

G70.2  
I3  
e.2

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

RECIBIDO 28 NOV 1997

por

Luigi Iannuzzi

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

*Laura V.*

DONADO

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

SERBIULA - CIDIAT



G70.2 I3 e2



## 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

	<b>Página</b>
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
<b>V.</b>	<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SIG</b>	<b>57</b>
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	
	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
<b>VI.</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>101</b>
	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
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>123</b>
	Conclusiones	123
	Recomendaciones	125
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>127</b>
	<b>APÉNDICES</b>	<b>131</b>
	<b>APENDICE 1: Escala de intensidad de Mercalli</b>	<b>133</b>
	<b>APENDICE 2 Escala de Intensidad MSK</b>	<b>143</b>

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

## 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

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
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 Delphy 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

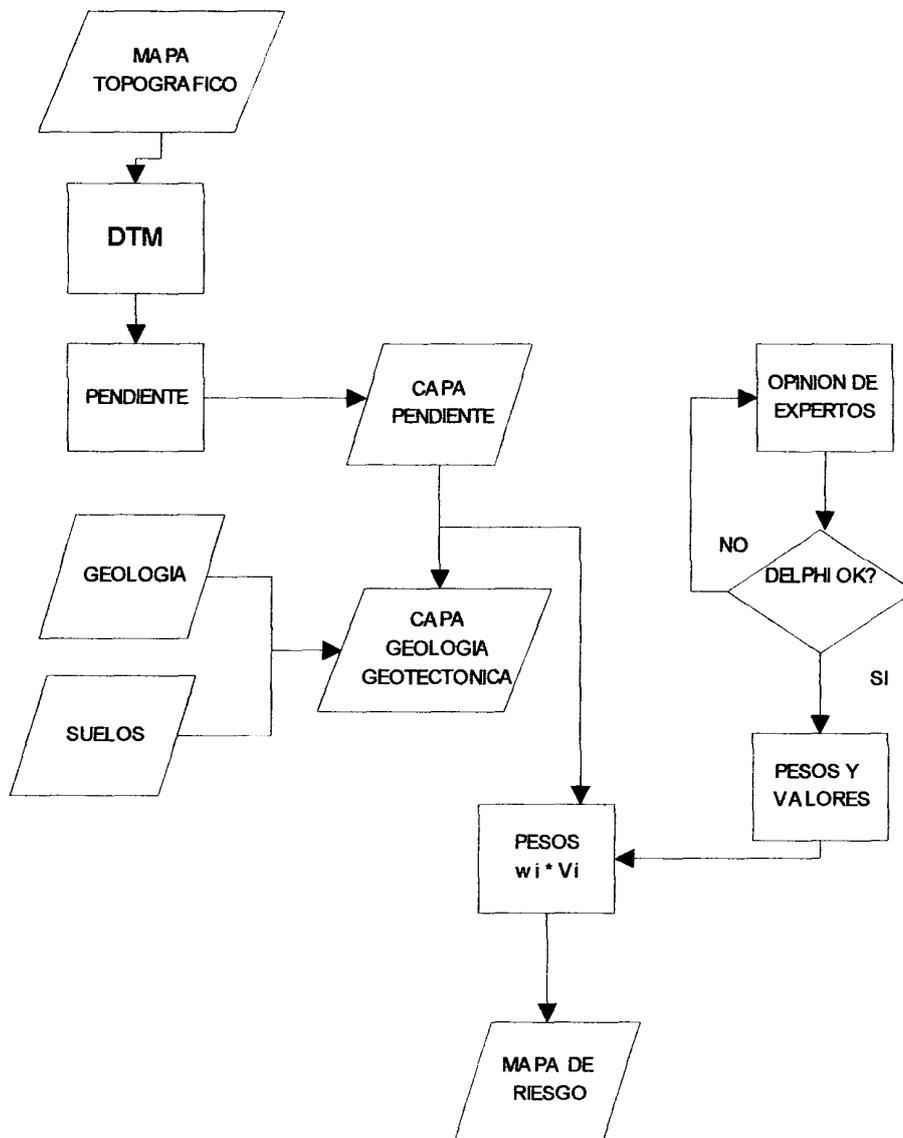
W<sub>i</sub> = valor de la capa i

V<sub>i</sub> = Valor de la clase en la capa i

n = numero de capas

El producto del peso por el valor (W<sub>i</sub> \* V<sub>i</sub>), 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.

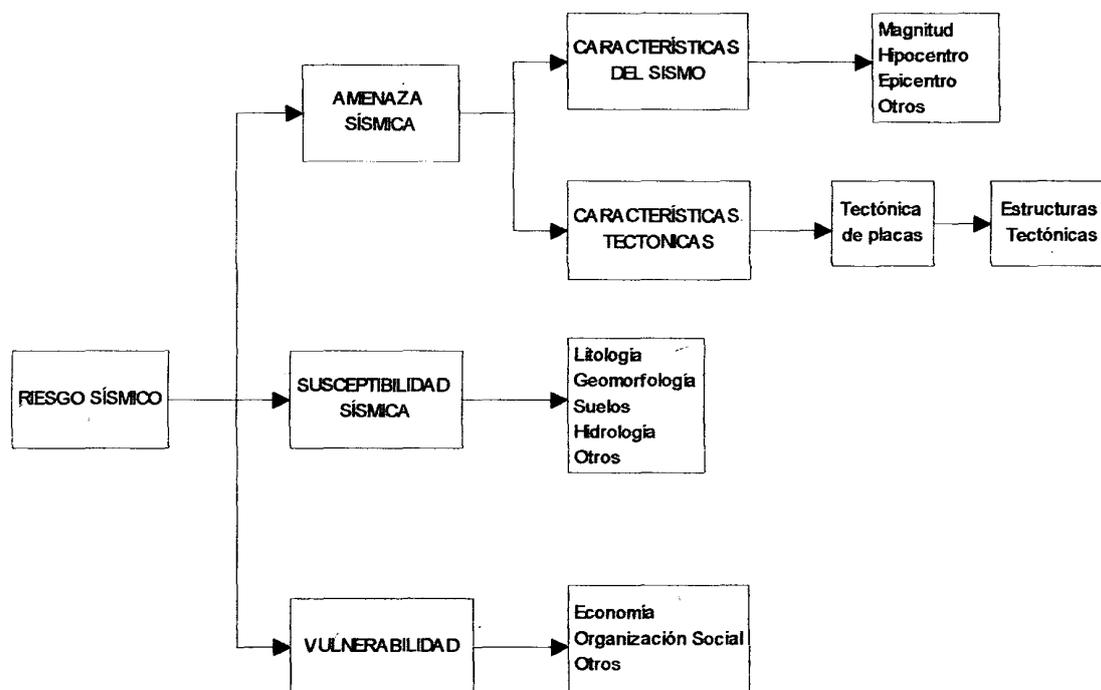
El citado autor destaca la importancia de entender bien los conceptos anteriormente expuestos, ya que solo estableciendo con claridad la relación que existe entre los factores de vulnerabilidad y las diferentes formas de amenaza, se puede evaluar verdaderamente el riesgo a que puede estar sometido un 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 predeterminada, 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 translacionales 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 esta 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 Grahan, (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 Grahan, (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  $\theta$ , 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 constructivas presentes en la ciudad de Mérida.

El análisis de las 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 correspondientes al tipo C existe otra clasificación donde se describen los diferentes sub-tipos que la conforman (Apéndice 3)

Las fórmulas 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 última 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 píxeles contiguos con el mismo valor, las relaciones topológicas son implícitas a la posición de cada píxel 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
<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta una estructura de datos más compacta que el modelo raster.</li> <li>• Las relaciones topológicas son manejadas eficientemente por el sistema.</li> <li>• El análisis de redes es posible.</li> <li>• La calidad cartográfica es mayor.</li> </ul>	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene la estructura de datos simple.</li> <li>• Las operaciones de superposición son implementadas fácil y eficientemente</li> <li>• La variabilidad espacial es representada eficientemente en el modelo raster</li> <li>• El modelo raster es eficiente para la manipulación y preparación de imágenes digitales</li> <li>• La tecnología no es costosa y está muy desarrollada.</li> </ul>

Tabla 3 (Continuación)

MODELO VECTORIAL	MODELO RASTER
<p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene la estructura de datos más compleja que el modelo raster.</li> <li>• Las operaciones de superposición (overlay) son más difíciles de realizar.</li> </ul> <p>La representación de la variabilidad espacial no es tan eficiente como en el modelo raster.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La manipulación y mejoramiento de las imágenes digitales no pueden ser efectuados efectivamente en el dominio vectorial.</li> </ul>	<p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La estructura de datos raster es poco compacta, requiere de mucha memoria.</li> <li>• Las relaciones topológicas son difíciles de representar.</li> <li>• Errores de estimación de perímetro y forma</li> <li>• Los análisis de redes son difíciles de realizar</li> <li>• La transformaciones de proyección son un proceso lento</li> <li>• Las salidas gráficas no son de muy buena calidad.</li> </ul>

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.