

^
G70.2
I3

**APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ORIENTADA A OBJETOS PARA EL
DESARROLLO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN APOYO A
LA GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE DESASTRES NATURALES**

por



Luigi Iannuzzi

**Tesis para Optar al Grado de Magister Scientiae en Gestión de Recursos
Naturales Renovables y Medio Ambiente.**

**CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN
AMBIENTAL Y TERRITORIAL
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Mérida, Venezuela
1997**

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos al Centro Interamericano de Desarrollo de Investigación Ambiental y Territorial, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado. Al Instituto de Fotogrametría de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, por el apoyo prestado y en especial a los profesores Ernesto Flores y Alexander Parra y al Geógrafo Zoilo Ferrer por su asesoría.

A los miembros de la Fundación para la Prevención del Riesgo Sísmico (FUNDAPRIS), por su amistad y apoyo.

Al tutor y asesores del presente trabajo, los profesores Jonás Montilva, Angela Henao, Jaime Laffaille y Juan López, pilares fundamentales en el desarrollo de esta investigación. A la profesora Rosa Ramírez, por su apoyo profesional y amistad.

A mi esposa Ana Isabel, cuyo amor, paciencia y comprensión me ayudaron en los momentos de flaqueza y me dieron las fuerzas para seguir adelante hasta la culminación de mis estudios.

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTO	v
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
Capítulo	
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	1
General	1
Específicos	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
Aplicaciones de los SIG en la Gestión de Desastres Naturales	3
III. CONCEPTOS BÁSICOS	
Concepto de Desastre Natural	7
Amenaza, susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo	7
Movimientos de masa	9
Tipos de movimientos de masa	10
Derrumbes	10
Tooples o volcamientos	10
Deslizamientos	10
Movimientos laterales	11
Flujos	11
Movimientos complejos	11
Sismos	11
Terminología	12
Magnitud	12
Intensidad	12
Hipocentro o foco	13
Antecedentes históricos	14
Escenario sísmico	15
Variables relevantes escenario sísmico de Mérida	
Relativas al sitio	17
Profundidad de sedimentos	17
Consolidación de suelos	18
Composición de suelos	18
Pendiente	18

Relativas a la componente estructural	19
Tipologías constructivas	19
Sistemas de información geográfica	19
Definiciones	19
Componentes	19
El hardware	20
La unidad central	20
Los periféricos	20
El software o soporte lógico	20
Información	20
Organización	22
Los datos geográficos y su representación digital	22
Tipos de modelos	23
Modelo orientado a capas	23
Modelo raster	23
Modelo vectorial	23
Comparación entre modelo raster y vectorial	24
El modelo orientado a objetos	25
Comparación entre el modelo orientado a capas y el	
Orientado a capas	26
Bases de datos cartográficas	28
Bases de datos	28
Bases de datos espaciales	28
Los sistemas de gestión de bases de datos	29
El modelos entidad-relación	30
Tipos de relaciones binarias	31
Entidades fuertes y entidades debiles	31
Representación del modelo entidad relación	31
Tipos de bases de datos	32
Bases de datos relacionales	32
Bases de datos orientada a objetos	34
 IV. METODOLOGÍA	 37
Fase 1 Análisis del sistema de actividades (SA)	39
Objetivos	39
Definición del sistema de actividades	40
Modelado de la estructura funcional del SA	40
Modelado de la estructura organizativa del SA	42
Modelado preliminar de las entidades relevantes	42
Fase 2 Análisis y especificación de requerimientos	43
Objetivo	
Especificación de requerimientos de información	44
Especificación de requerimientos de análisis de datos	45
Especificación de requerimientos de almacenamiento	45
Especificación de los requerimientos de interacción	46
Especificación de restricciones	47

Fase 3	Diseño conceptual de la base de datos espacial	47
	Modelado de los esquemas conceptuales externos	48
	Pre-integración de esquemas externos	48
	Integración de los esquemas externos	49
	Verificación del esquema conceptual integrado	49
Fase 4	Diseño implementable de la base de datos espacial	50
	Objetivo	50
	Conversión del esquema conceptual a implementable	50
Fase 5	Diseño físico del sistema	51
	Especificación de los procesos de digitalización	52
	Diseño físico de la base de datos espacial	52
	Análisis de datos espaciales	53
	Operaciones con variables o atributos temáticos	53
	Operaciones de análisis espacial	53
	Operaciones de modelado cartográfico	53
	Composición cartográfica	53
Fase 6	Implementación del sistema	54
	Objetivo	54
	Digitalización de mapas	54
	Creación de la base de datos espacial	55
	Implementación de los procesos de análisis	55
	Elaboración de mapas	55
V.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SIG	57
Fase 1	Análisis del sistema de actividades (SA)	57
	Definición del sistema de actividades	57
	Modelado de la estructura funcional de la subcomisión de zonificación y estudio de riesgos naturales	58
	Modelado de la estructura organizativa	59
	Estructura organizativa	59
	Matriz de relación	60
	Modelado preliminar de las entidades relevantes al SA	60
	Descripción general del espacio geográfico	60
	Localización y extensión del área de estudio	60
	Características físico naturales del área de estudio	60
	Características sísmicas	61
	Aspecto urbano-poblacional del área de estudio	61
	Entidades relevantes al sistema de actividades	61
Fase 2	Análisis y especificación de requerimientos	63
	Especificación de requerimientos de información	63
	Especificación de requerimientos de análisis de datos	63
	Especificación de requerimientos de almacenamiento	63
	Lista de entidades espaciales y no espaciales	63
	Relevantes para el SIG	63

Atributos de cada entidad	63
Requerimientos de respaldo y recuperación	64
Requerimientos de seguridad	64
Seguridad del software	64
Seguridad física	
Especificación de los requerimientos de interacción	65
Requerimientos de adquisición de datos espaciales	65
Requerimientos de adquisición de datos temáticos	66
Requerimientos de presentación de información	
Espacial	67
Requerimientos de la interfaz usuario-sistema	68
Especificación de restricciones	68
Requerimientos de hardware y software	68
Restricciones de costo, tiempo y recursos humanos	69
Fase 3 Diseño conceptual de la base de datos	69
Modelado de esquemas conceptuales externos	69
Pre-integración de esquemas externos	72
Integración de esquemas externos	73
Verificación del esquema conceptual integrado	74
Fase 4 Diseño implementable del sistema	74
Conversión del esquema conceptual a implementable	74
Fase 5 Diseño físico	
Especificación de los procesos de digitalización	75
Diseño físico de la base de datos espacial	76
Análisis de datos espaciales	76
Composición de sedimentos	76
Operaciones de atributos o variables temáticas	76
Consolidación de sedimentos	77
Operaciones de atributos o variables temáticas	77
Profundidad de sedimentos	78
Operaciones de atributos o variables temáticas	78
Tipologías constructivas	78
Operaciones de atributos o variables temáticas	78
Distancia al talud	80
Operaciones de análisis de atributos espaciales	80
Modelado cartográfico	80
Operaciones de atributos o variables temáticas	80
Pendiente	81
Cálculo de valores de pendiente	81

	Operaciones de atributos o variables temáticas	82
	Sectores por probabilidad de subsistencia	83
	Modelado cartográfico	83
	Operaciones de análisis espacial	83
	Composición cartográfica	86
	Fase 6 Implementación	89
	Digitalización de mapas	89
	Creación de la base de datos espacial	89
	Implementación de los procesos de análisis	91
	Tipologías constructivas	91
	Composición, consolidación y profundidad de sedimentos	92
	Distancia al talud	92
	Pendiente	94
	Elaboración del mapa de sectores	97
	Modelado cartográfico	97
	Análisis espacial	98
	Elaboración de mapas	99
VI.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	101
	Recuperación de información espacial	104
	Ejemplo 1	104
	Planteamientos e interrogantes	104
	Solución	104
	Ejemplo 2	109
	Planteamientos e interrogantes	109
	Solución	109
	Búsqueda temática	113
	Ejemplo 3	113
	Planteamientos e interrogantes	113
	Solución	113
	Ejemplo 4	113
	Planteamientos e interrogantes	113
	Solución	115
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
	Conclusiones	123
	Recomendaciones	125
	BIBLIOGRAFÍA	127
	APÉNDICES	131
	APENDICE 1: Escala de intensidad de Mercalli	133
	APENDICE 2 Escala de Intensidad MSK	143

APENDICE 3 Tipos de edificaciones en Mérida	149
APENDICE 4 Definición del parámetro probabilidad de subsistencia y procedimiento de cálculo	153
APENDICE 5 Fotos terraza de Mérida	163
APENDICE 6 Tablas	171
APENDICE 7 Diseño base de datos	181
APENDICE 8 Macros	189
APENDICE 9 Mapas	201

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1 Periféricos	21
2 Funciones	21
3 Comparación entre el modelo raster y vectorial	24
4 Matriz de relación estructura funcional y organizativa	42
5 Relación proceso-entidad responsable	60
6 Entidades relevantes al sistema de actividades	62
9 Requerimientos de adquisición de datos espaciales.	66
10 Requerimientos de adquisición de datos temáticos	67
11 Requerimientos de presentación de información espacial	68
12 Coberturas básicas	74
13 Nombre de las coberturas	76
15 Índice C de comportamiento sísmico	77
16 Índice E de comportamiento sísmico	78
17 Ejemplo cálculo probabilidad de subsistencia cobertura sectores	84
18 Ejemplo de reclasificación por clase de probabilidad subsistencia	84
19 Títulos y descripción general de los mapas	85
20 Reticulado y coordenadas UTM de las coberturas	88
21 Identificadores del usuario	90
22 Ejemplo cálculo de probabilidad	92
23 Tabla pat.dbf , cobertura Buf20	93
24 Tabla pat.dbf cobertura disttal	93
25 Reclasificación distancia al talud	94

26	Tabla pat.dbf de la cobertura sectores	98
27	Clases de probabilidad de subsistencia	98

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Esquema para la elaboración de un mapa de riesgo	5
2 Esquema de los factores que convergen en la definición de riesgo Sísmico	9
3 Ejemplo esquema de la orientación a objeto	35
4 Fases de la metodología MEDSIG -00	38
5 Marco conceptual sistema de actividades	39
6 Fase 1 análisis del sistema de actividades	40
7 Estructura funcional del sistema de actividades	41
8 Fase 2 análisis y especificación de requerimientos	44
9 Fase 3 diseño conceptual de la base de dato espacial	48
10 Pre-integración de esquemas externos	49
11 Fase 4 diseño implementable de la base de datos espacial	50
12 Fase 5 diseño físico del sistema	52
13 Fase 6 implementación del sistema	55
14 Organigrama FUNDAPRIS	58
15 Estructura funcional comisión de zonificación de riesgos naturales	58
16 Estructura organizativa de la subcomisión de zonificación de riesgos naturales	59
17 Zonificación de amenazas a movimientos de masa (proceso 1)	69
18 Evaluación de daños a personas (proceso 2)	69
19 Evaluación de daños a líneas vitales (proceso 3)	70
20 Escenario sísmico de la ciudad de Mérida (proceso 4)	71

21	Pre-integración de esquemas externos	72
22	Integración de esquemas externos	73
23	Flujograma para la obtención del mapa de pendiente	82
24	Modelado cartográfico, obtención del mapa de sectores según la probabilidad de subsistencia	86
25	Dimensiones y distribución de los elementos del mapa	87
26	Reticulado y coordenadas UTM de los mapas	102
27	Relación entre los elementos temáticos y espaciales	119
28	Mapa tipologías constructivas de la ciudad de Mérida	121
29	Ventana de ampliación mapa de tipologías constructivas,	123
30	Mapa de sectores de probabilidad de subsistencia	125
31	Ventana de ampliación del mapa de sectores	127
32	Mapa de sectores de la ciudad de Mérida	130
33	Ventana de ampliación del mapa sectores	131
34	Consulta a la base de datos espacial	133
35	Consulta a la base de datos espacial	133

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó e implementó una metodología orientada a objetos para el desarrollo de sistemas de información geográfica (MEDSIG-OO) creada por el Grupo de Ingeniería de Datos y Conocimiento (GIDYC), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes.

Como caso de estudio para la implementación de la metodología se desarrolló un prototipo de SIG (Sistema de Información Geográfica), para la Fundación para la Prevención de Riesgo Sísmico y tendrá como función principal servir de apoyo a la referida fundación, en la gestión y administración de desastres naturales relacionados con eventos sísmicos y zonificación de riesgos a movimientos de masa.

El trabajo contiene 6 capítulos, en el primero se encuentra la introducción, justificación, alcances y objetivos del trabajo. En el segundo se presenta una revisión bibliográfica sobre los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y su uso en la gestión y administración de desastres naturales. En el tercer capítulo se definen una serie de conceptos básicos vinculados al tema. En el cuarto capítulo se describe en forma detallada la metodología a ser utilizada. El quinto capítulo corresponde a la implementación de la metodología propuesta, para desarrollar el prototipo de SIG y en el último se presentan los resultados obtenidos que consisten en el diseño completo del prototipo de SIG y la implementación del aparte referido al escenario sísmico para la ciudad de Mérida, con su elemento central que es una base de datos espacial, que facilitará la generación de escenarios sísmicos para eventos de intensidades comprendidas entre VII y X, medidas en la escala de Mercalli.

Para finalizar se presenta una serie de conclusiones y recomendaciones derivadas de los resultados obtenidos al aplicar la metodología evaluada.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La acción de gestionar, administrar y planificar el ambiente está condicionada al manejo de grandes volúmenes de información espacial de diversa índole, donde el proceso de captación y procesamiento de la información, es laborioso y complejo. Surge así la necesidad de utilizar toda una serie de herramientas que faciliten este trabajo, siendo en la actualidad unas de las más importantes los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los SIG, en el presente, son un elemento importante para solventar los problemas de la organización y creación de bases de datos completas y eficientes que permitan evaluar gran número de variables, interrelacionarlas y generar modelos que permitan tener una visión más objetiva de los problemas de índole ambiental que se planteen y, por lo tanto, establecer alternativas y soluciones con grandes probabilidades de éxito.

Dentro de los problemas más complejos y relevantes de la gestión del ambiente, está la administración y gestión de desastres naturales, donde los Sistemas de Información Geográfica (SIG) juegan un papel fundamental ya que a través de su implementación y desarrollo, los expertos en desastres naturales contarán con una herramienta fundamental, que los apoyará para realizar los estudios de vulnerabilidad, zonificación de amenazas y zonificación de riesgo.

Igualmente les permitirá asesorar a tiempo y debidamente, a los entes públicos y privados en la toma de decisiones conscientes y ajustadas a la realidad espacial en relación a la planificación y ordenamiento del espacio, para así evitar o por lo menos minimizar los efectos de eventos naturales peligrosos.

El presente trabajo tiene como finalidad implementar y evaluar una metodología orientada a objetos, para el desarrollo de un sistema de información geográfica orientado a la Gestión y Administración de Desastres Naturales en la Ciudad de Mérida, con énfasis en riesgo sísmico.

Objetivos

General

Implementación de una metodología orientada a objetos para el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica, aplicado a la gestión de Desastres Naturales.

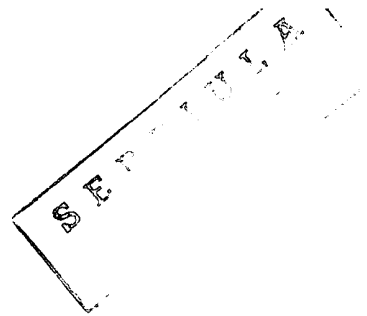
Específicos

Diseño de un Prototipo de sistema de información geográfica para la gestión y administración de desastres naturales vinculados a eventos sísmicos y movimientos de masa.

Implementación del Prototipo de sistema de información geográfica en lo correspondiente al escenario sísmico de la ciudad de Mérida.

CAPITULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA



Aplicaciones de los SIG en la Gestión de Desastres Naturales

Mora y Vahrson, (1992) presentan un modelo para el análisis de amenaza a deslizamientos a priori de áreas extensas, utilizando indicadores morfodinámicos, de los cuales usualmente pueden encontrarse información en forma relativamente sencilla, estos indicadores son de dos tipos:

- de susceptibilidad: el relieve relativo, las condiciones litológicas, la humedad natural del suelo y
- los factores de disparo: las intensidades sísmicas y de las lluvias.

Cada factor define un índice de influencia para determinado sitio y al combinarse de acuerdo a un peso específico ponderado, se puede obtener el valor relativo de la amenaza. Las operaciones de análisis espacial y modelado cartográfico necesarias para obtener la zonificación por amenaza a deslizamiento se realizaron utilizando un Sistema de Información Geográfica tipo RASTER como es el IDRISI.

Simoes (1994) aplica un modelo para efectuar la zonificación de amenaza a movimiento de masa, utilizando un Sistema de Información Geográfico. El autor indica que en el proceso de modelación de movimiento de masa, se requiere estudiar la acción de diferentes parámetros en forma simultánea, esto puede hacerse de forma manual, pero con la utilización de las facilidades de análisis espacial y modelado cartográfico que proveen los SIG, el trabajo se realiza en forma más rápida y eficiente.

A continuación se presenta un resumen del proceso para la obtención de un mapa de riesgo a movimientos de masa (Figura 1):

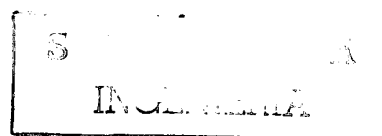
Modelaje de los Movimientos de Masa (L):

L: (pendiente, geología, geotecnia)

Generación de las coberturas en el SIG

Pendiente

- Digitalización del Mapa Topográfico planialtimétrico.



- Generación de un modelo digital del terreno (MDT), utilizando las funciones del SIG.
- Generación de un mapa de pendiente en formato Raster, a través de las funciones del SIG.

Geológica y Geotécnica

- Digitalización (vectorial) de mapas temáticos.
- Conversión a formato Raster.

Datos para la superposición

- Establecimiento de los pesos para cada capa.
- Establecimiento de los valores de clase para cada capa.

El establecimiento de pesos y valores para las capas y clases fue hecho por expertos, utilizando el método Delphi para facilitar el consenso entre las opinión de los expertos.

Operación de superposición: automáticamente realizada por una función del SIG y matemáticamente expresada por la fórmula:

$$LH = \sum_{i=1}^n W_i * V_i$$

LH = Riesgo de Mov de Masa

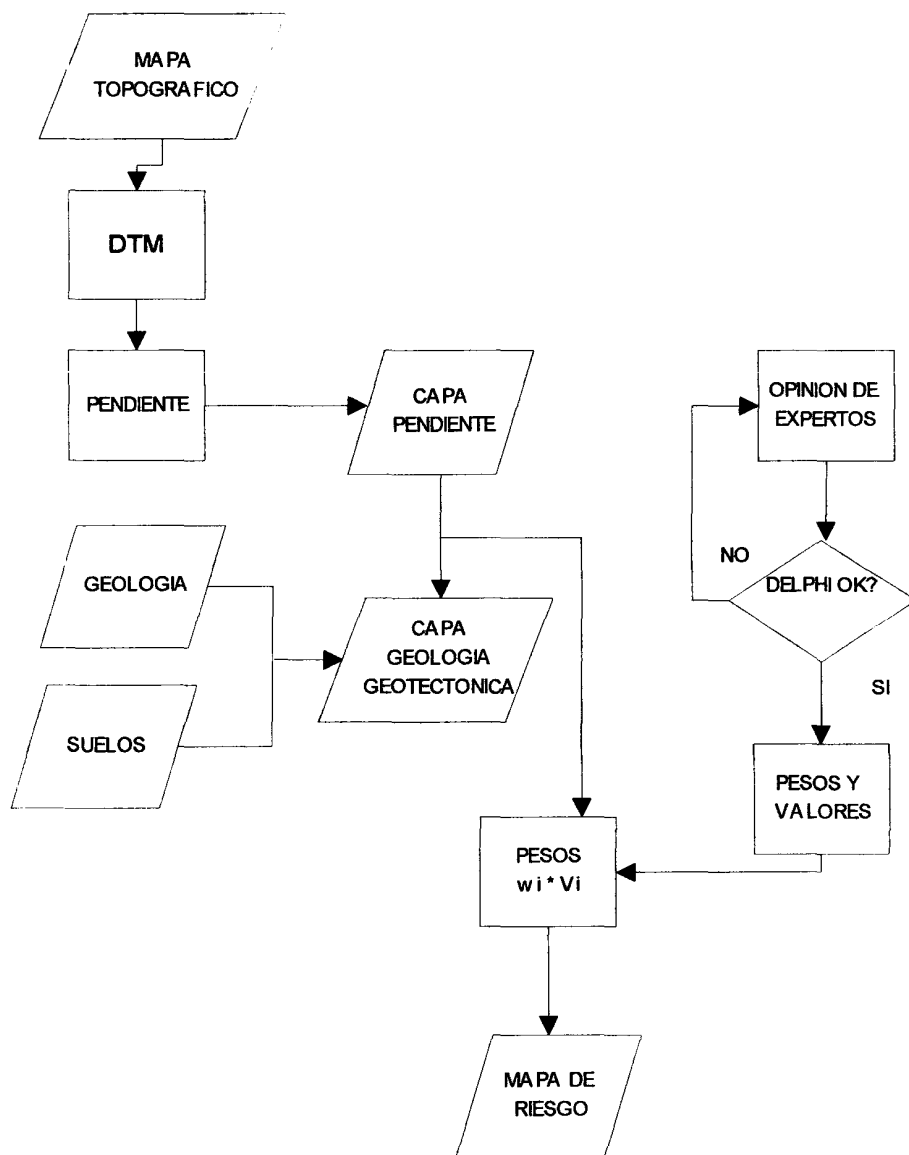
W_i = valor de la capa i

V_i = Valor de la clase en la capa i

n = numero de capas

El producto del peso por el valor ($W_i * V_i$), representa la contribución particular de cada capa al Movimiento de Masa y la suma de los productos, aplicados a todas las coberturas, permite generar una nueva capa que representaría el mapa de riesgo a Movimiento de masa.

Westen (1992) describe de manera general la importancia de la escala de análisis de amenazas por deslizamientos en relación con los datos de entrada y los posibles métodos de análisis que se pueden aplicar utilizando un SIG basado en un computador personal. La elección del tipo de análisis depende de varios factores, como el detalle de precisión deseado, el objetivo de la investigación y los recursos disponibles. Se pueden distinguir tres escalas de investigación:



Fuente : Simoes (1992).

Figura 1. Esquema para la elaboración de un mapa de riesgo.

Una escala regional ($< 1:100.000$) en la cual se pueden aplicar métodos cualitativos, una escala media ($1:25.000 - 1:50.000$), en donde los métodos estadísticos son los más poderosos, y una escala grande ($>1:10.000$) en la cual se puede obtener un volumen suficiente de información para utilizar modelos determinísticos simples en conexión con un SIG.

Verstappen (1992) señala los requerimientos de información temática en la caracterización de amenazas naturales y la mitigación de riesgos, destaca que la información temática requerida para la evaluación de las amenazas naturales y la mitigación de riesgos debe incluir las susceptibilidades del terreno y las vulnerabilidades de la sociedad.

Los datos necesarios y la presentación cartográfica depende del grupo de usuarios:

- Científicos/ingenieros que investigan amenazas naturales y asuntos relacionados.
- Autoridades responsables en la toma de decisiones y la planificación antes del desastre.
- La población afectada. Los requerimientos también dependen del tipo de amenaza natural y deben incluir aspectos espaciales (zonificación) y temporales.

CAPITULO III

CONCEPTOS BÁSICOS

Concepto de Desastre Natural

Patterson (1993) señala que un desastre natural “Es un evento que puede ser identificado en el tiempo y en el espacio de origen natural como terremotos, huracanes, erupciones volcánicas, deslizamientos, inundaciones etc, que afecta a la comunidad, hay pérdidas de vidas humanas, grandes daños a viviendas, estructuras y servicios que impide el cumplimiento de las actividades normales y esenciales de la sociedad”.

Wijkam y Timberlake, (1988), consideran desastre natural cuando hay de 1.000 a 1.000.000 de personas muertas o en peligro inminente de muerte (Daily Telegraph, citado por Wijkam y Timberlake, 1988).

En el Plan de Contingencia de La Gobernación de Cundinamarca, Colombia, 1990 (Citado por Arroyo, 1993), se define desastre como el daño o alteración grave de las condiciones normales de vida en un área geográfica determinada, causada por fenómenos naturales y por efectos catastróficos de la acción del hombre en forma accidental, que requiera por ello de la especial atención de los organismos del estado y de otras entidades de carácter humanitario o de servicio social.

Vinculado al concepto de desastre, se encuentra el de Emergencia, el cual es definido en el mismo Plan de Contingencia, 1990 como. “La situación generada por la manifestación de un evento que modifica severamente las condiciones normales de la vida, haciendo necesaria la intervención inmediata.”

Amenaza, Susceptibilidad, Vulnerabilidad y Riesgo

Otros conceptos que en diversas ocasiones son utilizados en forma indiscriminada como sinónimos, confundidos entre sí, son los de *amenaza, susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo*.

En relación con la vulnerabilidad, Patterson (1993) manifiesta que existen dos enfoques diferentes, el dominante y el estructural. El dominante define la vulnerabilidad fundamentalmente por el concepto de sitio.

La población se vuelve vulnerable cuando se asientan en las llanuras de inundación de los ríos, en áreas de pendiente fuerte, sobre fallas geológicas activas

o a lo largo de las costas en las zonas subtropicales y consideran como factor secundario el comportamiento del individuo. Este comportamiento puede incrementar o disminuir su grado de vulnerabilidad en caso de que la casualidad llegue.

Para Hewitt (1983), quien es uno de los propulsores del enfoque estructural, la vulnerabilidad es diferencial y responde a las condiciones históricas, sociales, políticas, económicas y culturales.

Considera que cuando un proceso biofísico se manifiesta en un grado superior a lo acostumbrado, ya sea inundaciones, sequías, deslizamientos, sismos etc, siempre existen sectores de la población que son y serán más vulnerables que otros.

Patterson (1993) indica que una amenaza "Corresponde a un peligro latente originado por un evento natural, social o tecnológico que dada su condición inestable puede activarse en cualquier momento afectando a la comunidad". En relación con la definición de riesgo, el mismo autor los considera "Como las posibilidades que tiene una comunidad de sufrir un desastre dada la existencia de un peligro o una amenaza".

Ramírez (1996) señala que riesgo, en general, se refiere a la probabilidad de que ocurra un fenómeno y afecte económica y socialmente a una población.

Igualmente Ramírez (1996) indica que el riesgo corresponde a un peligro latente dado por un evento natural, social o tecnológico que debido su condición inestable puede activarse en cualquier momento con determinadas características, afectando a la comunidad.

Al referirse a la Vulnerabilidad Ramírez (1996) señala que es una condición específica que puede presentar el total de una población, con sus edificaciones, actividad económica, organización social, etc, ante la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido.

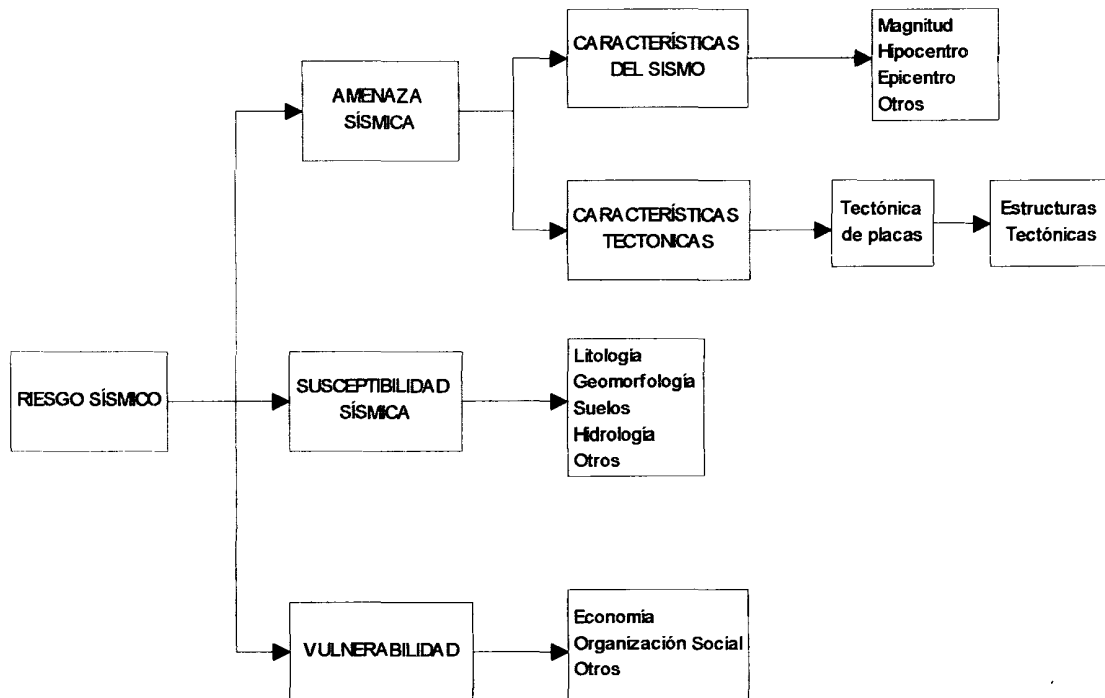
El citado autor destaca la importancia de entender bien los conceptos anteriormente expuestos, ya que solo estableciendo con claridad la relación que existe entre los factores de vulnerabilidad y las diferentes formas de amenaza, se puede evaluar verdaderamente el riesgo a que puede estar sometido un lugar.

Tomando en consideración los conceptos de riesgo, amenaza y vulnerabilidad explicados, Ramírez (1996) define el Riesgo Sísmico como la probabilidad de que ocurra un terremoto de una magnitud determinada, dentro de un tiempo determinado, con consecuencias específicas para una región en su organización económica y social.

En este caso la amenaza sísmica está definida por las características del sismo, su magnitud, ubicación, profundidad de foco, energía, epicentro, etc, y la vulnerabilidad, por la disposición de la población, sus estructuras, su economía, su nivel de preparación ante la ocurrencia de un sismo entre otros.

Ramírez (1996) incorpora un tercer factor que entra a formar parte de la definición de riesgo sísmico y que es la susceptibilidad sísmica, la cual se relaciona como la respuesta que puede producir una cierta condición geológica, morfológica, geomorfológica, hidrológica y edafológica ante la ocurrencia de un evento sísmico.

En la Figura 2 se pueden observar los factores que convergen en la definición del riesgo sísmico, los cuales pueden ser aplicados a otras amenazas haciendo los ajustes necesarios.



Fuente: Ramírez, 1996.

Figura 2. Esquema de los factores que convergen en la definición de riesgo sísmico

Movimiento de Masa

Ramírez, (1995a), define Movimiento de Masa como todos los procesos que al final podrían traducirse en un colapso o desprendimiento del suelo, roca o

vegetación bajo la influencia de la gravedad, activados por causas naturales o inducidas por el hombre.

Para la clasificación de movimientos de masa se utilizará la propuesta por Varnes, (1978) debido a que en la actualidad es la de más aceptación y más amplio uso en muchos países, incluyendo Venezuela.

Los criterios que utilizó Varnes (1978) para hacer esta clasificación se basaron principalmente en el tipo de movimiento y en el tipo de material involucrado, definiendo cinco grupos: derrumbes, volcamientos, deslizamientos, movimiento lateral y flujos. Además, incluye un sexto grupo que denomina movimiento complejo que abarca dos o más de los anteriormente nombrados.

Tipos de movimientos (clasificación de Varnes)

A continuación se presentan las definiciones propuestas por Ramírez (1995b) para los diferentes tipos de movimientos en masa, de acuerdo con la clasificación de Varnes (1978).

Derrumbes

Es un movimiento rápido o extremadamente rápido que proviene de una vertiente, generalmente muy inclinada y que desciende en una caída libre a lo largo de la superficie sin presentar plano de corte.

Topples o volcamientos

Este movimiento consiste en una rotación de una o varias unidades a partir de un punto pivotal bajo la acción de la gravedad y las fuerzas ejercidas por materiales adyacentes o por fluidos que penetran por las grietas. El material en un principio puede sufrir un basculamiento, sin colapso, posteriormente puede evolucionar a un derrumbe o un deslizamiento, dependiendo de la geometría de la masa involucrada, de la orientación y tamaño de las discontinuidades que presenta.

Deslizamientos

Se define como deslizamiento, en esta clasificación, a un movimiento de deformación por corte o desplazamiento a lo largo de una de las superficies que son visibles o pueden por lo menos ser inferidas. El movimiento en su fase inicial a veces es progresivo, se manifiesta la superficie de corte pero puede no producirse el movimiento simultáneamente.

Varnes (1978) divide la categoría de deslizamiento en dos sub-tipos: deslizamientos rotacionales, en donde la superficie de ruptura tiende a ser cóncava hacia arriba y la masa que colapsa se mueve paralela a esa superficie y los deslizamientos traslacionales en donde los movimientos son a lo largo de una superficie plana y muy levemente ondulada.

Movimientos laterales

Se caracteriza por el desplazamiento de material coherente como consecuencia de la licuación o comportamiento como flujo plástico del material que lo subyace y, generalmente, se activa con la ocurrencia de un movimiento sísmico.

Flujos

En este tipo de movimiento, Varnes (1978) difiere de los otros autores. El lo define como un movimiento de materiales generalmente no consolidados que pueden producirse con mucha humedad o en seco, y que pueden tener velocidades desde lento hasta muy rápido. Subclasifica este movimiento como flujo de rocas, de detritus, de suelo, y lo diferencia por textura y por la carga sólida que contengan.

Existe el flujo de barro, que Varnes (1978) no coloca en su clasificación pero reconoce que es un movimiento con una carga muy húmeda y muy fina de sedimentos. Varnes (1978) coloca en esta categoría toda una variedad de repteo y lo define como una deformación plástica y muy lenta.

Movimientos complejos

Son los que involucran una combinación de dos o más de los principales tipos de movimientos.

Sismos

Laffaille (1996) señala que la corteza terrestre está compuesta por varias piezas individuales denominadas "Placas Tectónicas". Los procesos de calentamiento y enfriamiento del material fundido que constituye el interior de la tierra producen un movimiento de ese material, arrastrando a dichas placas superficiales y forzándolas a moverse.

Como consecuencia de esto, en las zonas inmóviles donde se presenta un contacto entre dos placas, se acumula gran cantidad de energía. En algunos casos, esta energía acumulada se libera gradualmente, pero en otros casos lo hace a través de un violento deslizamiento que es percibido por los hombres como un

terremoto; al recibir, bajo la forma de ondas que viajan por el interior de la tierra y su superficie, parte de la energía liberada en el deslizamiento.

Terminología

Es necesario igualmente tener claro cuatro conceptos fundamentales relacionados con los sismos. Estos son intensidad, magnitud, epicentro e hipocentro.

Rozo (1997) indica que los parámetros de magnitud e intensidad, se utilizan para designar la fuerza y el tamaño de un sismo.

Magnitud

La magnitud es una medida cuantitativa e instrumental del tamaño del evento, relacionada con la energía sísmica liberada durante el proceso de ruptura en la falla. La magnitud es una constante única que se asigna a un sismo dado y es independiente del sitio de observación .

La magnitud se determina midiendo la máxima amplitud de las ondas registradas en el sismograma correspondiente al evento. En la práctica existen varias escalas de magnitud, según el tipo de onda en que se basa la medición de la amplitud. La escala de magnitud original es la desarrollada por Charles Richter en 1935 para sismos locales en California y se designa con la letra M.

Eventos con magnitud inferior a 5.0 se consideran pequeños, con magnitudes entre 5.5 y 6.5 moderados, superiores a 7.0 como eventos grandes y con magnitud superior a 8.0 muy grandes. Un sismo debe alcanzar una magnitud de 5.5 o mayor para producir daños de consideración.

La magnitud no expresa el grado de daño que puede causar un sismo; un evento de magnitud muy grande puede no causar daños significativos si su foco es muy profundo o está localizado en una región despoblada o en el océano; por otra parte, un sismo de magnitud moderada puede causar gran destrucción si el foco es superficial y si se localiza en regiones pobladas o cerca de centros urbanos.

Intensidad

La intensidad es una medida de la fuerza del movimiento del terreno, del grado en que la vibración es registrada y sentida en una determinada localidad, y de los efectos y daños causados por el sismo. La intensidad es una variable que depende del sitio de observación: es mayor en el área epicentral y disminuye en función de la distancia a la fuente sísmica. (Rozo ,1997)

Existen dos formas para describir y medir la intensidad: (Rozo 1997)

La primera y más antigua es una apreciación subjetiva, no instrumental, de los efectos aparentes producidos por el evento sísmico en un sitio dado; para ello se emplean escalas que asignan diferentes grados a la forma en que la vibración del terreno es sentida y según los daños causados a las edificaciones. La intensidad expresada en grados de determinada escala sigue siendo un parámetro empírico muy útil para describir los efectos de los terremotos.

La segunda, que pretende ser más racional, es una medida instrumental de la amplitud del movimiento del terreno, para ello se emplean parámetros tales como aceleración, velocidad y desplazamiento, que se obtienen de los registros de instrumentos de movimiento fuerte u ocelógrafos.

La aceleración expresada en porcentaje de la gravedad terrestre ha sido la medida instrumental más generalizada y un parámetro para evaluar las fuerzas sísmicas inducidas en las estructuras. La aceleración máxima del terreno es un valor que representa la máxima sacudida de éste y, por lo tanto, es también un parámetro útil para evaluar la intensidad registrada en un determinado sitio. (Rozo 1997)

La intensidad (I) de un sismo se asigna mediante una apreciación subjetiva de los efectos producidos por el evento y, por lo tanto, depende de la distancia entre el observador y la fuente sísmica. Se emplean distintas escalas de intensidad, siendo la más difundida en el continente americano la escala Mercalli Modificada (MM), que va de grado I a grado XII. (Rozo 1997)

Cada grado de intensidad va acompañado de una descripción de cómo es sentido el movimiento sísmico por las personas, de sus efectos y de los daños ocasionados por el evento (ver Apéndice 1.)

Otras escalas de intensidad son las de Rossi Forel de diez grados y la escala MSK (Medredev-Sponheuer-Kamik) de doce grados la cual es una versión modificada de la escala MM, (ver Apéndice 2)

Hipocentro o Foco

Shubert (1984) indica que el hipocentro o foco es el punto inicial de ruptura durante un terremoto, donde la energía potencial producida por el esfuerzo se convierte por primera vez en energía cinética, elástica o anelástica. El epicentro se refiere al punto de la superficie terrestre que se encuentra directamente sobre el foco de un terremoto.

Antecedentes Históricos

Una breve revisión de la historia sísmica de la región nos permitirá tener al menos una idea aproximada de cuál será la peor situación, es decir, determinar cuan "grande" puede ser el sismo, extrapolando la información obtenida de esta manera y tratando de adaptarla a las condiciones actuales de la ciudad y la región.

Se trata de saber cual fue el sismo histórico que más afectó la región, determinar la intensidad de ese evento y luego, suponiendo que puede repetirse un evento como ese, analizar los daños que podría causar en la actualidad en términos de las escalas modernas de intensidad usadas internacionalmente.

El primer evento sísmico de que se tiene noticia en la región, ocurrió el día 3 de Febrero del año 1610 y afectó las poblaciones comprendidas entre Mérida y La Grita. Fue descrito por Fray Pedro Simón.

En este evento hubo más de 60 muertos y los investigadores le asignan una intensidad máxima de 10 grados en la escala de Mercalli modificada de 12 grados (MM), lo cual podría ser traducido en una magnitud de al menos 7 grados en la escala de Richter.

El terremoto del 26 de Marzo de 1812 afectó toda la región centro-occidental de Venezuela, cobrando mas de 20.000 víctimas y 40.000 heridos: 5.000 de los muertos correspondieron a Mérida, 3000 a San Felipe 4000 a Barquisimeto, 10000 a Caracas (Febres, 1931).

Es probable que el número tan elevado de muertos esté estrechamente relacionado con el momento en que ocurrió la tragedia: Jueves Santo, a la hora en que los templos están abarrotados de personas que se preparan para salir en las procesiones. A este evento se le asignó, de acuerdo con los daños y al número de víctimas, una magnitud comprendida entre 7,5 y 8 grados en la escala de Richter.

En el año 1894, el día 28 de Abril a las 10 de la noche, ocurrió el "Gran terremoto de los Andes Venezolanos", que arruinó a Mérida, Santa Cruz de Mora, Zea, Tovar, Mesa Bolívar, Lagunillas, Chiguará y otros pueblos.

A pesar de que el epicentro de este evento se ubicó en una zona prácticamente despoblada, La serranía de Onía cerca de Santa Cruz, causó más de 345 muertos y destruyó poblados a lo largo de 60 Kilómetros entre Mérida y Tovar.

En Mérida se reportaron 116 temblores durante los 3 meses siguientes, de los cuales 16 ocurrieron la misma noche después del terremoto, 9 muy fuertes, y continuó temblando frecuentemente hasta 1895.

En relación con el terremoto del año 1894, Grases (1980) indica que este terremoto fue como una repetición de lo ocurrido en 1610 y los deslizamientos en las montañas fueron tan grandes, que tres días después del terremoto había un denso estrato de polvo sobre todo el Valle del Chama, que pasaba sobre Mérida y cubría una extensión de más de 20 Leguas.

El agua de los ríos y torrentes duró más de un mes corriendo repleta de barro y vegetación. Según Febres (1931) en las selvas de Onía, entre los ríos Chama y Escalante, se pudo observar una zona, muy distante de los poblados, donde la selva virgen aparecía destrozada y los árboles seculares arrasados de cuajo. De acuerdo a esta y otras descripciones los expertos dicen que la magnitud de este sismo debió superar los 7 grados en la escala de Richter.

Escenario Sísmico

Laffaille (1996) recomienda que para caracterizar el fenómeno sísmico en la región andina, los esfuerzos deben estar orientados al desarrollo de estudios básicos para la implementación de programas de prevención sísmica.

Entre esta clase de estudios se encuentra los de vulnerabilidad sísmica fundamentales para el diseño e implementación de planes de emergencia, que deben servir como base para predecir la clase, distribución y nivel de daños que puede sufrir una ciudad, pero el desarrollo de estos estudios rigurosos de vulnerabilidad, implican una inversión de dinero considerable. Igualmente existen toda una serie de problemas técnicos y metodológicos que dificultan su implementación .

En consideración a lo anteriormente expuesto, Laffaille (1996), indica que es necesario definir procedimientos económicos para hacer estudios de vulnerabilidad, que permitan incorporar toda la información disponible y que produzcan resultados explícitamente, con la distribución y nivel de daños en la ciudad de interés.

En otras palabras se desea definir un Escenario Sísmico de la ciudad, entendiendo por esto la probable distribución geográfica de los valores de intensidad sísmica, o de daños, que se observarían en la ciudad en el caso de ocurrir un evento sísmico de características destructoras.

Una forma de hacerlo consiste en visualizar el problema desde el punto de vista de quien estudia el resultado de un experimento, el cual no está completamente definido porque existen una serie de variables que escapan del control del observador, de tal forma que el resultado de este experimento no es completamente predecible. En otras palabras, se propone construir el escenario sísmico de una ciudad estudiando la situación desde el punto de vista probabilístico.

Laffaille (1996), señala como punto de partida para la construcción del escenario, suponer que cada una de las obras y estructuras construidas por el hombre en una ciudad tiene asociada una cierta probabilidad, generalmente mayor que cero, de subsistir, en caso de ocurrir un evento sísmico con determinadas características.

Este valor de probabilidad se menciona Probabilidad de Subsistencia, de la edificación en cuestión y estará determinado por dos clase principales de factores:

Aquellos relacionados con la edificación en si, entre los que se puede mencionar el tipo de estructura (tipología constructiva), la ubicación geográfica, su uso, interacción con otras estructuras, interacción con el suelo (pendiente, composición, consolidación y profundidad de sedimentos, distancia al talud, etc)

Factores vinculados a las características del evento sísmico, como por ejemplo su tamaño, profundidad focal, distancia epicentral etc.

En general, la elaboración de un escenario sísmico para una ciudad, permite visualizar y efectuar una estimación aproximada de cual seria la distribución probable de daños en una ciudad, en términos de la intensidad sísmica y/o probabilidad de subsistencia de las edificaciones de dicha ciudad.

En el Apéndice 4, se presenta una descripción detallada realizado por Laffaille, (1996), en relación a la Asignación de Probabilidades: definición del parámetro probabilidad de subsistencia y el procedimiento de cálculo respectivo.

Variables relevantes para el escenario sísmico de la ciudad de Mérida

En relación a las variables relevantes o de interés para la construcción del escenario sísmico de la ciudad de Mérida Laffaille (1995) indica que la intensidad del movimiento del suelo que sacudirá una localidad está condicionada por el tamaño del terremoto, la distancia desde la fuente sísmica hasta la localidad, las características del camino seguido por las ondas sísmicas y el tipo de suelo del sitio de interés.

Los daños producidos dependerán fuertemente de estas variables y del tipo de edificación que se encuentre en el sitio. De tal manera que los factores que determinarán las diferencias entre los grados de daños que se observaran en cada sitio serán la tipología constructiva y el tipo de suelo del lugar

A continuación, se describirán cada una de las variables, destacando su importancia y la forma en que fueron estimadas:

Una apropiada evaluación de la amenaza sísmica debe incluir un análisis de las condiciones locales del suelo y aunque dicho análisis es un requerimiento general de diseño de resistencia sísmica, casos en las que las condiciones del suelo no han sido revisadas o tenido en cuenta debidamente han terminado en situaciones catastróficas.

Esto significa que el daño en una edificación depende tanto de su resistencia, como del tipo de suelo que lo soporta, de la intensidad y de las características del movimiento.

Las condiciones locales del suelo evaluadas en el presente escenario fueron las siguientes:

Relativas al sitio. La importancia de estas variables, se fundamenta en experiencias de terremotos ocurridos en diferentes lugares del mundo, donde se han observado daños significativos en edificaciones ubicadas cerca al borde de un talud. Esto se debe al efecto de ampliación que cumplen las ondas sísmicas en las zonas cercanas al borde del talud, las cuales decrecen linealmente a medida que aumenta la distancia al borde del mismo, hasta hacerse despreciable

La existencia de este efecto ha sido documentada por diversos autores y comprobada experimentalmente en el caso de la meseta donde se ubica la ciudad de Mérida. Los valores de distancia a considerar son de 0 a 20 m, 20 - 40 m y 40-60 m, después de los 60 metros de distancia al talud el efecto de está variable es despreciable.

Profundidad de sedimentos. Rozo (1997) señala que experimentos realizados en diversas partes del mundo, tanto con explosiones nucleares como con sismicidad natural, indican que las amplitudes máximas del movimiento del suelo registradas sobre sitios ubicados en sedimentos aluviales son varias veces mayores que aquellas registradas sobre sitios rocosos.

De allí la importancia de esta variable, ya que mientras mayor sea la capa de sedimentos no consolidados en un lugar, mayor será el daño esperado.

Para el caso de Mérida, donde se tienen diversas áreas con sedimentos no bien consolidados, la profundidad de los mismos tiene una influencia notable, cuando se trata de incrementos del orden de los 50 m, razón por la cual se considera esta variable en tres rangos de valores:

de 0 a 50 m

de 50 a 100 m

de 100 a 150 m

Consolidación del suelo. Rozo (1997), Indica que el daño causado por terremotos a edificaciones, depende en gran medida del grado de consolidación del suelo, puesto que las condiciones estructurales del mismo tiene un efecto sobre la amplitud del movimiento en la superficie. En general la intensidad de la sacudida del terreno y la cuantía de los daños serán mayores en suelos blandos sin consolidar que en suelo firme o rocoso.

Una clasificación de los suelos de acuerdo a su estructura, o su grado de consolidación y su comportamiento sísmico en una escala del 1 al 6 fue elaborado por Hodder y Graham, (1993), citado por Laffaille (1996).

Estos autores proponen una relación lineal entre un parámetro para cuantificar los daños esperados y el grado de consolidación del suelo, este parámetro se denomina índice E de comportamiento sísmico donde $E=0$ es el peor caso (Sin estructura, no consolidados) y $E=6$ el mejor caso formados por roca intacta (lecho rocoso).

Composición de suelos. Laffaille (1996) señala que para considerar el comportamiento sísmico de los suelos en función de su composición dos investigadores Hodder y Graham, (1993) proponen una forma de cuantificar sus características en base a la cual determinan una relación lineal entre el tipo de suelo y el nivel de daños observados durante un evento sísmico.

Con base en lo propuesto anteriormente, Laffaille (1996), efectuó una clasificación de suelo de acuerdo a su composición y asignándoles a cada tipo su respectivo índice de comportamiento sísmico C que oscila entre 0 y 8, y cuya mejor composición es donde se presenta lecho rocoso con índice $C = 8$ y la peor composición es (solo arena o solo limo) con un índice de 0.

Pendiente. Laffaille,(1996), considera la pendiente como una variable a considerar en la construcción del escenario sísmico para la ciudad de Mérida, ya que cuando una edificación se encuentra ubicada en un terreno inclinado con un cierto ángulo θ , aparece una condición que diferencia la situación respecto al caso de un plano horizontal, y es que se debe tomar en cuenta que sobre las partículas del suelo actúa constantemente una aceleración que tiene una componente paralela al plano inclinado, de modulo $\tilde{a} \theta = g \sin \theta$, la cual es cero si el terreno es horizontal ($\sin 0=0$).

Es decir que las instalaciones ubicadas en zonas de mayor pendiente podrían presentar un nivel de riesgo sísmico más elevado

Relativas a la componente estructural

Tipologías constructivas. Al ocurrir un terremoto las construcciones se ven sometidas a cierto movimiento dependiendo de la intensidad del sismo y dependiendo del tipo de construcción se manifestarán diferentes tipos y niveles de daños. En tal sentido, para la creación del escenario sísmico se analizaron las diferentes tipologías constructiva presentes en la ciudad de Mérida.

El análisis de la tipologías constructivas las realizó Laffaille (1996), basándose en la escala de intensidad sísmica. Ellas establecen una clasificación que toma como característica diferenciadora, entre un tipo de identificación y otra, la calidad de su posible comportamiento ante la acción de un evento sísmico.

Para la variable tipología constructiva, se emplearon los tres tipos básicos de edificaciones A, B y C descritos en la escala de intensidad sísmica MSK. (Apéndice 2). En relación a las construcciones correspondiente al tipo C existe otra clasificación donde se describen los diferentes sub-tipos que la conforman (Apéndice 3)

Las formulas e índices desarrollados por Laffaille (1996), para cada una de las variables descritas anteriormente, se pueden observar con mayor detalle en el capítulo 3.

Sistemas de Información Geográfica

Definición

Debido a la dinámica y a los constantes avances teóricos y prácticos, es comprensible que exista gran número de definiciones, según algunos autores tantas como usos posibles de estos sistemas existan. Siendo una de las definiciones más utilizadas la propuesta por Environmental Systems Research Institute (ESRI) en 1990 que textualmente dice:

"Una colección organizada de *hardware* computarizado, *software*, datos geográficos y personal designado, para la captura. Almacenamiento, actualización, manejo, análisis y presentación de todas las formas de información geográfica referenciada"

Componentes

Un Sistema de Información Geográfica está conformado por cuatro tipos de componentes: *hardware* o soporte material, *software* o soporte lógico, Información y Organización (Comas, 1993).

El Hardware

Son los componentes materiales de un sistema informático. Los componentes materiales básicos para un SIG son: La Unidad Central de Procesamiento (CPU) y los periféricos. Los periféricos son una serie de componentes muy diversos y heterogéneo, pero en su totalidad dependen de la CPU.

La Unidad Central. La Unidad Central de Procesamiento, es un procesador electrónico que, bajo el control de las instrucciones de software, dirige y supervisa todas las funciones del sistema, recibe datos y ordenes, realiza las operaciones y genera los resultados que llegan al usuario a través de los periféricos. La estructura de la Unidad Central de Procesamiento es la siguiente: la Unidad de Control, la Unidad Aritmético-Lógica, la memoria central o principal (ROM y RAM) .

Los Periféricos. Los periféricos se pueden agrupar de acuerdo al tipo de función que cumplen en periféricos de entrada, salida y almacenamiento. (Tabla 1)

El Software o Soporte Lógico. El término inglés software se refiere en la terminología informática al soporte lógico que organiza, dirige y da consistencia a todo el sistema. En un SIG se pueden distinguir dos grandes clases de software:

El Sistema Operativo. Que es el interprete entre el usuario, la información, el software SIG y el hardware.

El Software SIG. Siguiendo el criterio de funcionalidad se puede caracterizar el software del SIG por las funciones que realiza. Se Distinguen cinco grandes grupos: entrada, gestión, manipulación, análisis y representación. (Tabla 2)

Información

La información es lo que singulariza a un SIG, pues la información es la geográfica, ya que el sistema no lo es (Burrough, 1987). La información está almacenada en una o varias bases de datos organizada y controlada por diversos subsistemas de software.

La base de datos geográficos es un conjunto de varios archivos interrelacionados, que representa la realidad territorial en forma digital. La base de datos almacena el conocimiento y es independiente de la estructura física donde se almacenan los datos, y de la estructura lógica, donde se gestionan los datos.

Todos estos procedimientos están a cargo del subsistema gestor de la base de datos o SGBD (Bracken y Webster, 1990 citado por Comas, 1993).

El objetivo de la base de datos es representar digitalmente la realidad territorial, lo cual es sólo posible de una forma parcial y limitada. La realidad geográfica es enormemente compleja y se debe, por tanto simplificarla para que pueda ser tratada. Se la debe discretizar y esquematizar así como modelizar. La modelización es subjetiva, pues subraya y capta solamente unos aspectos determinados de la realidad. La elección del modelo y de sus características está en relación directa con las preguntas a resolver y los objetivos a cumplir con el SIG.

Tabla 1 Periféricos

FUNCION	PERIFERICO
Entrada	Monitor Teclado Mouse o ratón Tabla digitalizadora Scanner Cámara de Vídeo
Salida	Monitor Impresora matricial, láser, inyección a tinta o térmica Plotter, trazador de líneas de plumillas, o electrostático Grabadora de celuloide Archivos gráficos
Almacenamiento	Disco magnético u óptico Cinta magnética

Tabla 2 Funciones

FUNCIONES	SOFTWARE
Entrada	Entrada de datos Edición Representación interactiva
Gestión	Almacenamiento Recuperación Actualización
Manipulación	Estructuración topológica Transformación Superposición Integración

Tabla 2 (Continuación)

FUNCION	PERIFERICO
Análisis	Recuperación Superposición Vecindad Conectividad
Representación	Anotaciones Simbolización Comunicación con periféricos

Organización

Un SIG, no tiene sentido si no cumple un objetivo, o no es parte de una organización. La eficiencia de un SIG para procesar cartografía digital no es más que la punta del iceberg, porque un SIG en una organización aporta sobre todo, eficacia en la integración horizontal de varios registros digitales de información, como el control urbanístico.

La fiscalidad de la propiedad o el censo de habitantes. Aporta eficacia en el intercambio vertical entre los niveles jerárquicos, como el directivo, el de gestión y el operativo. Como todo sistema de información, un SIG necesita ser mantenido, necesita usuarios y necesita la persona gestora que asegura su buen funcionamiento. (Comas, 1993).

Como síntesis, se puede decir, que un SIG no opera en el vacío, ni puede autopropulsarse. Necesita un mantenimiento continuo. Tampoco es un juguete de alta eficiencia sino un medio para ganar eficacia. Por el potencial integrador que ofrece la georreferenciación de la información de forma directa e indirecta, un SIG hace aumentar la eficacia productiva y la estratégica en el seno de una organización que trabaje con información de carácter espacial.

Los Datos Geográficos y su Representación digital

Bosque (1992) señala que el mapa es la representación analógica de la realidad, por lo tanto no está adaptado a ser procesado por el computador que utiliza datos en formato digital (numérico). Por lo tanto el primer paso para introducir los datos a un SIG, es su conversión al formato digital.

Para realizar la correcta representación digital de los datos espaciales se requiere la resolución de dos cuestiones. La primera consiste en el procedimiento mediante el cual un objeto geográfico recibe directa o indirectamente una etiqueta

que identifica su posición espacial con respecto a algún punto común o marco de referencia (Goodchild, 1984, citado por Bosque, 1992).

En segundo lugar, se debe realizar una descripción de la posición geométrica de cada objeto y sus relaciones espaciales (la topología) que mantiene con los restantes objetos geográficos existente en la realidad a estudiar y para llevar a cabo esta ultima labor se requiere realizar una abstracción y simplificación de todos los elementos existentes, es decir se debe crear un modelo de datos de los objetos a representar digitalmente (Peuquet, 1984).

Un modelo es siempre una representación simplificada de la realidad “Una abstracción del mundo real que incorpora sólo aquellas propiedades que son relevantes a la aplicación de interés de cada caso”.

Tipos de Modelos

La simplificación de la realidad se puede llevar a cabo, según los objetivos que se persigan utilizando diferentes tipos de modelos. En este punto los autores Bosque (1992) y Comas (1993), presentan entre sí una leve diferencia en relación a los diversos tipos de modelos: Bosque (1992) hace referencia a los modelos vectorial, raster, el jerárquico recursivo, y los modelos digitales del terreno; en cambio Comas (1993) considera como los principales modelos y opciones para la representación del territorio: el modelo orientado a capas (raster y vectorial), modelo orientado a objetos y el modelo digital del terreno.

A continuación se estudiarán los modelos orientados a capas y los orientados a objetos de acuerdo a la conceptualización realizado por Comas (1993).

Modelos Orientados a Capas

Modelo raster. El modelo raster es el más simple desde el punto de vista conceptual y lógico. Su analogía cartográfica es muy clara y representada siempre por la malla de puntos.

La distinción de entidades es implícita en los pixeles contiguos con el mismo valor, las relaciones topológicas son implícitas a la posición de cada pixel en la malla. La separación entre datos cartográficos y datos temáticos no existe, pues cada capa representa un único tema y cada celda contiene un solo dato numérico. (Comas, 1993)

Modelo Vectorial. En el modelo vectorial las entidades geográficas se representan por la combinación de puntos, líneas, polígonos y atributos temáticos georreferenciados e interrelacionados.

Este es un modelo mucho más parecido a la percepción humana del espacio que la que ofrecen los modelos raster, y en parte por ello tiene más variantes y también más dificultades añadidas (Comas, 1993)

Comparación entre los modelos raster y vectorial. Aunque los dos modelos ofrecen ventajas y desventajas para el almacenamiento y posterior manipulación de variables. Cada uno trabaja mejor en situaciones donde la información espacial, a ser tratada, se asemeje más a la estructura o modelos de datos.

El modelo Raster es generalmente conveniente cuando la información geográfica de interés es la variabilidad espacial de un fenómeno, el análisis de redes se adapta más al modelo vectorial. (Parra, 1993).

A continuación se exponen en forma sucinta las principales ventajas y desventajas de los modelos raster y vectorial. (Tabla 3). La discusión entre los partidarios del modelo raster o vectorial ha sido documentada en infinidad de artículos y libros, defendiendo uno o el otro modelo.

Tabla 3 Comparación entre el modelo vectorial y el modelo raster

MODELO VECTORIAL	MODELO RASTER
Ventajas • Presenta una estructura de datos más compacta que el modelo raster. • Las relaciones topológicas son manejadas eficientemente por el sistema. • El análisis de redes es posible. • La calidad cartográfica es mayor.	Ventajas • Tiene la estructura de datos simple. • Las operaciones de superposición son implementadas fácil y eficientemente • La variabilidad espacial es representada eficientemente en el modelo raster • El modelo raster es eficiente para la manipulación y preparación de imágenes digitales • La tecnología no es costosa y está muy desarrollada.

Tabla 3 (Continuación)

MODELO VECTORIAL	MODELO RASTER
Desventajas • Tiene la estructura de datos más compleja que el modelo raster. • Las operaciones de superposición (overlay) son más difíciles de realizar. La representación de la variabilidad espacial no es tan eficiente como en el modelo raster. • La manipulación y mejoramiento de las imágenes digitales no pueden ser efectuados efectivamente en el dominio vectorial.	Desventajas • La estructura de datos raster es poco compacta, requiere de mucha memoria. • Las relaciones topológicas son difíciles de representar. • Errores de estimación de perímetro y forma • Los análisis de redes son difíciles de realizar • La transformaciones de proyección son un proceso lento • Las salidas gráficas no son de muy buena calidad.

En la actualidad, la discusión no es tan polarizada y se ha llegado a una situación de estabilidad, quedando claro que ningún modelo es mejor que el otro en términos absolutos, ni que ninguno puede sobrevivir sin el otro.

Esta situación es debida a que ambos modelos presentan ventajas o desventajas según sea su área de aplicación. Por lo tanto se han desarrollado programas que permiten convertir la información de un formato a otro, seleccionando el más conveniente para cada fin que se pretende.

La conversión de raster a vector es más compleja, porque es preciso encontrar los bordes entre unidades y definir éstos por sus coordenadas. La conversión de formato vectorial a raster es más sencilla, basta constituir las fronteras entre unidades para "llenar automáticamente las celdillas situadas entre ellas".

El Modelo Orientado a Objetos

Comas, señala que el debate en los años 90 entre los modelos orientados a capas y los orientados a objetos es uno de los más recurrentes en los círculos científicos. Los modelos raster y vectorial orientados a capas temáticas tienen una base conceptual común, centrada en el enfoque cartográfico, en el cual el sistema tiene como objetivo básico representar el contenido del mapa.

Los modelos orientados a objetos no se diferencian en las primitivas gráficas utilizadas por los anteriores: puntos, líneas, polígonos; sino en estar basados en un modelo conceptual distinto, mucho más ambicioso, que persigue representar no el modelo real que los mapas representan sino el propio mundo real.

En el modelo de capas el espacio es continuo, en él existe un infinito número de lugares georreferenciables sin ninguna limitación teórica. El territorio puede ser descrito por medio de una serie de variables, suelos, geología, población cada variable temática puede ser entendida y representada como una capa independiente que representa la distribución de la variable en el espacio, existiendo funciones para interrelacionar las capas entre sí.

En relación al modelo de orientación a objetos es un conjunto de conceptos originados en el campo de la informática referidos al diseño de bases de datos y algoritmos. Su tesis central plantea que es artificial y confuso separar la definición de objetos de las operaciones posteriores realizadas por ellos. Por ejemplo, en el caso de un SIG, es artificial separar la naturaleza de la variabilidad espacial del análisis de esta variabilidad.

Los humanos percibimos el territorio como un continente, el espacio, ocupado por varios tipos de entidades u objetos que son el contenido. El modelo orientado a objetos representa al mundo en el sistema de una manera muy parecida a la humana, pues nuestro pensamiento, nuestra habla y nuestra expresión escrita utilizan entidades u objetos (Goodchild y Kemp, 1990).

Comparación entre el modelo orientado a capas y el orientado a objetos

Con la finalidad de analizar las ventajas o inconvenientes de modelado orientado a objetos y contrastarlo con el modelo orientado a capas, se utilizara la valoración realizada por Laurini y Thomson (1991) citados por Comas, (1993) a partir de cinco puntos claves: la concepción epistemológica del espacio, la arquitectura del sistema, la extensión limitada del modelo de capas, la orientación a objetos de la propia base de datos y la semántica de la modelización conceptual en objetos.

La primera cuestión es la diferente concepción epistemológica entre enfocar el espacio como un ente propio, que está vacío y se llena o no de objetos y enfocar el espacio no como un ente propio, sino como la unión de un continuo de entidades.

Un ejemplo representativo de la primera concepción son las islas que rodean un océano vacío, mientras que uno que representa la segunda concepción puede ser la pendiente de una colina. El primer enfoque es el propio de la orientación a objetos, mientras que el segundo es propio de la orientación a capas.

El segundo elemento es la arquitectura del sistema, la cual debe estar desarrollada en base a un modelo orientado a objetos como en el caso de Smallworld o el Ilwis, o esté orientado a capas como es el caso del ARC/INFO.

Por supuesto que ambas arquitecturas tratan con objetos, pero sólo la arquitectura en base a objetos aprovecha todas las ventajas de los objetos complejos, al poderlos definir desde la misma creación de la base de datos. Los SIG orientados a capas pueden crear objetos complejos a posteriori y sin aprovechar totalmente su potencialidad.

La tercera cuestión básica es la extensión limitada del modelo orientado a capas hacia el modelo orientado a objetos. Algunos sistemas desarrollados en base a capas pueden usar la orientación a objetos solamente para representación gráfica y consultas simples, pero están imposibilitados para hacerlo en tareas analíticas y de modelización complejas. (Comas, 1993)

El cuarto punto clave es la orientación a objetos de la propia base de datos, quizá la cuestión central de todo el debate. En la base de datos orientada a objetos desaparecen los registros como reflejo de entidades y son sustituidos por un lugar determinado en una red de objetos entrelazados.

Destacan las mayores capacidades de las bases orientadas a objetos para representar algunos fenómenos, ya que se pueden manejar objetos complejos, encapsulados, herederos entre ellos mismos. En la práctica no existe la orientación a objetos pura de las bases de datos sino un continuo de soluciones híbridas e intermedias entre las bases de datos relacionales y las orientadas a objetos (Comas, 1993).

En el punto relativo a las bases de datos se profundizará un poco más en lo relativo a las bases de datos orientadas a objetos y las relacionales.

La quinta cuestión importante es la relevancia semántica, propia de la modelización conceptual en objetos, diferenciándola de las posteriores modelizaciones lógica y física. La modernización conceptual basada en capas temáticas parte de la premisa entidad-relación-atributos.

La modelización conceptual basada en objetos incorpora, respecto a la relacional, el potencial que ofrecen las funciones ligadas a los objetos, abriendo marcadas diferencias respecto al otro modelo, abriendo la esperanza a modelos del territorio mucho más expresivos. (Comas, 1993)

En forma similar a las disputas que se presentan entre el modelo raster y el vectorial, se tiende a generar polémica entre cual es mejor si el modelo orientado a objetos o el orientado a capas, pero se considera que es más productivo y

beneficioso caracterizar cada uno de los modelos y evaluar su eficiencia y precisión en diferentes tipos de aplicaciones y representaciones del territorio.

Por ejemplo, según Worboys (1990) la orientación a objetos encaja muy bien para representar fenómenos muy estructurados y a menudo con un fuerte énfasis jerárquico, como en el estudio de las redes de servicio, sobre todo porque conceptualmente se trata de una realidad muy bien estructurada y jerarquizada.

En cambio la orientación a capas es muy clara en la gestión de recursos naturales, en buena medida porque los fenómenos como la vegetación o las hábitats ecológicos tienen delimitaciones muy difusas (Comas, 1993).

Bases de Datos Cartográficas

Bases de Datos

Una base de datos se puede definir según diferentes autores de la siguiente manera:

Una colección de datos no redundantes, que pueden ser compartidos por diferentes sistemas de aplicación (NCGIA, 1990).

Es un medio de almacenamiento de datos en el computador, que está orientado a satisfacer concurrentemente las necesidades de información de múltiples usuarios y mantener un control centralizado de los datos como un recurso organizacional (Montilva, 1995).

Una colección de información acerca de cosas, objetos y sus relaciones (Aronoff, 1991).

Una colección de uno o más ficheros de datos, almacenados en una forma estructurada y que contienen información no redundante, de modo que las relaciones existentes entre los distintos ítems o conjuntos de datos, puedan ser utilizados por el Sistema de Gestión de Bases de Datos o Sistema Manejador de Base de datos (SGBD) o SMD, para manipular o requerir los mismos (Bosque, 1992).

Bases de Datos Espaciales

En relación a las bases de datos espaciales las mismas han sido definidas de la siguiente forma:

Una base de datos espacial (BDE) es una colección de datos almacenados y espacialmente referenciados, que actúa como un modelo de la realidad (Montilva, 1995).

Una BDE es un modelo o representación de la realidad, representa las propiedades, relaciones y restricciones espaciales y temáticas de los objetos o entidades que conforman una porción de interés del mundo real, denominada área de dominio de aplicación (Montilva, 1995).

Los Sistemas de Gestión de Bases de Datos

Un Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD) se puede definir como: Un programa de ordenador para el almacenamiento, manipulación, (edición) y recuperación de información de una base de datos. (Bosque, 1992).

El objetivo general de un SGBD es proporcionar las herramientas necesarias para poder crear y mantener la base de datos geográficos y entre las funciones más importantes que cumple están las siguientes:

Permitir el acceso a los datos geográficos almacenados, para así poder extraer con relativa facilidad determinadas informaciones del conjunto de datos, sin necesidad de conocer cómo se organiza internamente, es decir, cuál es su estructura física, sino solo mostrando el modo en que son accesibles al usuario.

La manera en que los datos aparecen presentados ante el usuario se denomina estructura lógica de la base de datos. Mientras que la estructura física de la base de datos es única, las estructuras lógicas de vistas de la base, pueden ser varias, atendiendo a los datos a que sea necesario acceder para cada aplicación y atendiendo al requerimiento de los usuarios.

Facilitar la actualización de la base de datos ante los posibles cambios en las características de los elementos geográficos, se debe recordar que el tiempo es un parámetro crucial de control de la calidad de datos, ya que es necesario tener los datos actualizados para realizar análisis y modelados cartográficos confiables.

En tal sentido los SGBD, disponen de las herramientas que facilitan la actualización parcial de la base de datos, según esa variabilidad temporal, manteniendo los datos preexistentes en perfecto estado y asegurando la fiabilidad de los nuevos.

Los SGBD deben permitir la eliminación de datos que ya no son útiles o relevantes a los propósitos iniciales, bien porque ya hayan sido empleados o hayan sido sustituidos por los nuevos valores.

En conclusión, los SGBD deben ofrecer las máximas facilidades y garantía en cuanto a la seguridad de los datos, de modo que sólo el administrador del SIG pueda acceder a la estructura física. Además deben asegurar la integridad de las bases de datos, en cuanto a que sean respetadas las definiciones establecidas al crear las bases. Igualmente se deben evitar las posibles incongruencias generadas por el uso sincronizado de la base por parte de varios usuarios.

Del mismo modo, debe mantener la independencia física de los datos, tanto de las aplicaciones a que se vaya a dedicar la base, como incluso el tipo de hardware que se esté empleando. Finalmente debe eliminar redundancias o duplicidades de los datos almacenados (Comas, 1993).

Bosque (1992), señala que lo primero a considerar para diseñar una base de datos, es realizar un análisis previo de la información que se va a incluir en ella, en especial para definir, conceptualmente, las relaciones entre los diversos elementos que la integran. Existen diversas formas para realizar este análisis de datos, en el presente trabajo se utilizará el enfoque de entidad-relación.

El Modelo Entidad-Relación

El modelo entidad-relación es un modelo utilizado para interpretar, especificar y documentar requerimientos para sistemas de procesamiento de bases de datos.

Este modelo fue descrito en primera instancia por Peter Chen; en él se definen las entidades que constituyen los objetos o cosas identificables e importantes para los usuarios .

Una entidad es un objeto que puede identificarse en el espacio de interés para el usuario y, de acuerdo a como estén asociadas las entidades, pueden ser de dos tipos: la entidad clase es una colección de entidades del mismo tipo y constituye la forma general o descripción de un objeto, por ejemplo: la entidad movimiento de masa, la entidad tipología constructiva.

La entidad o instancia constituye una representación particular dentro de la entidad clase, por ejemplo: deslizamiento, derrumbe, flujo son de la entidad movimiento de masa. (García, 1994).

Los Atributos: son las características o variables asociadas a cada entidad. Por ejemplo la entidad movimiento de masa tiene asociado los atributos, tipo de movimiento, condición actual, fecha de ocurrencia y otros.

Relaciones entre entidades, son los mecanismos de cualquier orden que permiten relacionar unas entidades con otras. De este modo se puede modelar y

representar con facilidad cualquier tipo de situación y de interacción entre las entidades (Bosque, 1992).

García, (1994) señala que las entidades pueden asociarse unas a otras a través de las denominadas relaciones de clase o relaciones de instancias, según sean entidades de clase o instancias respectivamente, las cuales son definidas explícitamente por el modelo entidad-relación.

El número de entidades involucradas en una relación se llama grado de la relación, por ejemplo una relación es de grado dos, cuando cada instancia de la relación involucra dos entidades, esta relación también es denominada binaria, éstas son las que normalmente se aplican en el modelo. Una relación de grado tres se da cuando una instancia involucra tres entidades. (García, 1994)

Tipos de Relaciones Binarias

Relación 1:1: Una entidad instancia de un tipo, se relaciona con una entidad instancia de otro tipo.

Relación 1:N: Una entidad instancia se relaciona con muchas entidades instancias.

Relación N:N: Donde muchas instancias se relacionan con otras tantas instancias. (García, 1994)

Entidades Fuertes y Entidades Débiles

El modelo entidad-relación define dos tipos de entidades llamadas entidades fuertes y débiles. Las entidades fuertes son aquellas cuya presencia en la base de datos no depende de la existencia de otra entidad en la misma. Una entidad débil es aquella cuya presencia en la base de datos depende de la existencia de otra entidad, en este caso una entidad fuerte. (García, 1994)

Representación del Modelo Entidad-Relación

Los diagramas de entidad-relación tienen un patrón de representación establecidos. De acuerdo a este patrón las entidades clases se muestran como rectángulos y las relaciones por medio de rombos. La cardinalidad máxima de la relación se muestra dentro del rombo. El nombre de la entidad se muestra próxima al rombo. (García, 1994)

Las entidades débiles y sus relaciones se muestran utilizando rectángulos y rombos con las esquinas redondeadas, configurando diagramas de entidad-relación.

Tipos de Bases de Datos

Los elementos del modelo entidad-relación que describen una situación se pueden plasmar operativamente en diversos tipos de bases de datos adecuadas para gestionar la información temática que manipula el SIG. Bosque señala que existen diferentes modelos de bases de datos que pueden ser empleadas en un SIG: entre las que se tienen: (Bosque, 1992)

Tabular o de fichero simple
Jerárquica
En red
Relacional
Orientada a objetos

Para el desarrollo del presente trabajo son de especial interés los tipos relacional y orientada a objetos. Anteriormente ya se hizo una primera mención sobre los modelos orientados a capas y los orientados a objetos, donde se destacaba que el punto central de discusión en esa materia era lo relativo a la base de datos.

En los últimos años las bases de datos relacionales han sido las utilizadas para el manejo de la información espacial en los SIG, pero recientemente, con los avances producidos en el área de la informática, las bases de datos orientadas a objetos han tomado auge, en especial en el campo de los SIG. A continuación se presenta una breve discusión sobre las bases de datos relacionales y las orientadas a objetos.

Bases de Datos Relacionales

En las bases de datos relacionales, los datos se almacenan formando relaciones, que son unas tablas o matrices formadas por filas (registros) y columnas (campos). En la organización relacional cada tabla o relación debe ser un conjunto único, por lo tanto no puede existir ninguna tabla con dos filas iguales. (Bosque, 1992)

Para conseguir esto una de las columnas constituye un atributo especial, el identificador de la fila/registro o clave primaria. Esta es única para cada registro y es un elemento no redundante, por lo tanto, no se puede eliminar sin destruir la tabla o relación. Esta columna sirve para referirse a otras tablas de la base de datos y así interrelacionar dos conjuntos de datos diferentes.

Entonces, para realizar una búsqueda entre varios conjuntos de datos se parte de una columna de una tabla, se busca en otra tabla la columna en que coinciden los valores de la primera columna, a continuación los valores de esa fila de la segunda tabla se pueden usar para buscar otras coincidencias entre tablas, normalmente estas operaciones de búsqueda se llevan a cabo mediante operaciones de álgebra booleana (Bosque, 1992).

Bosque (1992) señala las siguientes ventajas de las bases de datos relacionales:

- El diseño se basa en una metodología con fundamentos teóricos importantes, lo que ofrece mayor confianza en su capacidad de evolucionar.
- Es fácil de implementar, sobre todo al compararlo con otros sistemas (orientado a objetos).
- Es muy flexible, las nuevas tablas o las nuevas filas de datos se añaden sin ningún problema, además el mecanismo explicado por la creación de nuevas tablas facilita la recuperación de la información con una gran variedad de formas.
- Diversos Sistemas de Gestión de Bases de Datos que usan el modelo relacional, traen incorporados lenguajes de consulta (SQL) poderosos y eficientes, lo que facilita incluir este instrumento en cualquier SIG.
- Algunos SIG comerciales han sido contruidos, elaborando el apartado de gestión de la información espacial y un mecanismo de relación con un Sistema de Gestión de Bases de Datos preexistente que se incorpora al SIG.

En relación a las deficiencias que presentan los sistemas de gestión convencionales (bases de datos relacionales) , Egenhofer y Frank (1995) señalan lo siguiente:

- El desempeño de la base de datos relacional es deficiente, cuando se trabaja con grandes cantidades de datos y esta deficiencia es particularmente visible cuando se está en sesiones gráficas inter-activas, como en el caso de los SIG.
- El tratamiento de objetos complejos, como las moléculas en química los objetos espaciales en GIS/LIS o circuitos, no son soportados por las bases de datos relacionales.
- Los mecanismos de abstracción utilizados por las bases de datos relacionales son deficientes para representar la compleja estructura de los datos espaciales.

Los Sistemas de Gestión de Base de Datos relacionales generalmente son muy buenos para trabajar con datos tabulares, donde la estructura es muy simple o

se hace muy simple utilizando algunas técnicas de diseño, pero este no es el caso de los datos espaciales.

Cuando se usa un SGBD relacional para el manejo de datos espaciales, con frecuencia es necesario ajustar el modelo de datos idealizado a los requerimientos del modelo relacional, creándose de esta manera restricciones artificiales como es el caso de la normalización.

Bases de Datos Orientada a Objetos

Este tipo de SGBD (Sistema de Gestión de Base de Datos), se basa en la premisa de que es artificial separar la definición de un objeto, de las operaciones realizadas en él. Por lo tanto en este tipo de SGBD, un objeto es entendido como una entidad que tiene un determinado estado representado por los valores de unas variables y por un conjunto de operaciones o métodos que operan sobre ella (Healy, 1990 citado por Comas, 1993).

El avance que supone el empleo de los SGBD orientado a objetos viene dado porque cualquier elemento de la Base de Datos geográficos no solo es definido por sus atributos descriptivos, tal y como se hace en las bases de datos relacionales, sino además ahora ese objeto queda definido por las operaciones que lo afectan.

Además de las características señaladas anteriormente, es importante destacar que los objetos individuales presentes en el espacio geográfico, pertenecen a una clase superior, que define el tipo de objeto de que se trata mediante atributos generales para la clase.

Del mismo modo, cada una de estas clases pertenece a una superclase de la cual puede heredar atributos descriptivos y operaciones, en la Figura 3 se puede ver un ejemplo de lo descrito anteriormente.

La ventaja más clara de este tipo de SGBD orientado a objeto, es que permite representar la realidad de manera mucho más parecida a la humana, ya que nuestros razonamientos están basados en entidades como los objetos y en esas asociaciones a clases y superclases.

En relación a los modelo orientado a objetos Bosque (1992), indica que su principal ventaja es la mayor facilidad de utilización para los usuarios que trabajan con conceptos más cercanos a los de la vida real, pero las implementaciones operativas no son muy numerosas y son tachadas de lentas en su actividad, además de exigir un trabajo inicial muy complicado y detallado de definición de los objetos más adecuados para cada aplicación en concreto.

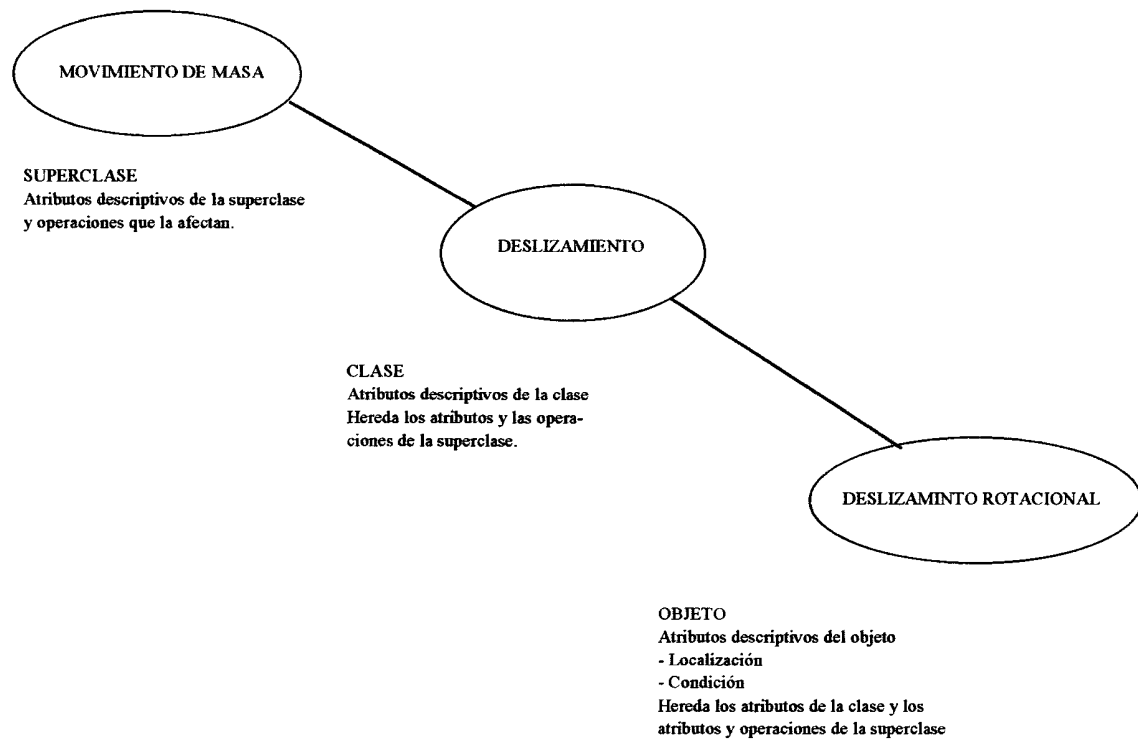


Figura 3. Ejemplo esquema de la orientación a objetos.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

Un Sistema de Información Geográfica se define según la NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis), como un sistema de *hardware*, *software* y procedimientos elaborados para facilitar la gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salidas de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gerencia.

Como se puede observar, un SIG es una poderosa herramienta de trabajo, pero lamentablemente, están siendo utilizados en forma deficiente o sub-utilizados, no obteniéndose de ellos su máximo rendimiento y productividad, esta situación es producto de lo siguiente:

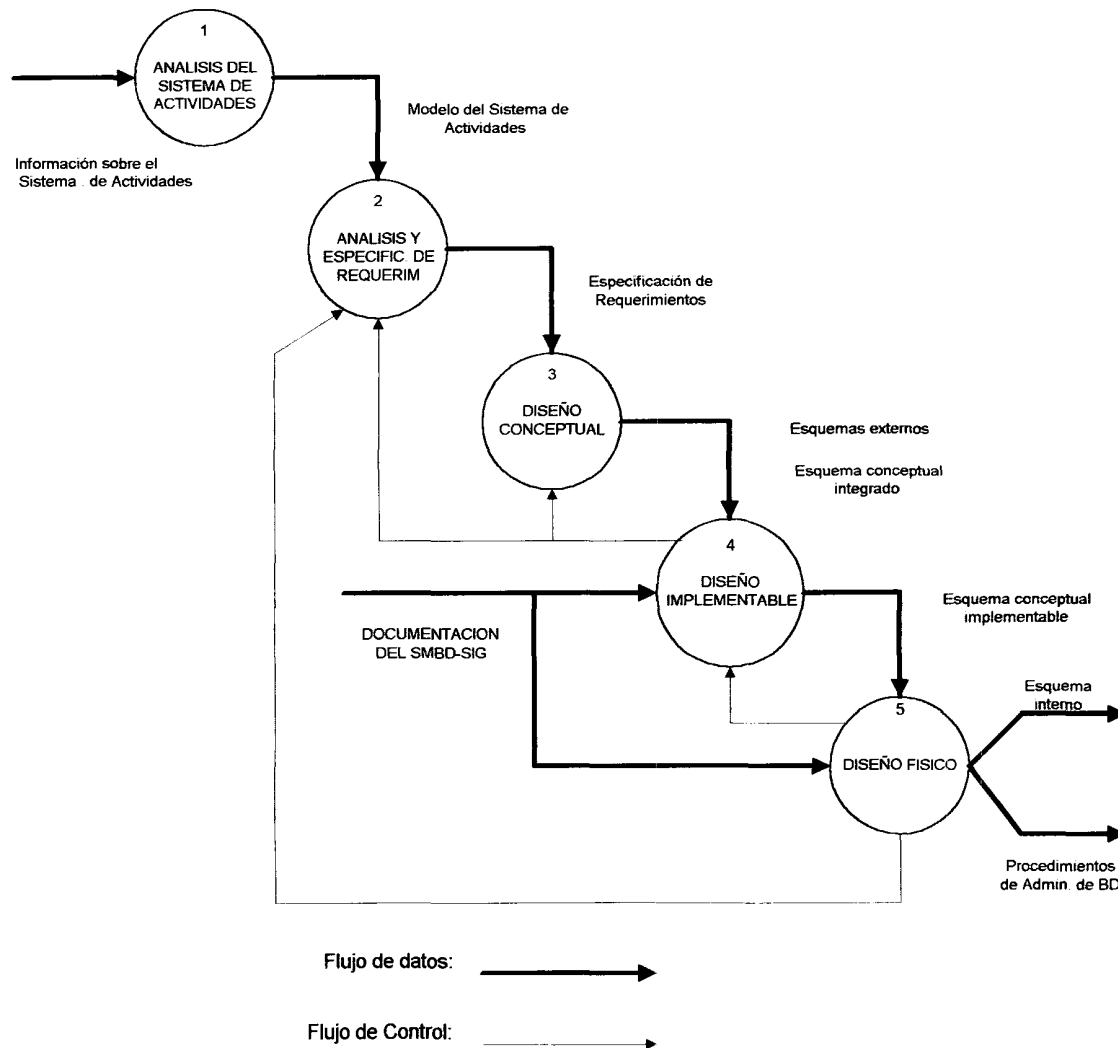
Limitaciones de comunicación entre el usuario y el sistema: Cada Sistema de Información Geográfica, utiliza un modelo de datos propios y una terminología muy diferente a la utilizada por los usuarios para describir y estudiar el mundo real, esta situación genera dificultades tanto para el aprendizaje como para la manipulación del sistema, a tal extremo que cada vez que se desarrolla un SIG es necesario que el usuario tenga que aprender un nuevo vocabulario.

Carencia de una metodología: En la actualidad no existen o están en incipiente desarrollo, metodologías que auxilien al usuario en la determinación exacta de los datos que deben ser recabados para la obtención de la información deseada. Frecuentemente se da el caso que se colecta y se alimenta al sistema de información geográfica con datos irrelevantes o innecesarios, incrementando con creces la inversión de implementación de una aplicación geográfica.

Sistemas de Gestión de Bases de Datos: Un gran porcentaje de los Sistemas de Información Geográfica disponibles en el mercado, no cuentan con un Sistema de Gestión de Bases de Datos eficiente. Esta situación dificulta la verificación de seguridad, compartimiento de datos, control de integridad y concurrencia, facilidades provistas típicamente por un Sistema de Gestión de Bases de Datos (Egenhofer, 1992)

Con base en las consideraciones anteriores y con la finalidad de optimizar los procesos de especificación y diseño de sistemas de información geográfica, con especial énfasis en el modelado y diseño conceptual de bases de datos espaciales, el grupo de Ingeniería de Datos y Cocimiento (GIDYC) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes desarrolló una metodología orientada a objetos, denominada Metodología para el Diseño de Sistemas de Información Geográfica Orientada a Objetos (MEDSIG-OO), la cual describe los pasos necesarios para especificar los requerimientos, diseñar la base de datos espacial, implementar y probar un SIG.

En la Figura 4 se detalla el esquema general de la mencionada metodología y que fue implementada en el desarrollo de la presente tesis .



Fuente : Montilva, 1996

Figura 4. Fases de la Metodología MEDSIG-OO desarrollada por el grupo de ingeniería de datos y conocimiento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes(GIDYC)

Fase 1. Análisis del Sistema de Actividades.

Objetivos:

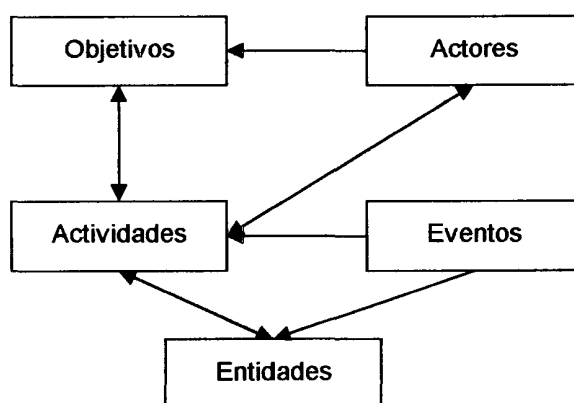
- Conocer el Sistema de actividades donde habrá de operar el SIG.
- Elaborar un modelo funcional del sistema de actividades.

Un sistema de actividades es un sistema organizacional que lleva a cabo un conjunto de funciones, procesos y tareas, orientados a la consecución de objetivos preestablecidos, siendo el rol principal del SIG proporcionar la información espacial y temática que el sistema de actividades requiere para realizar sus procesos.

Por ejemplo, la función principal de un sistema de información ambiental es proporcionar información que la oficina de planificación ambiental de un estado requiere para realizar sus actividades.

En el desarrollo del SIG la comprensión del sistema de actividades que lo contiene es fundamental para la definición de los requerimientos de información y el diseño de la base de datos. De hecho, la base de datos espacial es por definición un modelo de actividades que contiene el sistema de actividades.

Se hace por consiguiente, necesario disponer de un marco conceptual que permita obtener un conocimiento rápido del sistema de actividades del SIG bajo desarrollo. Este marco conceptual se puede ver en la Figura 5



Fuente : Montilva, 1996

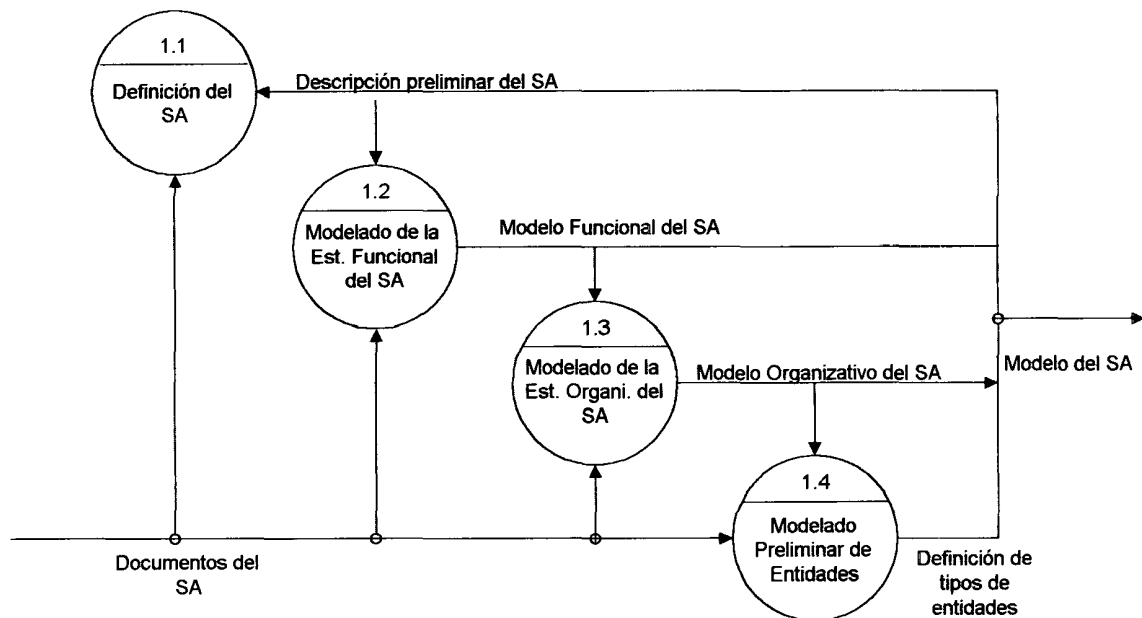
Figura 5. Marco conceptual sistema de actividades.

De acuerdo al marco conceptual señalado, se puede concebir un sistema de actividades como un conjunto de actividades, funciones, procesos y tareas, que son

desarrollados por un grupo de actores con la finalidad expresa de cumplir con un conjunto de objetivos predeterminados. Cada una de las actividades se realiza o ejecuta, cuando acontece en el sistema un evento.

Como se ha podido observar, el conocimiento del Sistema de Actividades (SA) es esencial en el proceso de desarrollo de un SIG, y una manera eficaz de ganar una comprensión rápida de la estructura y funcionamiento de un SA es a través de su modelado o representación.

Este proceso involucra, además del uso de técnicas de representación gráfica, la aplicación de la observación directa del sistema, el estudio de la documentación existente y la realización de encuestas y entrevistas a sus actores principales. En la Figura 6 se presentan los pasos a seguir para el desarrollo de esta Fase.



Fuente : Montilva, 1996

Figura 6. Fase 1 análisis del sistema de actividades.

Definición del Sistema de Actividades (SA)

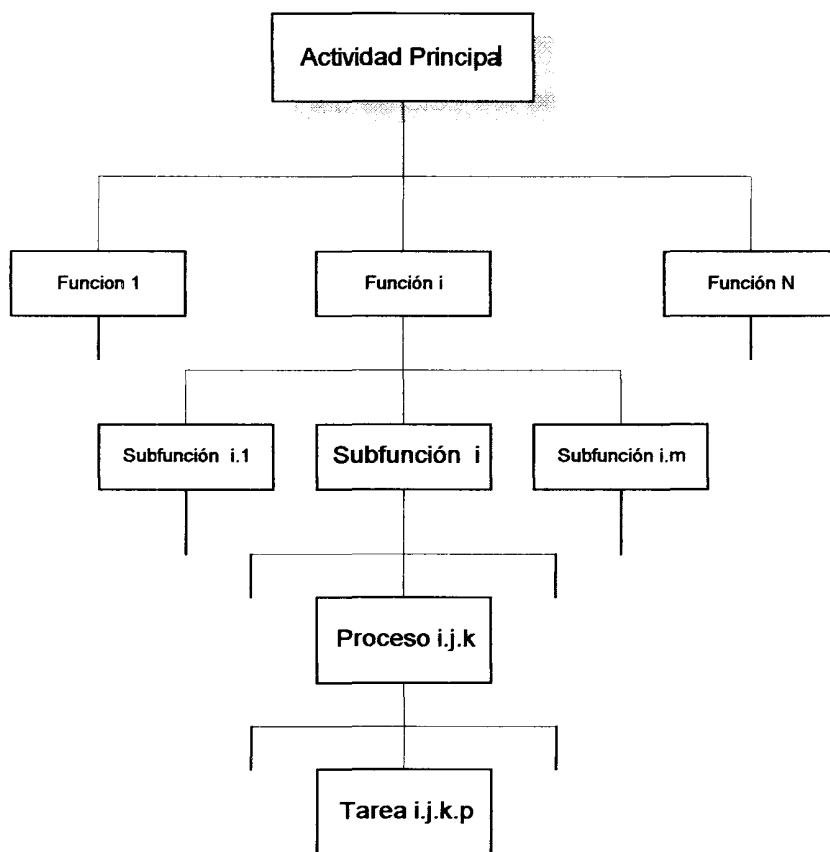
Esta definición consiste básicamente en la identificación del sistema de actividades, la descripción de sus objetivos y la identificación preliminar de sus principales componentes, esto es, actividades, eventos, actores y entidades.

Modelado de la Estructura Funcional de un Sistema de Actividades

Las actividades se organizan en una estructura que se denominará estructura funcional del Sistema de Actividades. Es esencial el conocimiento de la referida

estructura en el diseño de un SIG; pues es a partir de esta estructura se puede determinar las necesidades o requerimientos de información.

Esta estructura se representará a través de un modelo funcional cuya forma general se puede ver en la Figura 7. En la misma se destaca la descomposición de la actividad principal de un SA en un conjunto de funciones, cada una de las cuales se descomponen a su vez en sub-funciones. Las sub-funciones se dividen en procesos y éstos a su vez en tareas.



Fuente : Montilva, 1996

Figura 7. Estructura funcional del Sistema de Actividades.

La construcción del modelo funcional es un proceso iterativo. El modelo se irá refinando gradualmente a medida que el grupo de desarrollo va adquiriendo mayor conocimiento del Sistema de Actividades.

La dificultad que se presenta en el desarrollo de este proceso está en determinar si una actividad es una función, sub-función, proceso o tarea. Las diferencias entre estos niveles estriban en el alcance, la duración y los recursos requeridos por las actividades; por ejemplo los procesos consumen mayores recursos que las tareas, tienen una mayor duración que estas últimas y son

ejecutados por una o más unidades organizativas. Las tareas por lo general son realizadas por un actor en un tiempo relativamente corto.

Dentro de la estructura funcional, los procesos constituyen unidades funcionales que pueden ser conocidas y representadas con relativa facilidad; por lo tanto, en las fases siguientes, se utilizarán los procesos como las unidades fundamentales del Sistema de Actividades.

Modelado de la Estructura Organizativa de un Sistema de Actividades.

Determinación de la estructura organizativa del Sistema de Actividades

Esto se refiere a la manera como los actores del SA están organizados, esta estructura es representada mediante organigramas o modelos organizativos, y es a partir de esta estructura que el grupo de desarrollo determinará los usuarios potenciales del SIG.

Relación de la estructura funcional y organizativa

Se representa mediante una matriz cuyas filas representan los procesos de la estructura funcional y las columnas las unidades de la estructura organizativa. En la Tabla 4 se presenta una matriz de relación.

Tabla 4. Matriz de relación estructura funcional y organizativa.

	Depto A	Depto B		Depto M
Proceso 1	√			
Proceso 2	√	√		
.....				
Proceso N				√

Fuente : Montilva, 1996

El símbolo √ en las celdas de la matriz indica qué unidades dependencias, grupos, departamentos son responsables o participan activamente en la ejecución de los procesos. Estas unidades representan los usuarios principales del SIG, a los cuales se denominan usuarios internos, para diferenciarlos de aquellos organismos o empresas externas que podrían eventualmente requerir los servicios de información del SIG.

Modelado preliminar de las entidades relevantes

Definición del espacio geográfico

Se definirá espacialmente el área donde tendrá inherencia el Sistema de Actividades para quien se desarrolla el SIG y se deberá realizar una descripción

general de ese espacio, destacando los elementos físicos y socioeconómicos que mejor la caracterizan.

Identificación del conjunto de entidades cuyo conocimiento, manipulación, intervención o protección son de interés al sistema de actividades

El espacio geográfico definido y caracterizado anteriormente, tiene asociado un conjunto de entidades cuyo conocimiento, manipulación, intervención o protección son de interés al SA. Por ejemplo, en un sistema desarrollado para la gestión de áreas protegidas, los ríos, parques nacionales, reservas forestales, y vías de penetración son entidades de particular interés.

Es necesario indicar que en esta tarea se efectúa una identificación preliminar y no definitiva de las entidades, sin hacer descripción de las mismas.

Identificación y descripción de los tipos de entidades espaciales y no-espaciales que son relevantes al sistema de actividades.

En este punto se procede a identificar y describir definitivamente los tipos de entidades espaciales o no, que son relevantes al sistema de actividades. La identificación se realizará a partir del modelo funcional del Sistema de Actividades, para lo cual se preguntará en cada proceso, qué tipos de entidades intervienen, se requieren, son afectadas ó están involucradas en modo alguno en la ejecución de las actividades del proceso.

La descripción de los tipos de entidades se ejecuta mediante la identificación de las propiedades relevantes (atributos) de cada tipo de entidad, así como las relaciones que mantienen sus entidades con las entidades de otro tipo.

Una vez que se ha modelado y relacionado la estructura funcional y organizativa de un Sistema de Actividades, se han establecido sus usuarios, los tipos de entidades de interés, el grupo de desarrollo tiene una base de conocimiento sólida para definir los requerimientos que se le habrán de imponer al SIG, actividad que se desarrollará en la siguiente Fase.

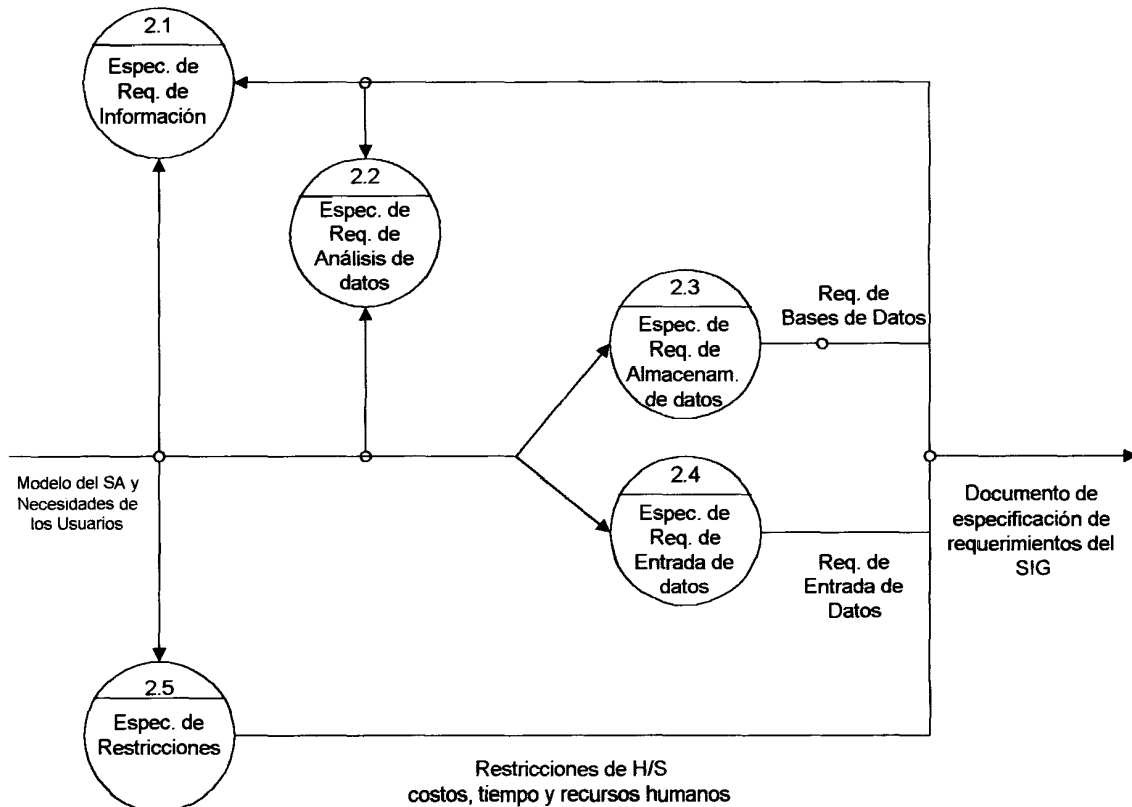
Fase 2 Análisis y Especificación de Requerimientos

Objetivo

- El objetivo de esta Fase es Identificar y documentar los servicios que el SIG deberá proporcionar a sus usuarios.

El proceso de identificar y documentar los servicios que el SIG deberá proporcionar a los usuarios, se denomina análisis y especificación de requerimientos.

Se define un requerimiento como una descripción detallada de algún aspecto, función, restricción o característica que debe ser satisfecha por el SIG. Una cualidad importante de un requerimiento es que pueda ser verificado y validado en fases posteriores. Los requerimientos especifican lo que el SIG debe hacer y no cómo lo debe hacer. Esto último se pospone para la Fase de diseño. En la Figura 8 se esquematizan los pasos a seguir para el desarrollo de esta Fase.



Fuente : Montilva, 1996

Figura 8. Fase 2 análisis y especificación de requerimientos.

Especificación de requerimientos de información

En este paso se determinan las características y el contenido de la información que deberá producir el SIG.

Identificación para cada proceso, de la información que los actores (usuarios) requieren para ejecutar las actividades del proceso.

Esta información se determina a partir de los modelos funcional y organizativo del Sistema de Actividades elaborados en la Fase 1.

Para cada proceso se identifica y especifica las informaciones que los actores (usuarios), involucrados en él requieren para ejecutar cada una de las actividades del proceso. La entrevista a los usuarios y la observación directa de la ejecución de actividades son los métodos normalmente utilizados para establecer este tipo de requerimientos.

Especificación para cada requerimiento (mapa, gráfico, reporte, estadística o consulta interactiva) de lo siguiente:

- Su contenido de información.
- El formato: Mapa base, mapa temático, gráfico de barra, histograma, gráfico circular, tabla estadística, reporte tabular o listado.
- El medio de presentación: Pantalla gráfica, impresora láser o de inyección a tinta, trazador (plotter) vectorial de pluma, trazador raster electrostático o térmico, etc.
- Los usuarios.
- La frecuencia de utilización: cada hora, diaria, mensual, etc.
- La disponibilidad: Inmediata o no.

Especificación de las escalas que se utilizarán para adquirir, almacenar y presentar los mapas requeridos.

Los resultados de las actividades indicadas anteriormente se puede plasmar en una tabla para facilitar su comprensión y análisis.

Especificación de requerimientos de análisis de datos espaciales

Delineación de los procesos que se necesitan para generar cada uno de los requerimientos de información especificados.

Se recomienda elaborar una tabla de requerimientos - proceso de análisis, que indique para cada requerimiento de información qué operación (es) de análisis de datos se requiere (n) para satisfacerlo.

Especificación de requerimientos de almacenamiento

Para el desarrollo de este paso se desarrollarán las siguientes tareas:

- Elaborar una lista de los tipos de entidades espaciales y no-espaciales del Sistema de Actividades que son relevantes para el SIG.
- Enumerar los atributos de cada tipo de entidad
- Especificar requerimientos de seguridad, respaldo y recuperación de la Base de Datos Espacial.

Especificación de los requerimientos de interacción

Especificación de los requerimientos de adquisición de datos espaciales

Determinar las fuentes de datos espaciales e indicar nombre, escala, organismo proveedor, formato de almacenamiento y grado de actualización, partiendo del modelo preliminar de datos especificados en la Fase 2.

Los tipos de fuentes pueden ser: Mapas impresos en papel, imágenes satelitales, observación directa del espacio geográfico, sistema de posicionamiento global (GPS), fotografías aéreas, planos y archivos o bases de datos existente.

Especificación de los requerimientos de adquisición de datos temáticos

Los datos temáticos asociados a los datos espaciales deben ser capturados, transcritos y validados durante el proceso de creación de la base de datos espacial en la Fase 5. Pero para ello es necesario determinar en este momento, a partir del modelo preliminar de datos construido en la Fase 2, las fuentes de este tipo de datos.

Estas fuentes pueden ser archivos o bases de datos existentes, formas o planillas diseñadas expresamente para capturar los datos temáticos, encuestas, observación directa y otros medios de información alfanumérica.

Especificación de los requerimientos de presentación de la información

En la Fase 2 se especifica los diferentes mapas que debe generar el SIG. Se deberá en esta fase, especificar los requisitos cartográficos que deben satisfacer dichos mapas.

En forma general, se deberán establecer las características o normas que deberán regir la elaboración de los mapas como por ejemplo: normas para la selección de colores y patrones de relleno. Adicionalmente, para cada mapa, se debe especificar lo siguiente:

- La identificación o título del mapa.
- El tipo de mapa:
 - Mapas de puntos, líneas o polígonos.
 - Mapas cuantitativos o cualitativos.
 - Mapa de isolíneas o coropléticos.
- Los tipos de símbolos que se emplearán en los objetos geográficos del mapa.
- La escala el mapa.

Especificación de restricciones

Los últimos requerimientos, pero no los menos importantes, que han de establecerse, son las restricciones de recursos de computación, costos, tiempos y

recursos humanos que se le impondrá, tanto en el proceso de desarrollo como en la operación del SIG.

Especificación de las restricciones de *Hardware* y *Software*

Las plataformas de hardware y software que se emplearán para desarrollar y operar el SIG son elementos determinantes de las características del SIG bajo desarrollo. Por lo tanto la adecuada selección de las plataformas de trabajo, es relevante para el éxito del SIG, siendo necesario en este paso desarrollar las siguientes actividades:

- Establecer la configuración de los equipos que se emplearán para desarrollar y operar el SIG.
- Decidir sobre el tipo de herramienta SIG que se empleará, raster, vectorial o ambas, así como su proveedor o vendedor y la versión que se utilizará.
- Determinar qué otros programas se utilizarán para la adquisición de datos espaciales y/o temáticos, así como otras herramientas que se puedan emplear durante el desarrollo y operación del SIG, como son los sistemas de manejo de bases de datos relacionales, los paquetes estadísticos, los programas de digitalización y los programas de conversión de datos.

Especificación de las restricciones de costo, tiempo y recursos humanos

- Establecer las limitaciones presupuestarias que existen para desarrollar el SIG.
- Estimar la duración máxima permisible (en meses) para desarrollar el SIG.
- Establecer los recursos humanos que la organización tiene, para desarrollar el sistema como para operarlo.

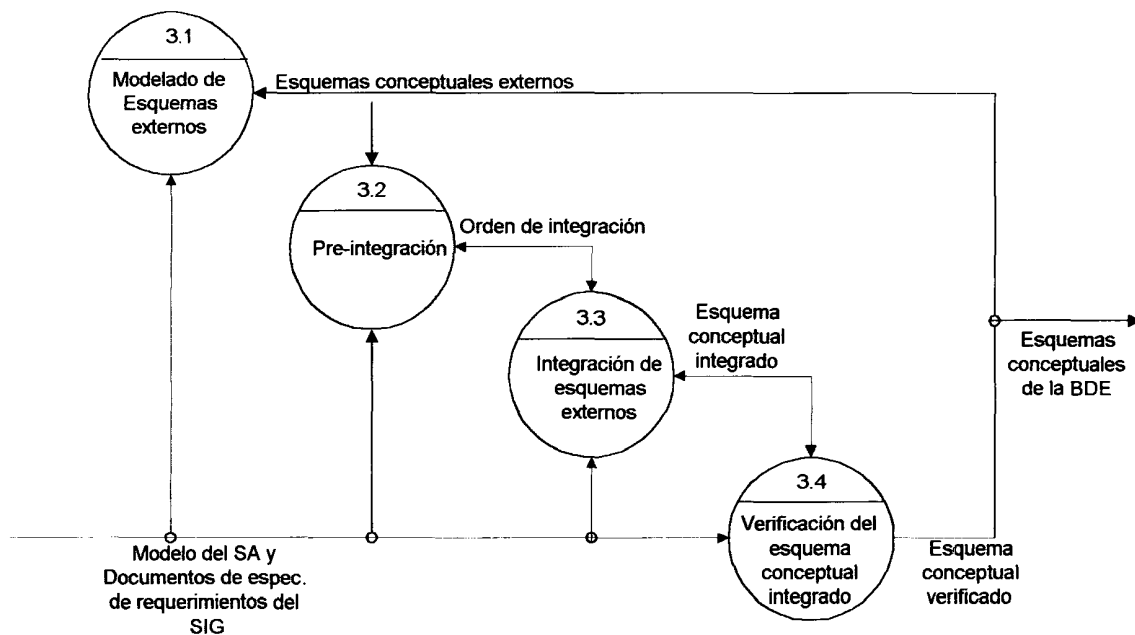
El conjunto de requerimientos definidos en la Fase 2, debidamente ensamblado en un documento denominado "Especificación de requerimientos del SIG", será la base fundamental para realizar el diseño del esquema conceptual de la base de datos en la fase siguiente.

Fase 3. Diseño conceptual de la base de datos espacial

Objetivo

Elaborar el esquema conceptual de la base de datos espaciales, que permitirá caracterizar el espacio geográfico del sistema de actividades y definir la estructura lógica de la base de datos espacial.

En la Figura 9 se presentan los pasos a seguir para el desarrollo de esta fase



Fuente : Montilva, 1996

Figura 9. Fase 9 diseño conceptual de la base de datos espacial.

Modelado de los esquemas conceptuales externos

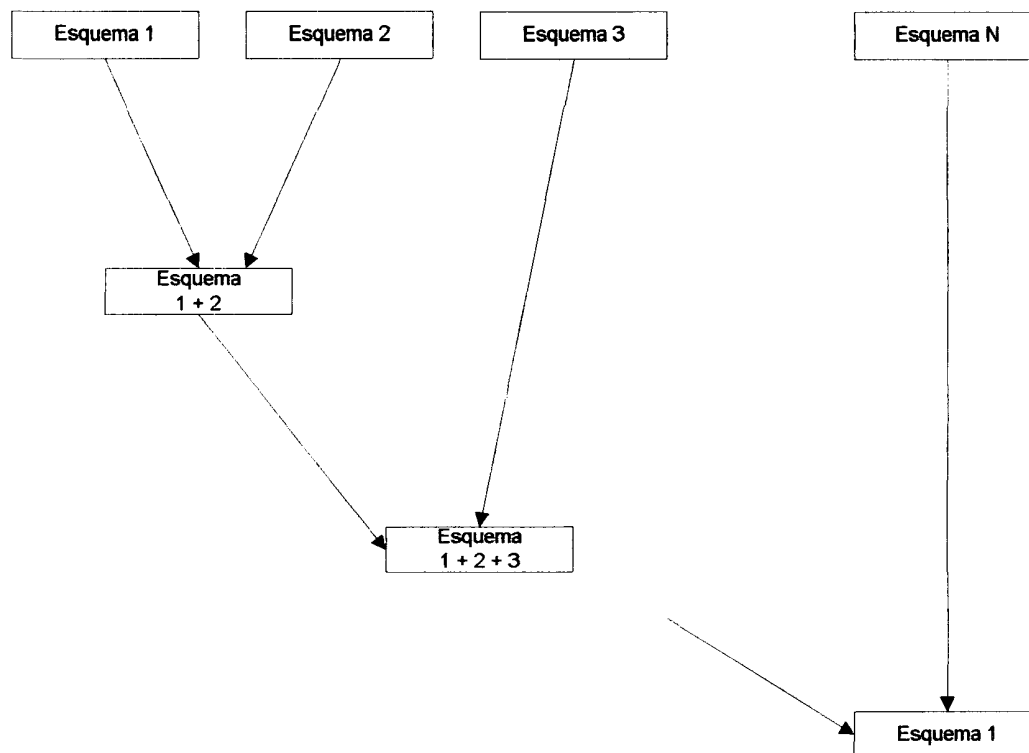
En este paso se debe construir, para cada proceso del Sistema de Actividades, un esquema conceptual usando el Modelo Entidad-Relación.

Pre-integración de esquemas externos

Para el cumplimiento de este paso se requieren desarrollar las siguientes tareas:

- Establecer el orden de integración de los esquemas externos
- Para cada par del esquema, identificar los conflictos de nombre y estructura:
 - Identificar homónimos y sinónimos entre los componentes (tipos de entidad, tipos de interrelación y atributos) de cada par de esquemas.
 - Identificar los componentes que se puedan integrar y sus diferencias estructurales.

En la Figura 10 se puede observar el esquema a seguir para la pre-integración de los esquemas externos.



Fuente : Montilva, 1996

Figura 10. Pre-integración esquemas externos.

Integración de los esquemas externos

Para cada par de esquemas externos:

- Resolver conflictos de nombres: sinónimos y homónimos.
- Resolver conflictos estructurales:
 - relaciones superclase/clase entre tipos de entidades.
 - componentes equivalentes.
 - componentes compatibles.
 - componentes incompatibles.
- Fusionar los esquemas externos corregidos.
- Repetir hasta integrar todos los esquemas externos en un único esquema conceptual.

Verificación del esquema conceptual integrado

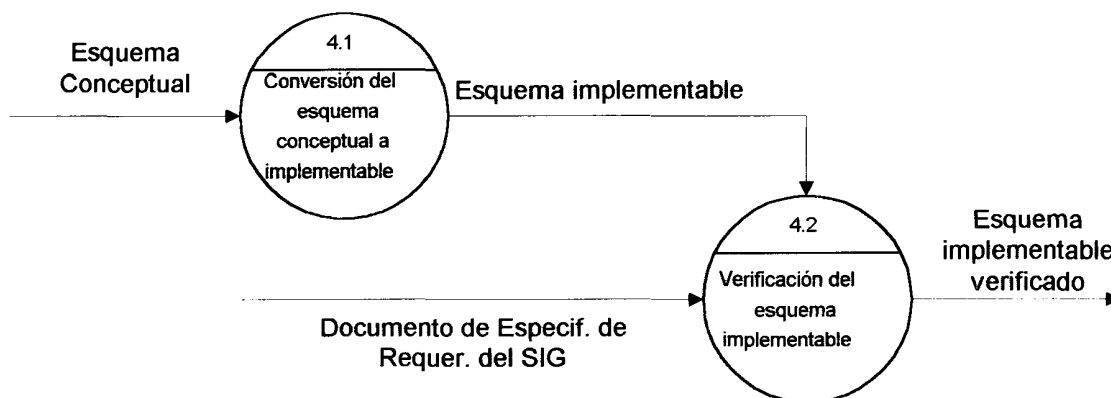
- Verificar si cada requerimiento de información, especificado en la fase 2, puede ser generado a partir del esquema conceptual integrado.
- Realizar correcciones y ajustes al esquema conceptual integrado.

Fase 4. Diseño implementable de la base de datos espacial

Objetivo

Convertir el esquema conceptual integrado en un esquema que puede ser implementado por el sistema de manejo de base de datos espaciales (SMBDE) o la herramienta SIG seleccionada.

En la Figura 11 se presentan los pasos a seguir para el desarrollo de esta Fase



Fuente : Montilva, 1996

Figura 11. Fase 4 diseño implementable de la base de datos espacial.

Conversión del esquema conceptual a implementable (para herramienta SIG del tipo vectorial).

Determinación de las coberturas de la base de datos espacial.

- Para cada tipo de entidad espacial, definir la cobertura correspondiente a partir del esquema conceptual.
- Definir el atributo de enlace entre datos temáticos y coberturas.

Determinación de las tablas o relaciones temáticas de la Base de Datos Espacial a partir del esquema conceptual

- Convertir cada tipo de entidad E en un esquema de relación R constituido por todos los atributos simples de E.
 - La clave primaria del esquema de relación es la misma del tipo de entidad.
 - Los atributos compuestos del tipo de entidad se descomponen en el esquema de relación en atributos simples.
 - Los atributos multivaluados se tratan como se indica en el punto siguiente.

- Para cada atributo multivaluado A, del tipo de entidad E, crear un esquema de relación P que incluye un atributo que corresponde a A y la clave primaria del esquema de relación R que corresponde a E.
La clave de P es la concatenación de A y la clave primaria de R.
Si el atributo multivaluado A es compuesto, éste se descompone en atributos simples que se incluyen en P.
- Convertir cada subclase en una relación cuya clave es la clave de la superclase a la que la subclase está asociada.
Los atributos de las subclases se convierten tal como se indica en los dos primeros puntos.
- Para cada tipo de interrelación TI entre dos tipos de entidades R1 y R2, convertir de acuerdo a su correspondiente (X:Y) como sigue:
 - 1:1 Se incluye en R 1 (ó R2), como clave foránea, la clave primaria de R2 (ó R1)
Si TI tiene atributos, éstos se deben incluir como atributos simples R1.
 - 1:N Asumiendo que R2 está en el lado N de TI, entonces se incluye en el esquema de relación de R2, como clave foránea, la clave primaria de R1
 - N:M El tipo de interrelación TI se convierte en un esquema de relación R cuya clave primaria es la concatenación de las claves primaria de los tipos de entidad asociados a sus atributos no-claves siendo los mismos correspondientes al tipo de interrelación.
- Los conjuntos de valores de los atributos del diagrama entidad-relación se convierten en dominios en el esquema relacional.
- El tipo de entidad débil (TED) se convierte en un esquema de relación con clave primaria igual a la concatenación de la clave primaria del tipo de entidad propietaria (aquella de la cual depende TED) con la clave parcial de TED.

Fase 5 Diseño Físico del Sistema

Objetivo

- Elaborar un diseño detallado del sistema de información geográfica, en base a los resultados obtenidos en las fases anteriores, este diseño contendrá todas las especificaciones para la construcción del sistema.

En la Figura 12 se presentan los pasos a seguir para el desarrollo de esta fase

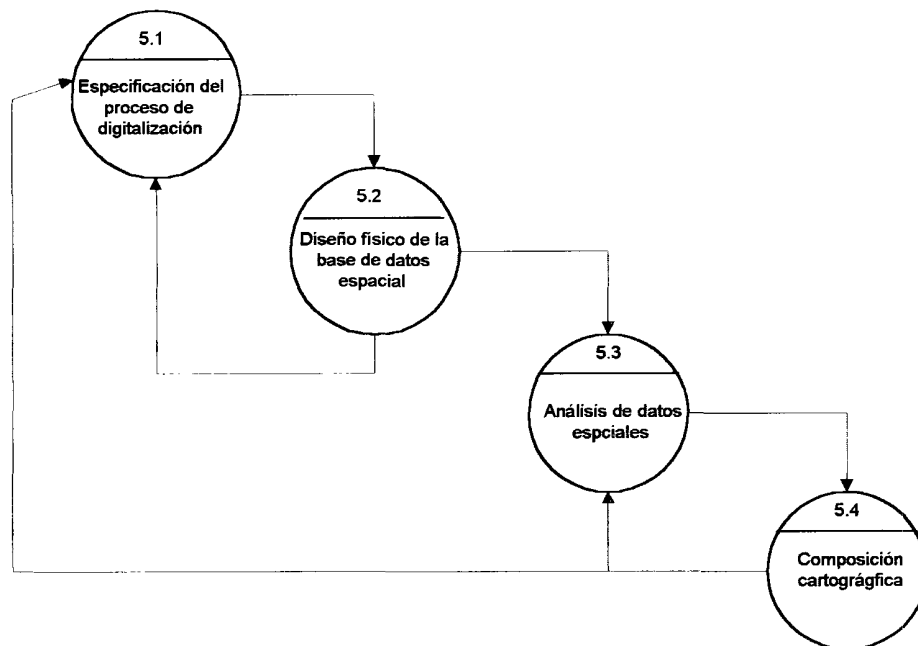


Figura 12. Fase 5 diseño físico del sistema.

Especificación de los procesos de digitalización

Se indicarán, los pasos necesarios a realizar para efectuar la adquisición de información espacial y temática a través del proceso de digitalización en sus diferentes formas.

Diseño físico de la base de datos espacial

Utilizando el diseño implementable de la base de datos espacial, desarrollado en la Fase 4, se procederá al diseño físico de la base de datos, utilizando el Sistema Manejador de Base de Datos previamente seleccionado.

Esta base de datos será alimentada con los datos generados en el propio proceso de digitalización (SIG vectorial) y de información temática (ver Fase 2) asociada a los datos espaciales provenientes de otras fuentes como archivos o bases de datos existentes, formas o planillas diseñadas para capturar datos temáticos, encuestas, observación directa y otros métodos de información alfanumérica.

En relación a la información temática, en este caso, se debe indicar el formato en que se encuentra la información, los procesos de conversión desarrollados y si se realizó algún procesamiento estadístico o matemático previo de la información antes de que formara parte de la base de datos.

Análisis de datos espaciales

Basándonos en los datos contenidos en la Tabla 8 (Especificación de requerimientos de análisis de datos espaciales), se procederá a detallar los procesos de análisis de datos, necesarios realizar para que el SIG cumpla con las funciones para lo cual ha sido desarrollado. Los análisis de datos se dividen en tres tipos

Operaciones con variables o atributos temáticos.

En este paso se debe especificar y detallar, todas las operaciones de análisis que involucren atributos temáticos, indicando los procedimientos de cálculo o de manipulación a que estén sometidas o las variables temáticas

Operaciones de análisis espacial

Al igual que en el punto anterior, pero relacionado con los atributos espaciales de las entidades representadas en las bases de datos, se debe especificar en forma detallada, todo el conjunto de operaciones sobre atributos espaciales que se realizarán, indicando en cada operación las coberturas involucradas, y los pasos a seguir para la realización de cada análisis, los cuales pueden presentarse en forma de diagramas de flujo.

En el caso de que se desarrollen programas, macros, etc, debe presentarse los respectivos algoritmos y, cuando fuese necesario, una breve descripción de los mismos.

Operaciones de modelado cartográfico:

El resultado de este paso será la generación de un nuevo mapa, producto de una serie de operaciones a que son sometidas las coberturas, almacenadas en la base de datos. En tal sentido en este paso se debe especificar detalladamente el proceso seguido para el desarrollo del modelado cartográfico, indicando:

- Módulo o cobertura final a generar
- Coberturas involucradas
- Proceso de superposición de coberturas, especificando secuencia de superposición, y resultados parciales si los hubiere. En relación al proceso de superposición se recomienda esquematizarlo gráficamente, para una mejor comprensión.

Composición cartográfica

En este aparte, se procederá a definir de acuerdo a los requerimientos establecidos en la Fase 2 y a las normas cartográficas establecidas internacionalmente, la composición cartográfica de cada uno de los mapas a

elaborar, indicando en forma detallada la escala, la proyección o reticulado, la información marginal, los signos convencionales y colores a utilizar, nomenclatura, detalles complementarios, leyenda etc.

Igualmente se elaboraron los macros o programas necesarios, para la elaboración de los mapas.

Fase 6 Implementación del Sistema

Objetivo

Implementar el Sistema de Información Geográfica con base en los lineamientos y requerimientos establecidos en las fases anteriores.

En la Figura 13 se presentan los pasos a seguir para el desarrollo de esta Fase

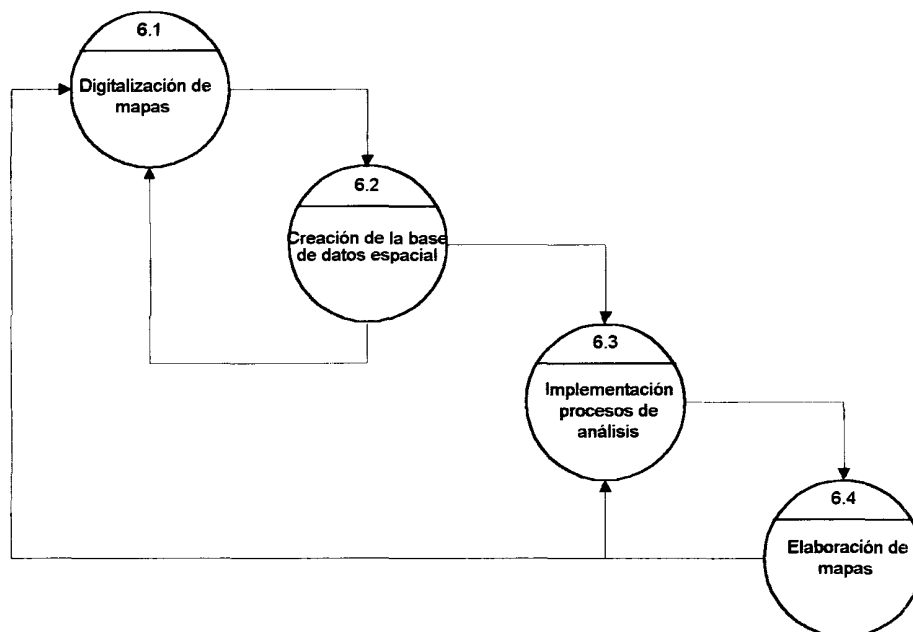


Figura 13. Fase 6 implementación de sistema.

Digitalización de mapas

En este paso se procederá a efectuar las tareas necesarias para la adquisición de los datos espaciales, basándonos para ello en la información obtenida en la Fase 2, y a los procesos de digitalización descritos en la Fase 5.

Dependiendo de la fuente de información se realizarán los procesos de adquisición de información espacial. Por ejemplo si la fuente es un mapa analógico, y se implementará un SIG vectorial, se procederá a la digitalización, utilizando para ello

los programas adecuados para tal fin. Igualmente en este punto, se debe considerar la posibilidad de conversión de formatos raster-vectorial. etc.

Creación de la Base de Datos Espacial

En la creación de la base de datos se procederá de acuerdo a los siguientes pasos:

- Se elaborará un documento, donde se explicará en forma resumida, cómo es la estructura física de la base de datos, tipos de campos, extensión, siglas utilizadas etc.
- Se procederá a la incorporación de la información a la base de datos y se ejecutarán las operaciones que sean necesarias, para que cada uno de los polígonos tenga completa la información temática requerida.
- Una vez creada la base de datos espacial, se procederá a revisar la misma, con el fin de detectar errores o inconsistencias, corrigiéndose cualquier anomalía.

Implementación de los procesos de análisis

En este paso se procederá a ejecutar las operaciones de análisis espaciales requeridos, de acuerdo a lo establecido en la Fase 2 y siguiendo los procedimientos indicados en la Fase 5.

Elaboración de mapas

En este paso se elaboran los mapas definitivos, basándose en los requerimientos establecidos en la Fase 2 (Requerimientos de presentación de información espacial, Tabla 7) y a la composición cartográfica definida en la Fase 5, donde se especifican detalladamente cómo debe presentarse la información espacial. La elaboración de los mapas se efectuará con las herramientas, tanto de software como de hardware, disponibles.