBA S.A.	01.022.0.001
8	LA POLYDRILLA	GUERRERO MANUEL J	01.022.0.001
9	LA RAQUEL	FUNDACION GUERREF	01.022.0.004
10	LDS OMBUES	GUERRERO MANUEL J	01.022.0.001
11	QUINTA	MATOS HECTOR I.	01.022.0.004

Below the table, the statistics panel shows:

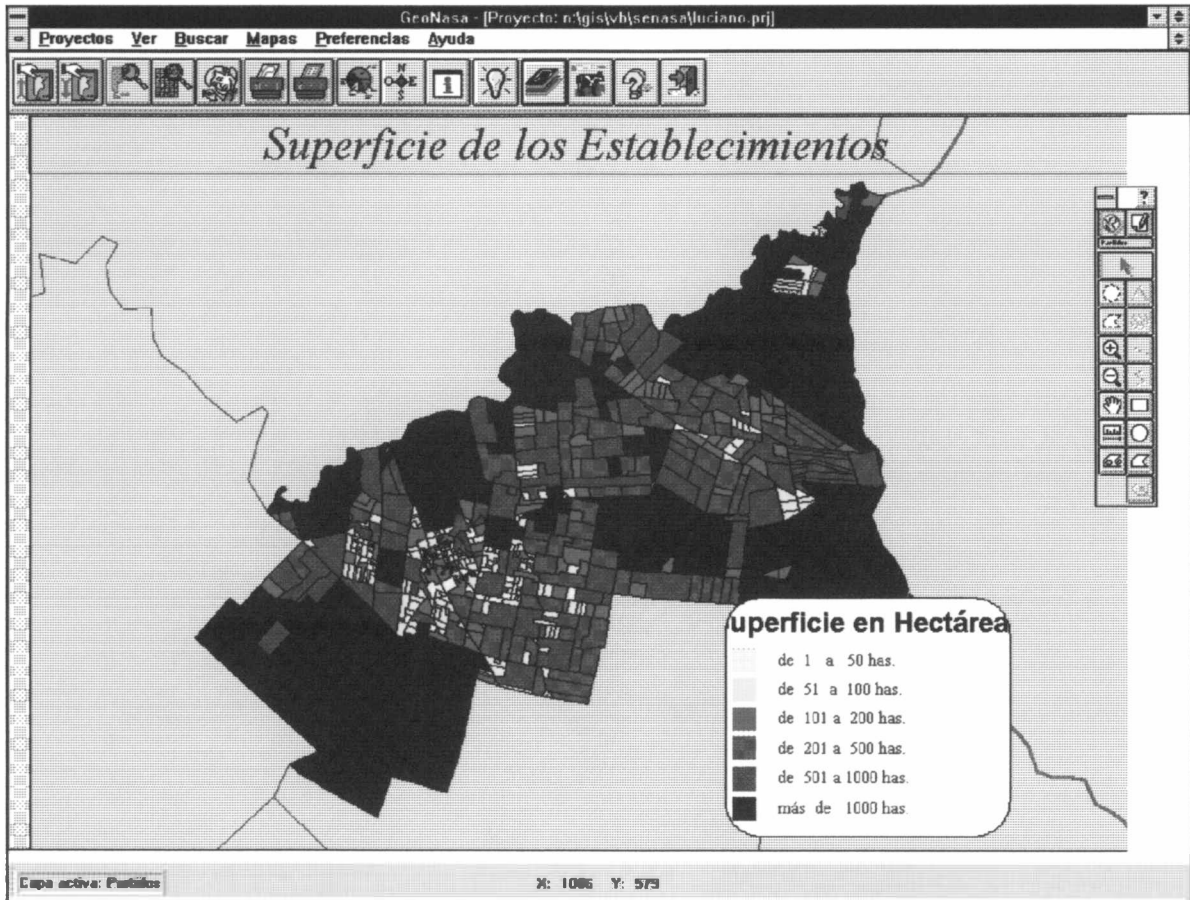
- Superficie: 10065
- Cantidad Mangas Bovinas: 14
- Cantidad Corrales Bovinos: 5
- Cantidad Cabezas Bovinas: 7996

At the bottom of the statistics panel is a bar chart titled "Categorías" with a legend on the right. The legend includes categories: 1-VIEJA, 2-SEMILLON, 3-SEMILLO, 4-SEMILLO, 5-SEMILLO, 6-SEMILLO, 7-SEMILLO, and 8-SEMILLO. The bar chart shows the distribution of these categories, with category 1 having the highest value (around 7000) and category 8 having the lowest (around 1000).

At the bottom of the interface, the status bar shows "Capa activa: Focos" and coordinates "X: 405 Y: 107".

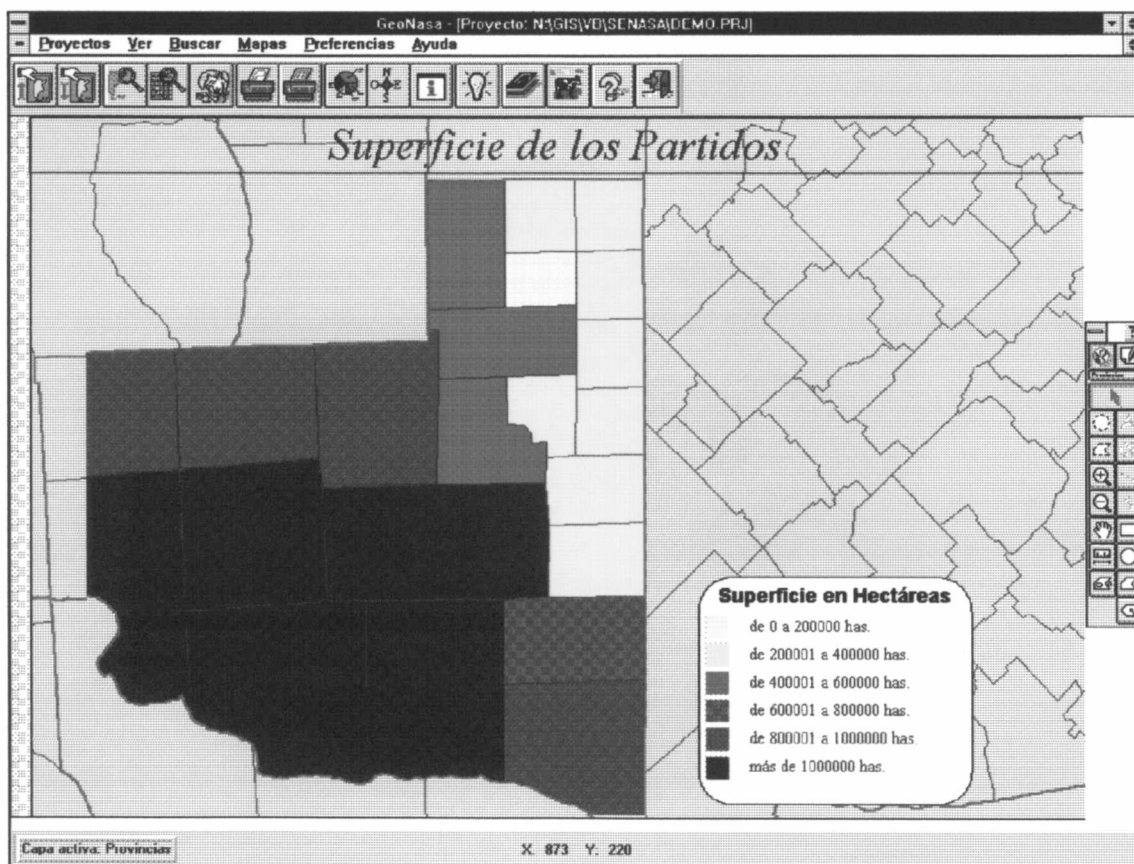


Cierto tipo de determinaciones suelen tomarse considerando las superficies de los campos. Por ello, GeoNasa puede mostrar gráficamente todos los campos de Castelli separándolos en rangos de superficies que se encuentran en intervalos predefinidos.





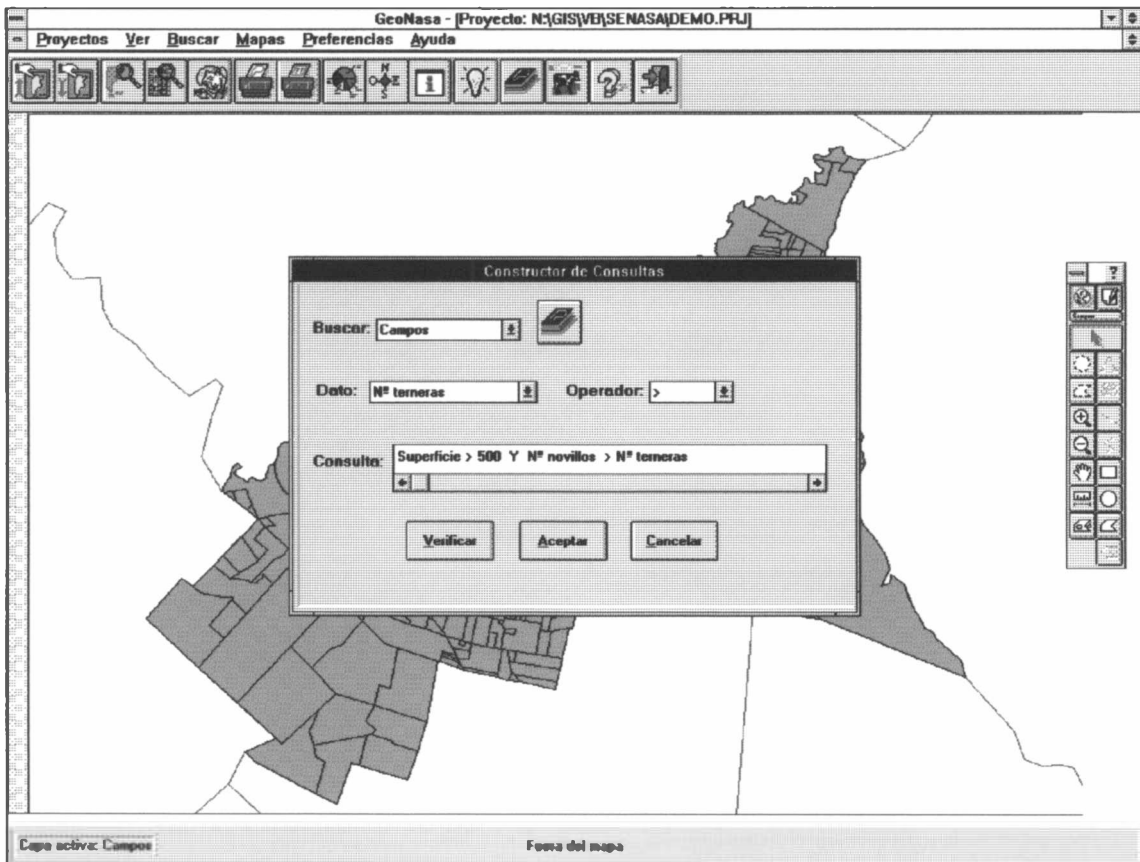
De manera similar que en el caso visto precedentemente, algunas veces es necesario tomar decisiones basadas en las superficies de los partidos. Para ello, la aplicación permite que el usuario seleccione una provincia y obtenga luego una visión clara de las superficies de los partidos que la componen.





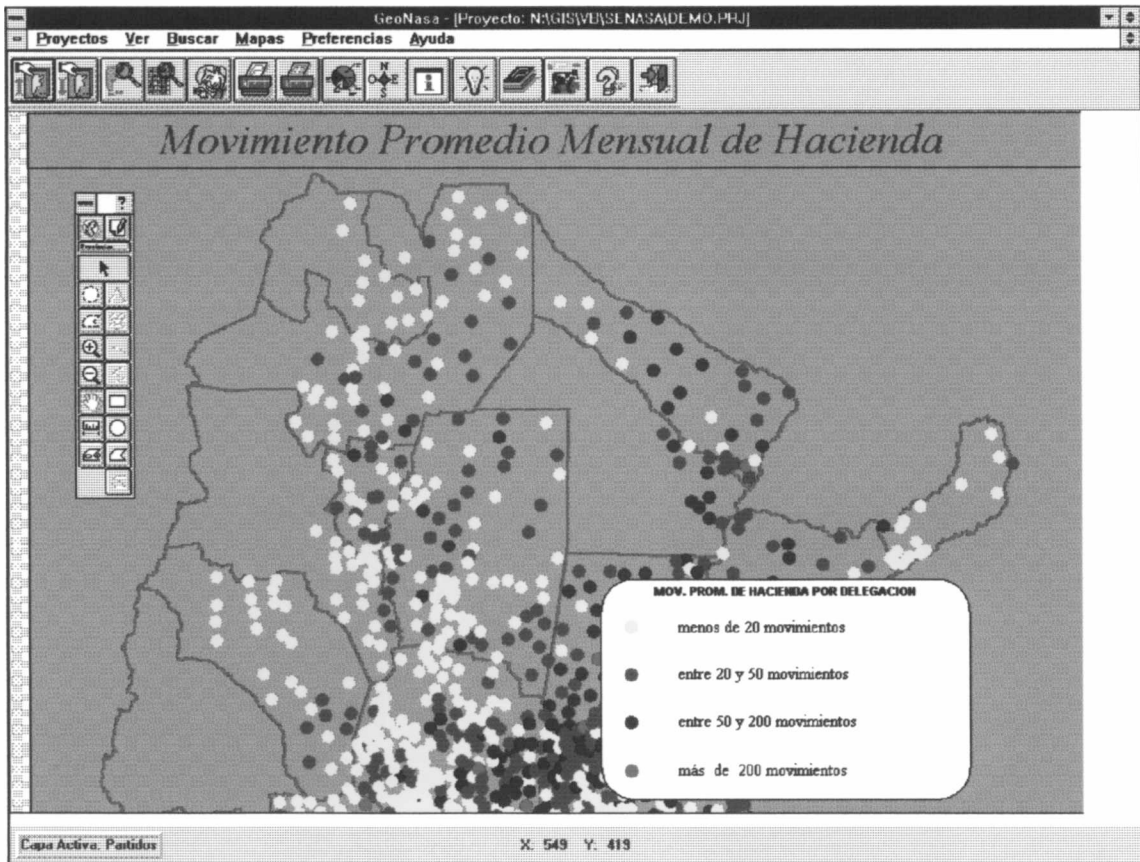
Para las ocasiones en que sea necesario localizar geográficamente alguna Comisión Local, Campo, Provincia, Partido, etc. teniendo en cuenta alguna condición, se puede utilizar el “Constructor de Consultas”. Esta herramienta ha sido desarrollada para que el usuario pueda generar sus propias consultas de una manera amigable y en un lenguaje natural. En el ejemplo siguiente, puede observarse como se consturye una consulta para localizar aquellos campos que poseen una superficie de más de 500 Has. y tienen más novillos que terneras.

Una vez que Geonasa localiza los campos en cuestión, el usuario podrá solicitar más información sobre ellos (nombre de los propietarios, cantidad total de ganado de posee cada uno, cantidad de cabezas que posee por cada categoría, etc.) pudiendo imprimir esta información si lo considera necesario.





Una buena manera de analizar los movimientos de hacienda, es considerar la cantidad de movimientos que se registran mensualmente en las Delegaciones. La aplicación es capaz de mostrar las Delegaciones con distintos colores para dar una idea clara del flujo de ganado que se registra mensualmente en cada una de ellas.

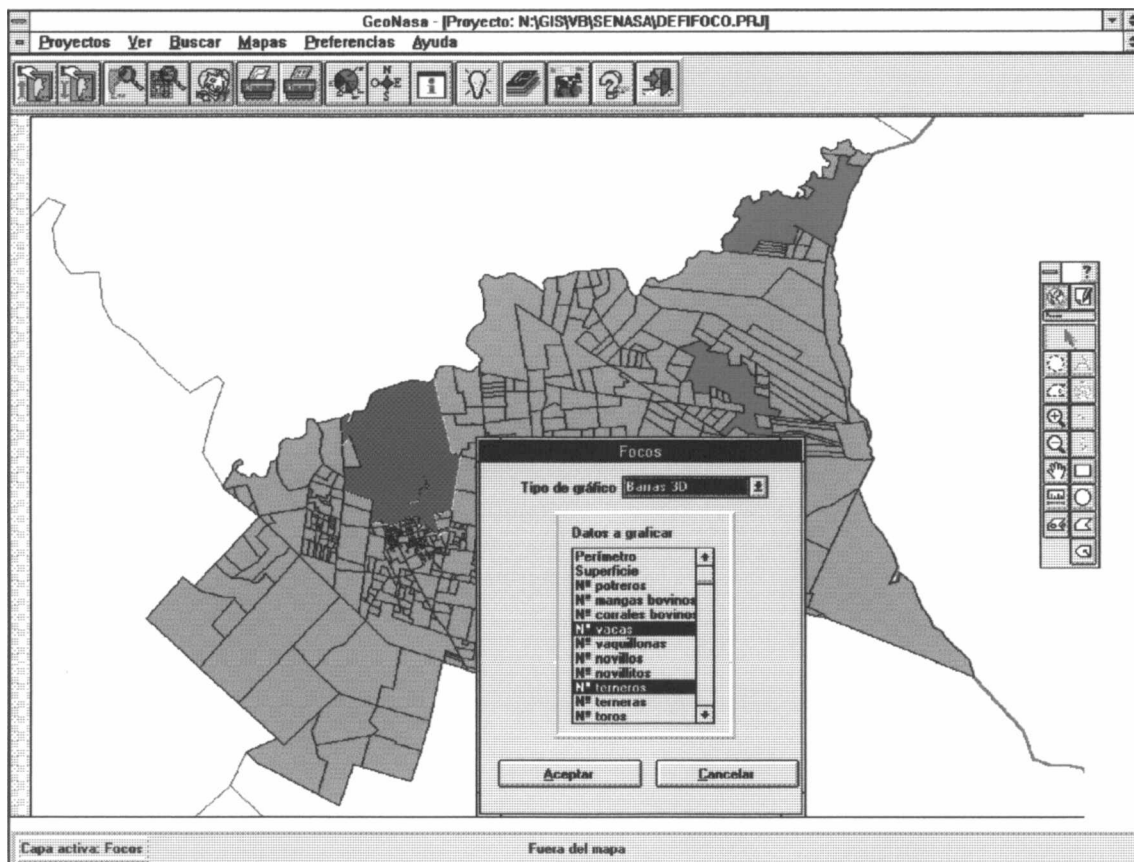


Si al usuario le interesara obtener información ampliada de una Delegación, (quizas porque observó que alguna de ellas registra más de 200 movimientos mensuales) podría ver el nombre de su responsable, la cantidad de productores, la cantidad de movimientos promedios mensuales que se realizan en ella y otros datos como el domicilio del encargado, código postal, etc.



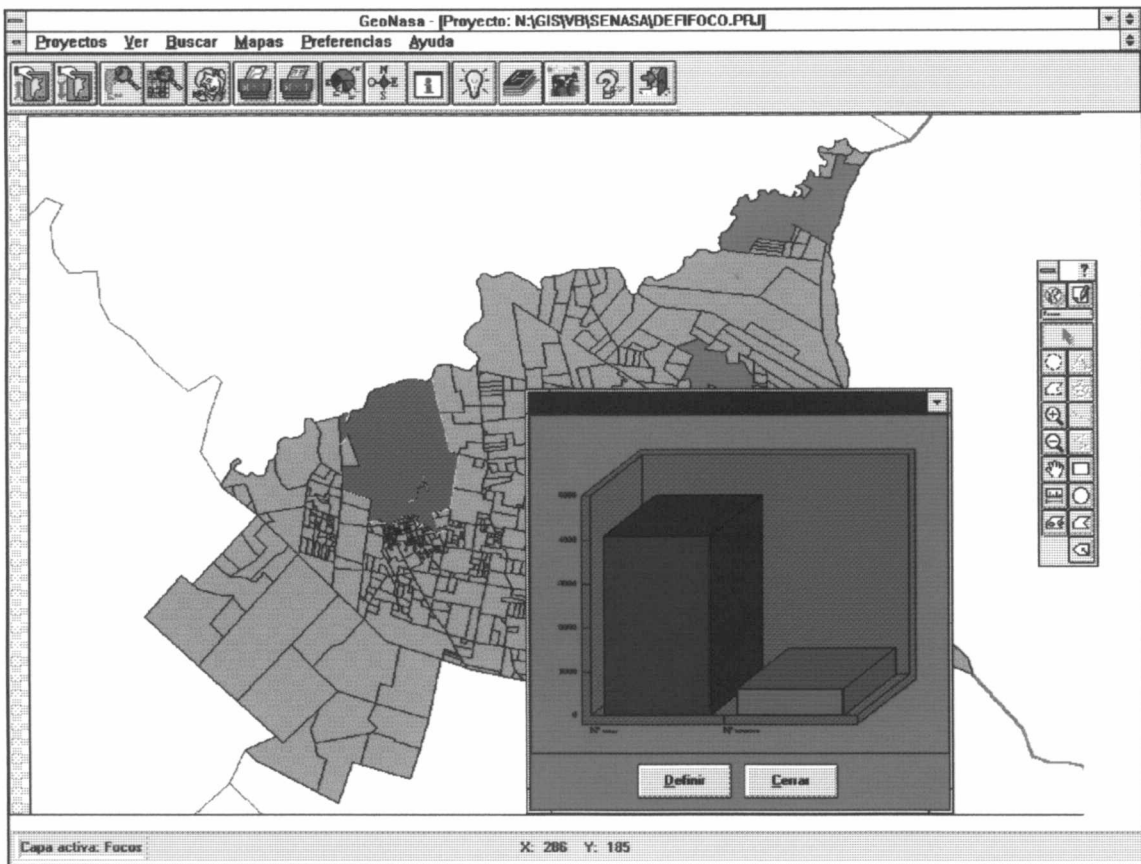
Sin duda, los gráficos han sido siempre una manera eficiente para interpretar valores numéricos. GeoNasa permite al usuario **armar sus propios gráficos** indicando los datos numéricos que le interesa evaluar y el tipo de gráfico que desea visualizar.

En el ejemplo, se está definiendo un gráfico de barras en 3D para observar la relación existente entre la cantidad de vacas y la de terneros que se encuentran dentro de un “foco de aftosa”.





Una vez que se definió el gráfico, la aplicación analiza los datos numéricos solicitados y los representa de la siguiente manera:





5. Conclusión

El modelo de Castelli fué una experiencia muy positiva, que alienta la ejecución de un proyecto de estas características para cubrir todo el Territorio Nacional. Las imágenes de las figuras anteriores, son demostrativas del apoyo que brinda esta aplicación tanto al nivel operativo como al nivel gerencial de SENASA. Su incorporación al Sistema Informático de las Comisiones Locales constituye la piedra fundamental para solucionar los problemas de información de una Organización con jurisdicción nacional en un país tan extenso como la Argentina.



6. Bibliografía

- Evaristo Atencio Paredes; *Sistema de Informação Geográfica. Principios e Aplicações (Geoprocessamento)*.
Joaquín Bosque Sendra; *Sistemas de Información Geográfica*.
Centro Argentino de Cartografía; *Boletín N° 2/91 Publicación Periódica N° 10*.
Environmental Systems Research Institute Inc.; *Arc/Info Reference Manual*.
Servicio Geográfico (Instituto Geográfico Militar); *Curso Técnico: Topografía*.
Strategic Mapping, Inc.; *Atlas GIS Reference Manual*.
Atlas Script /VB Reference Manual, Inc.
University of California; *General Coordinates System*.
Map Projections.

Fuentes de información sobre G.I.S. en INTERNET

- G.I.S. en general
<ftp://ftp.census.gov/pub/geo/>
Atlas GIS Discussion List
E-mail: listserv@idi.net
E-mail: majordomo@ciesin.org
E-mail: owner-agis-l@ciesin.org
Mapping and Metadata Sites
<http://ftp.blm.gov/pub/gis/nsdi.html>
Rice University - G.I.S., Geography Software
<gopher://riceinfo.rice.edu/11/Subject/Geography>
Geographic Information and Analysis Laboratory (GIAL)
<http://zia.geog.buffalo.edu/>
[http:// zia.geog.buffalo.edu/GIAL/GRASS.main.html](http://zia.geog.buffalo.edu/GIAL/GRASS.main.html)

Software y Hardware utilizados

- Micro Station 5.0 de Intergraph
Atlas GIS 2.1 de Strategic Mapping Inc..
Atlas GIS 3.0 for Windows de Strategic Mapping Inc..
Atlas Import/Export Utility de Strategic Mapping Inc..
Atlas Script /VB for Windows de Strategic Mapping Inc..
Microsoft Visual Basic 3.0 de Microsoft Corp.
Tableta Digitalizadora HiSketch 1218 de Genius.
Scanner ScanMaker IIs de Microtek.
PC 386 8 MB RAM
PC 486 Dx2 8 M RAM. Monitor 17"

Cartografía

- Cartas del Instituto Geográfico Militar
Mapa rural de Castelli de Mapa Rural S.A.



7. Agradecimientos

Ing. Roberto Castillo e Ing. Daniel Iribarren Presidente y Gerente de Tecnología respectivamente de Geogestión S.A., representante de Atlas GIS y Genasys.

Ing. Rubén Di Genova Director de la Dirección de Geodesia del Ministerio de Obras y Servicios Públicos de Buenos Aires, y a su personal.

Dr. Eduardo Greco Responsable de la Comisión Local del Senasa en la ciudad de Castelli.

Sr. Oscar Perez, Supervisor Responsable de la instalación de las Estaciones de Trabajo del SENASA en todo el país.

Sr. Christian Sanchez, A. Daniel Federico, Lic. Miguel Drubetta, A. Nestor Campano, Lic. Patricia Bazán, Maxi y Bartolo de EMSI S.R.L.



8. Índice

1. Objetivo del trabajo.....	1
2. Conceptos de Sistemas de Información Geográfica.....	2
2.1 Cartografía.....	2
2.1.1 Topografía	2
2.1.1.1 Objeto de la Topografía.....	2
2.1.1.2 Relación de la Topografía con la Geodesia	2
2.1.1.3 Objetivo de la Topografía y Geodesia consideradas en conjunto.....	2
2.1.1.4 Mediciones horizontales y verticales.....	2
2.1.2 Escalas	3
2.1.2.1 Necesidad de escalas.....	3
2.1.2.2 Elección y uso de escalas.....	3
2.1.2.3 Reglas prácticas para el uso de escalas.....	3
2.1.2.4 Criterio	4
2.1.2.5 Escalas empleadas en los levantamientos topográficos y catastrales.	4
2.1.3 Coordenadas Geográficas.....	4
2.1.4 Proyecciones.....	5
2.1.4.1 Introducción.....	5
2.1.4.2 Clasificación de las proyecciones	5
2.1.4.3 Algunas Proyecciones.....	8
2.2 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica.....	18
2.2.1 Sistema de información espacial.....	18
2.2.1.1 Información Geográfica:.....	18
2.2.1.2 Sistema de Información Geográfica.....	18
2.2.1.3 El G.I.S. como un tipo de sistema de información espacial	18
2.2.2 Conocimientos relacionados con un G.I.S.....	18
2.2.2.1 Disciplinas involucradas en G.I.S.....	18
2.2.2.2 Tecnologías relacionadas con G.I.S.....	19
2.2.3 Subsistemas de un G.I.S.....	19
2.2.4 Principales formas de uso y aplicaciones de un G.I.S.....	20
2.2.4.1 Formas de uso	20
2.2.4.2 Áreas de aplicación.....	20
2.3 Sistemas de Información Geográfica	22
2.3.1 Introducción.....	22
2.3.2 Evolución histórica de los G.I.S.....	22
2.3.3 Definiciones.....	23
2.3.4 Recursos básicos de un G.I.S.....	24
2.3.4.1 Acercamiento	24



2.3.4.2 Tematización.....	24
2.3.4.3 Edición gráfica.....	24
2.3.4.4 Análisis	24
2.3.4.5 Otros recursos	25
2.3.5 Características funcionales de un G.I.S.....	25
2.3.6 Características operacionales de los G.I.S.....	27
2.3.7 Manipulación de datos en G.I.S.....	30
2.3.7.1 Recuperación de datos	30
2.3.7.2 Manipulación de datos vectoriales.....	31
2.3.7.3 Manipulación de datos raster	32
2.3.7.4 Manipulación de datos en MDT (Modelo Digital de Terreno).....	32
2.3.8 Componentes de un G.I.S.....	33
2.3.8.1 Preguntas que un G.I.S. debe responder	34
2.3.9 ¿Que cosa NO es un G.I.S?.....	35
2.3.10 Sistemas de Información Geográfica. Una realidad de hoy.....	35
2.4 Datos Geográficos.....	37
2.4.1 Componente espacial de datos geográficos.....	37
2.4.2 Combinación entre componente temática y componente espacial.	38
2.4.3 Mapas e información geográfica.....	38
2.4.3.1 Mapa tradicional y G.I.S.....	38
2.4.3.2 Tipos de Mapas.....	38
2.4.4 Medición de la información temática.....	39
2.4.4.1 Escala nominal.....	39
2.4.4.2 Escala ordinal.....	40
2.4.4.3 Escala de intervalos	40
2.4.4.4 Escala de razón	41
2.4.4.5 Variables discretas y continuas.....	41
2.4.5 Problema de la unidad espacial modificable (PUEM).....	42
2.5 Captura y entrada de datos geográficos.....	43
2.5.1 Métodos de captura de datos espaciales.....	43
2.5.1.1 Método geodésico	43
2.5.1.2 Método fotogramétrico	45
2.5.1.3 Método de sensado remoto (SR).....	45
2.5.1.4 Método de conversión de mapas.....	45
2.5.2 Precisión de los mapas digitales.....	52
2.6 Estructura de representación de los datos espaciales	53
2.6.1 Introducción.....	53
2.6.2 Estructura matricial o raster.....	57
2.6.2.1 Características de la estructura matricial	58
2.6.2.2 Conceptualización de la estructura de datos raster	60
2.6.2.3 Tipos de valores de las celdas.....	61
2.6.2.4 Referencia espacial de las representaciones matriciales.....	63
2.6.2.5 Métodos de compactación de datos	64
2.6.2.6 Algoritmos básicos en las estructuras matriciales	68



2.6.2.7 Técnicas de análisis con datos raster	69
2.6.2.8 Sistemas matriciales existentes.....	70
2.6.2.9 Ventajas y desventajas del modelo matricial.....	71
2.6.2.10 Estructura vectorial.....	71
2.6.2.11 Elementos de la estructura vectorial	72
2.6.2.12 Formas de las estructuras vector.....	75
2.6.2.13 Ventajas y desventajas de la estructura vectorial.....	77
2.7 Topología y geocodificación.....	79
2.7.1 El mapa como medio de comunicación.....	79
2.7.1.1 Información cartográfica.....	79
2.7.1.2 Características principales del mapa.....	80
2.7.1.3 El mapa como medio de almacenamiento de datos	83
2.7.1.4 Tipos de conceptos y datos contenidos en los mapas	83
2.7.1.5 Almacenamiento de Datos Geográficos	86
2.7.2 La Topología y su importancia.....	86
2.7.2.1 Definición	86
2.7.2.2 Tipos de conceptos topológicos.....	87
2.7.2.3 Propiedades topológicas de los mapas.....	87
2.7.2.4 Generación de la Topología.....	88
2.7.3 Geocodificación.....	89
2.7.3.1 Métodos de codificación.....	89
2.7.3.2 Funciones de la Geocodificación.....	91
2.7.3.3 Medios de Geocodificación	91
2.7.4 Archivos de Base de Datos Geográficos (GDBF).....	91
2.7.4.1 Métodos de Geocodificación y de geoprocésamiento	92
2.8 Diseño y construcción de la Base de Datos del G.I.S.	94
2.8.1 Base de Datos.....	94
2.8.1.1 Introducción.....	94
2.8.1.2 Conceptos espaciales relacionados a las Bases de Datos.....	95
2.8.2 El modelo conceptual en la estructuración de la Base de Datos Geográfica	96
2.8.2.1 Introducción.....	96
2.8.2.2 Información Geográfica.....	96
2.8.2.3 La conexión de datos temáticos y geométricos	99
2.8.2.4 Diseño por el método ANSI_SPARC.....	100
2.8.3 Organización de datos en un proyecto G.I.S.....	102
2.8.3.1 Procesos de elaboración del proyecto G.I.S.	102
2.8.3.2 Construcción de una Base de Datos.....	104
2.8.3.3 Precisión de la Base de Datos espacial	115
2.8.4 Integración de información en el G.I.S.....	118
2.8.4.1 Consideraciones preliminares sobre integración de datos espaciales.....	118
2.8.4.2 Enfoques clásicos en la integración de datos.....	119
2.9 Análisis espacial.....	123
2.9.1 Análisis geográfico.....	123
2.9.1.1 Naturaleza del espacio geográfico	123



2.9.1.2 Naturaleza de los datos en el mundo real	123
2.9.1.3 Naturaleza del análisis espacial	123
2.9.1.4 Algunos términos en el proceso de análisis.....	124
2.9.1.5 Herramientas existentes para análisis espacial	128
2.9.1.6 Algunos principios orientadores.....	129
2.9.1.7 Entendiendo las limitaciones del análisis espacial	130
2.9.2 El análisis cartográfico.....	131
2.9.2.1 Localización.....	132
2.9.2.2 Calificación y selección.....	132
2.9.2.3 Cuantificación absoluta	132
2.9.2.4 Cartografía estadística	133
2.9.2.5 Mapas corocromáticos y mapas de distribución.....	133
2.9.2.6 Cartografía de movimientos.....	134
2.9.2.7 Cartografía de las correlaciones.....	136
2.9.3 Análisis relacional entre objetos espaciales.....	138
2.9.3.1 Tipos de relaciones espaciales	139
2.9.3.2 Codificando relaciones como atributos.....	140
2.9.3.3 Concepto de objetos pares	141
2.9.3.4 Relación espacial en el análisis espacial.....	141
2.9.4 Funciones de análisis en G.I.S.....	143
2.9.4.1 Funciones del G.I.S. en el pre-procesamiento	143
2.9.4.2 Funciones del G.I.S. en el análisis espacial	148
2.9.5 Metodología en el análisis espacial.....	157
2.9.5.1 Procedimientos típicos del análisis.....	157
2.9.5.2 Detalle de las etapas en el análisis de datos.....	157
2.9.6 Concepto de modelo en G.I.S.....	163
2.9.6.1 Naturaleza de los modelos	163
2.9.6.2 La necesidad de desarrollar un modelo.....	164
2.9.6.3 Características de los modelos.....	165
2.9.6.4 Funciones de los modelos.....	166
2.9.6.5 Tipos de modelos.....	167
2.9.6.6 Cómo desarrollar modelos.....	167
2.9.6.7 Como implementar un modelo	168
2.9.7 Análisis estadístico en G.I.S.....	174
2.9.7.1 Representación de los datos geográficos para la estadística.....	174
2.9.7.2 Análisis estadístico espacial y no espacial.....	183
2.9.8 Algunos procesos de análisis de datos geográficos.....	187

3. Descripción de las herramientas.....190

3.1 Descripción de Atlas GIS.....190

3.1.1 Mapas y Atlas GIS.....	190
3.1.1.1 Datos locacionales	190
3.1.1.2 Características de los mapas	190
3.1.1.3 Bordes comunes.....	191
3.1.1.4 Islas y Lagos	191
3.1.1.5 Atributos de datos.....	192



3.1.2 Datapoints.....	193
3.1.3 Conceptos para trabajar con mapas.....	194
3.1.4 Cambios en la exhibición del mapa.....	196
3.1.5 Consultas y Selecciones.....	197
3.1.6 Mapas Temáticos.....	197
3.1.7 Edición de características y atributos.....	199
3.1.8 Operaciones Analíticas.....	199
3.1.9 Personalización del mapa y de la página.....	200
3.1.10 Reporte de datos.....	200
3.1.11 Digitalización de mapas.....	201
3.2 Descripción de Visual Basic (VB).....	202
4. Desarrollo de la aplicación.....	203
4.1 Estudio de la Organización	203
4.1.1 Introducción.....	203
4.1.2 Conceptos sobre sistemas de información.....	203
4.1.3 La Organización SENASA.....	205
4.1.3.1 Objetivos.....	205
4.1.4 El modelo del Sistema Senasa.....	207
4.1.4.1 El sistema operante.....	209
4.1.4.2 Sistema de Regulación y Control.....	212
4.1.4.3 El sistema Informativo.....	213
4.1.5 Arquitectura del Sistema Informático funcionando en Comisiones Locales.....	214
4.1.6 Planteo del problema a resolver.....	220
4.1.7 Proyecto G.I.S. para una Comisión Local del SENASA.....	221
4.1.7.1 El modelo de la Comisión Local de Castelli.....	223
4.2 Descripción de las etapas del proyecto.....	224
4.2.1 Etapa I.....	224
4.2.2 Etapa II	224
4.2.2.1 Diseño de la BD.....	225
4.2.3 Etapa III.....	229
4.2.4 Etapa IV.....	229
4.3 Descripción de GeoNasa *	230
5. Conclusión	247
6. Bibliografía.....	248
7. Agradecimientos	249