

x  
E-112  
044

Universidad de Los Andes  
Facultad de Ingeniería  
Postgrado en Computación

---

# Modelo espacial para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales ME-DESNA

---

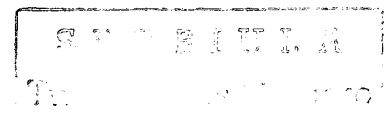
www.bdigital.ula.ve

por  
Eliana Arminda Ojeda Sulbarán

Tutor: Dra. Flor Eugenia Narciso

Tesis para optar al grado de  
Magister Scientiae en Computación

Mérida - Venezuela  
Noviembre, 1999.



U.L.A. Consejo de Estudios de Postgrado

C.C. Reconocimiento

# **Modelo espacial para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales**

por

**Eliana Arminda Ojeda Sulbarán**

**Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Computación**

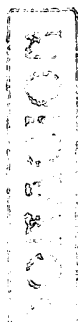
[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**Dra. Flor Eugenia Narciso**  
Tutor académico de tesis

**Jurado: José Ernesto Flores**  
Profesor titular de la Universidad de Los Andes

**Jurado: Ramón Pérez**  
Presidente de ESRI de Venezuela

Mérida - Venezuela  
Noviembre, 1999



## Resumen

---

En particular, la orientación a objeto permite la integración de varios temas sobre un concepto universal, tal como la representación geográfica, información temática, cambios temporales y las características elementales de las bases de datos, tales como almacenamiento y recuperación de datos, compartimiento de datos por múltiples usuarios y consistencia luego de la modificación.

En este documento se presenta un modelo espacial, bajo el enfoque de orientación por objetos, para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales y una especificación de un prototipo de Sistema de Información Geográfica basado en el modelo obtenido. El modelo está basado en el modelo presentado en [OJEDA96] usando la metodología de modelado de *software* UML. Además, para el modelado del prototipo, se hace uso de una metodología orientada por objeto para el diseño de Sistemas de Información Geográfica MEDSIG-OO y se obtiene un prototipo operativo codificado en Avenue usando ArcView de ESRI.

# Tabla de Contenido

---

<b>Capítulo 1: Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. El problema actual	2
1.2. Antecedentes	4
1.3. Objetivos	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
1.4. Metodología de desarrollo utilizada	7
1.5. Estructura de la tesis	8
<b>Capítulo 2: Marco Teórico – Desastres naturales y Sistemas de Información Geográfica</b>	<b>10</b>
2.1. Desastres Naturales	10
2.1.1. Definiciones	10
2.1.2. Tipos de desastre	11
2.1.3. Amenazas Naturales	14
2.1.3.1. Amenazas Geológicas	14
2.1.3.1.1. Terremotos	14
2.1.3.1.2. Maremotos o "tsunamis"	18
2.1.3.1.3. Volcanes	18
2.1.3.2. Amenazas Hidrometeorológicas	25
2.1.3.2.1. Huracanes	25
2.1.3.2.2. Inundaciones	27
2.1.3.2.3. Sequías	28
2.1.3.2.4. Deslizamientos	28
2.1.4. Vulnerabilidad ante los desastres naturales	29
2.1.4.1. La urbanización acelerada	30

2.1.4.2. La pobreza	30
2.1.4.3. Las construcciones	31
2.1.4.4. Factores ambientales	31
2.1.5. Riesgos	32
2.2. Sistemas de Información Geográfica	33
2.2.1. Componentes de un SIG	35
2.2.2. Esquema de funcionamiento de un SIG	36
2.2.3. Información geográfica	38
2.2.4. Modelo de datos	39
2.2.4.1. Modelos de datos orientado por objeto	40
2.2.5. Modelo de datos espaciales	41
2.2.6. Modelo de datos geográficos	41
2.2.6.1. Modelo Raster	42
2.2.6.2. Modelo Vectorial	43
2.3. Los SIG en el área de desastres naturales	46
<b>Capítulo 3: Marco teórico – Técnicas de software utilizadas</b>	<b>48</b>
3.1. Orientación por Objetos: OxO	49
3.2. Lenguaje de Modelaje Unificado: UML	51
3.2.1. UML – Semántica	53
3.2.2. UML – Notación	53
3.3. MEDSIG-OO: metodología para el desarrollo de SIG	55
<b>Capítulo 4: Modelo espacial para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales</b>	<b>60</b>
4.1. Un modelo espacial para SIG	60
4.2. Modelado de bases de datos relacionales a OO	62
4.2.1. Modelo de datos relacional: Definición	63
4.2.2. Constructos del modelo de almacenamiento relacional	64
4.2.2.1. Clase Campo	64

4.2.2.2. Clase Registro	64
4.2.2.3. Clase Tabla	65
4.3. Modificación del modelo espacial para SIG	66
4.3.1. Constructos de la extensión del modelo espacial para SIG	68
4.3.1.1. Clase Mapa	68
4.3.1.2. Clase Tabla	69
4.3.1.3. Clase Descriptiva	70
4.3.1.4. Clase Cartográfica	70
4.3.1.5. Clase Patrón	71
4.4. Integración del modelo	71
<b>Capítulo 5: Implementación de un prototipo aplicando el modelo ME-DESNA y usando la metodología para SIG MEDSIG-OO</b>	<b>74</b>
5.1. Herramientas de programación	74
5.1.1. ArcView	74
5.1.2. Avenue	76
5.2. Diseño e implementación del prototipo	77
5.2.1. Fase 1: Análisis del Sistema Organizacional	78
5.2.1.1. Definición del Sistema Organizacional	78
5.2.1.1.1. Organización interna de FUNDEM	78
5.2.1.1.2. Organización de la SZERN de FUNDAPRIS	80
5.2.1.2. Modelado de los procesos del sistema organizacional.	81
5.2.1.2.1. Funciones de FUNDEM	81
5.2.1.2.2. Funciones de la SZERN de FUNDAPRIS	82
5.2.1.3. Determinación de actores	83
5.2.1.4. Identificación de los principales tipos de entidades	84
5.2.1.4.1. Descripción del espacio geográfico	84
5.2.1.5. Establecimiento de eventos	86
5.2.2. Fase 2: Especificación de requerimientos	86

5.2.2.1. Requerimientos de usuarios	86
5.2.2.2. Requerimientos de información	87
5.2.2.3. Requerimientos de software	88
5.2.2.4. Requerimientos de hardware	89
5.2.3. Fase 3: Diseño conceptual	89
5.2.4. Fase 4: Diseño de implementación	90
5.2.4.1. Conversión del esquema conceptual global a un esquema de implementación	90
5.2.4.2. Diseño de programas y procedimientos	92
5.2.4.3. Verificación del diseño de implementación	93
5.2.4.4. Implementación	93
5.2.4.4.1. Visualización por tipo de construcción	93
5.2.4.4.2. Visualización de vulnerabilidad del área	94
<b>Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>100</b>
6.1. Conclusiones	100
6.2. Recomendaciones	103
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>105</b>
<b>Apéndice A - Formación del relieve terrestre: Orogénesis</b>	<b>111</b>
<b>Apéndice B – Lenguaje de Modelado Unificado UML</b>	<b>118</b>
<b>Apéndice C – Descripción de FUNDEM</b>	<b>141</b>
<b>Apéndice D – Escenario sísmico</b>	<b>154</b>
<b>Apéndice E – Código de programa</b>	<b>161</b>

# Lista de Figuras

---

<b>Figura 1.1:</b> Metodología de desarrollo de la tesis	8
<b>Figura 2.1:</b> Configuración actual de la litósfera	15
<b>Figura 2.2:</b> Zona de terremotos. Tomado de [SALUD94]	17
<b>Figura 2.3:</b> Esquema de las partes de un volcán	19
<b>Figura 2.4:</b> Cinturón de fuego del pacífico. Tomado de [EQUILLET3]	25
<b>Figura 2.5:</b> Escala de Simpson/Saffir. Tomado de [SALUD94]	26
<b>Figura 2.6:</b> Componentes de un SIG	36
<b>Figura 2.7:</b> Funciones generales de un SIG. Adaptado de [BOSQUE92]	37
<b>Figura 2.8:</b> Transformación de datos reales a datos digitales	40
<b>Figura 2.9:</b> Modelo de datos geográficos. Tomado de [PRIMER]	41
<b>Figura 2.10:</b> Estructura de datos vectorial arco/nodo	44
<b>Figura 3.1:</b> Fases del método MEDSIG-OO. Adaptado de [MONTILVA97]	56
<b>Figura 4.1:</b> Modelo de datos espaciales para la generación de mapas	61
<b>Figura 4.2:</b> Clase Campo	64
<b>Figura 4.3:</b> Clase Registro	65
<b>Figura 4.4:</b> Clase Tabla	65
<b>Figura 4.5:</b> Modelado OO de tablas relacionales	66
<b>Figura 4.6:</b> Complemento del modelo	68
<b>Figura 4.7:</b> Clase Mapa	69
<b>Figura 4.8:</b> Integración parcial del modelo	69
<b>Figura 4.9:</b> Clase Descriptiva	70
<b>Figura 4.10:</b> Clase Cartográfica	70
<b>Figura 4.11:</b> Clase Patrón	71

<b>Figura 4.12: Modelo para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales, ME-DESNA</b>	72
<b>Figura 4.13: Modelo ME-DESNA reducido</b>	73
<b>Figura 4.14: Uso del modelo ME-DESNA</b>	73
<b>Figura 5.1: Estructura organizativa de FUNDEM</b>	79
<b>Figura 5.2: Organigrama de FUNDEM. Adaptado de [CADENAS98]</b>	80
<b>Figura 5.3: Estructura organizativa de la SZERN de FUNDAPRIS. Tomado de [LANNUZZI97]</b>	81
<b>Figura 5.4: Estructura funcional de FUNDEM</b>	82
<b>Figura 5.5: Estructura funcional de la SZERN de FUNDAPRIS. Tomado de [LANNUZZI97]</b>	83
<b>Figura 5.6: Area de la ciudad de Mérida</b>	85
<b>Figura 5.7: Mapa de zonas vulnerables según tipología constructiva</b>	90
<b>Figura 5.8: Proceso para zonificación según la intensidad del sismo</b>	92
<b>Figura 5.9: Tipologías constructivas del área de Mérida</b>	94
<b>Figura 5.10: Caso de uso de la sectorización por vulnerabilidad</b>	95
<b>Figura 5.11: Zonificación con intensidad del sismo 7 grados</b>	96
<b>Figura 5.12: Zonificación con intensidad del sismo 8 grados</b>	97
<b>Figura 5.13: Zonificación con intensidad del sismo 9 grados</b>	98
<b>Figura 5.14: Zonificación con intensidad del sismo 12 grados</b>	99
<b>Figura A.1: Ejemplo de pliegue completo y sus partes</b>	112
<b>Figura A. 2: Ejemplo de pliegue simétrico</b>	112
<b>Figura A. 3: Ejemplo de pliegue inclinado</b>	113
<b>Figura A. 4: Ejemplo de pliegue isoclinal</b>	113
<b>Figura A. 5: Ejemplo de pliegue volcado</b>	114
<b>Figura A. 6: Ejemplo de pliegue acostado</b>	114
<b>Figura A. 7: Falla vertical</b>	115
<b>Figura A. 8: Falla paralela</b>	115

<b>Figura A. 9: Falla directa</b>	116
<b>Figura A. 10: Falla inversa</b>	116
<b>Figura B.1: Representación de una clase</b>	118
<b>Figura B.2: Representación de clase paramétrica</b>	120
<b>Figura B.3: Representación de paquete</b>	120
<b>Figura B.4: Representación de asociación binaria</b>	122
<b>Figura B.5: Representación de asociación n-aria</b>	122
<b>Figura B.6: Representación de estereotipo</b>	124
<b>Figura B.7: Representación de asociación OR</b>	124
<b>Figura B.8: Representación de clase de asociación</b>	125
<b>Figura B.9: Representación de tiempo de transición. Tomado de [UML1]</b>	128
<b>Figura B.10: Representación de concurrencia. Tomado de [UML1]</b>	129
<b>Figura B.11: Representación de objeto compuesto</b>	131
<b>Figura B.12: Patrón de diseño</b>	132
<b>Figura B.13: Proceso de envío de mensajes. Tomado de [UML1]</b>	134
<b>Figura B.14: Diagrama de subestados</b>	136
<b>Figura B.15: Transición de estados compleja. Tomado de [UML1]</b>	136
<b>Figura B.16: Diagrama de componentes de implementación</b>	138
<b>Figura B.17: Diagrama de ejecución</b>	139
<b>Figura B.18: Ejemplo de componente de implementación</b>	140

## Lista de Tablas

---

<b>Tabla 2.1:</b> Clasificación de desastres según su origen	13
<b>Tabla 2.2:</b> Clasificación según inclinación de las laderas	23
<b>Tabla 2.3:</b> Volcanes del mundo. Tomado de [QUILLET8]	24
<b>Tabla 2.4:</b> Topología de arcos	45
<b>Tabla 2.5:</b> Topología de polígonos	45
<b>Tabla 2.6:</b> Topología de nodos	45
<b>Tabla 4.1:</b> Ejemplo de una relación	63
<b>Tabla 5.1:</b> Entidades relevantes	86
<b>Tabla 5.2:</b> Requerimientos de información. Adaptada de [LANNUZZI97]	88

www.bdigital.ula.ve

# Capítulo 1: Introducción

---

El propósito fundamental del desarrollo de esta tesis es el diseño de un modelo genérico, orientado por objeto, que sirve para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales. Además, a partir de este modelo se genera un prototipo operativo dentro del marco de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La principal contribución de este trabajo, en el campo de la investigación, es la especificación de un modelo espacial, ya que no existe una herramienta similar que pueda ser usada para determinar susceptibilidades y/o vulnerabilidad ante la amenaza de un agente natural o antrópico<sup>1</sup> que pueda causar un desastre. En el campo técnico, es la implementación del prototipo, ya que constituye una herramienta de soporte al Instituto que asume las Funciones para el Manejo de Emergencias, Desastres Naturales y Defensa Civil del Estado Mérida, FUNDEM para la planificación de acciones, a priori, ante la posibilidad de ocurrencia de una emergencia en aquellas áreas consideradas riesgosas o vulnerables ante la acción de un agente natural.

Los SIG permiten representar, manipular y analizar propiedades y relaciones espaciales entre los objetos, los cuales representan entidades geográficas del mundo real [OJEDA96]. Estas entidades emplean un sistema de referencia geo-espacial (ej., sistemas de coordenadas geográficas o sistema de coordenadas UTM) que facilitan su localización y acceso espacial; posee igualmente, propiedades geométricas (ej., localización, forma y dirección), propiedades topológicas (ej., conectividad, adyacencia e inclusión) y propiedades descriptivas (ej., en una carretera, el número de canales, densidad de tráfico, toponimia) [MONTILVA95].

---

<sup>1</sup> Efectos causados por la acción directa o indirecta del hombre

Los SIG constituyen una herramienta fundamental para la toma de decisiones en organizaciones que guarden estrecha relación con el manejo de información geográfica, ya que éstos provee una estructura sistemática para el manejo de distintas variables de información geográfica así como también, dispone de herramientas de visualización, consulta y simulación que permiten realizar estudios de vulnerabilidad y de organización espacial con un alto grado de éxito comprobado [LANNUZZI97].

### **1.1. El problema actual**

En las últimas tres décadas, América Latina y el Caribe han sufrido el impacto de más de mil grandes eventos y decenas de miles de otros de menor magnitud. Durante este periodo, ha habido un acelerado aumento en las pérdidas asociadas con los desastres. Su impacto sobre el desarrollo nacional y el bienestar de la población es significativo y creciente desde múltiples ángulos, más aún cuando su atención implica el desvío de los escasos recursos económicos disponibles para el desarrollo de nuevos proyectos sociales y productivos.

Una creciente proporción de la ayuda internacional para el desarrollo, así como la formación y capacitación profesional, se ha concentrado en la preparación y la respuesta para la emergencia y la atención postdesastre.

Sin embargo, ya es reconocido que los desastres representan la materialización de riesgos latentes, los cuales se explican sobre todo por diferentes tipos y niveles de vulnerabilidad inherentes a las sociedades actuales y no sólo por la existencia de amenazas físicas. El riesgo es, entonces, creado socialmente y su gestión requiere de un profundo conocimiento de los procesos que lo generan en contextos distintos, y del rango de opciones posibles de intervención. En síntesis, los desastres son problemas no resueltos del desarrollo.

Es de todos sabido, que la ciudad de Mérida es una de las zona del país propensa a estar en estado de emergencia por efecto de agentes naturales o antrópicos (producido directamente por el hombre).

Por ejemplo, es un hecho que entre los meses Abril - Mayo, Septiembre - Noviembre, se registran períodos de precipitación en todo el Estado. Estas temporadas son seriamente peligrosas dada la intensidad, extensión y duración que suelen presentar estas precipitaciones. Con la llegada de las temporadas de lluvias, está asociada una serie de efectos bien conocidos en nuestra geografía como son: crecidas excepcionales de caudales de ríos, desbordamiento de torrentes, derrumbes, deslizamientos, inundaciones de tierras bajas, daños de la vialidad, daños en viviendas, etc. que ponen peligro la vida de las personas, propiedades y el ambiente convirtiéndose en lo que se conoce como estado de *calamidad pública*. Esto hace imperativo tomar medidas preventivas tendientes a disminuir los riesgos de desastres que puedan presentarse en éstas temporadas [FUNDEM97].

Otro peligro latente en el cual viven los habitantes de la ciudad de Mérida, es la posible ocurrencia de un sismo, del cual no se puede predecir con exactitud su magnitud, pero que se cree será significativo debido a las características geológicas, las características mismas del sismo y los tipos de infraestructuras que existen en la ciudad [Jaime Lafaille en 1995 citado por LANNUZZI97].

Por esta razón y en base a los avances tecnológicos, específicamente en la versatilidad de los Sistemas de Información Geográfica, es posible estar preparados con planes de contingencia y planificación, ante el efecto de cualquier desastre natural.

Este trabajo de investigación se desarrolla dentro del marco del Instituto que asume las Funciones para el Manejo de Emergencias, Desastres Naturales y Defensa Civil del Estado Mérida, FUNDEM. Este instituto fué creado como estructura organizativa para fortalecer los servicios de atención médica prehospitalaria, atención a incendios forestales, seguridad vial, etc., en fin, para fortalecer la atención inmediata ante la ocurrencia de cualquier desastre natural o antrópico en la región estatal.

Actualmente, FUNDEM cuenta con una serie de librerías cartográficas, unidas todas bajo un SIG denominado SIGFUNDEM, el cual cuenta con una cartografía digital a gran detalle (escala 1:1000 y escala 1:5000), que servirá

de base para la elaboración de un prototipo operativo, aplicando el modelo para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales que se obtenga como fase inicial del proyecto, para que pueda ser usado como herramienta, no solo por el Instituto, sino por cualquier otro organismo (FUNDAPRIS<sup>2</sup>, por ejemplo) relacionado con la elaboración de planes de contingencia y planificación ante la presencia de un estado de emergencia ocasionado por cualquier evento natural.

## 1.2. Antecedentes

Desde hace algún tiempo, el diseño de SIG ha sido el objetivo de muchos trabajos de investigación en el área de computación y cartografía. Igualmente, la tecnología que maneja diferentes medios de presentación de información se ha desarrollado en forma acelerada. Es natural entonces, que se pretenda conjugar ambas tecnologías con la finalidad de proporcionar una herramienta más completa en el manejo de los aspectos geográficos.

Actualmente, no existe un modelo aplicable que satisfaga el requerimiento de determinar áreas susceptibles a desastres naturales, que evidentemente, al menos para la ciudad de Mérida, es una necesidad.

A nivel internacional, un ejemplo del uso de un SIG para el manejo de las diferentes fases del ciclo de los desastres, incluyendo prevención y mitigación, es el denominado Sistema Integrado de Información para Emergencias (SIE) de la Comisión Nacional de Emergencia de Costa Rica. Este sistema incluye una plataforma gráfica que interactúa con una base de datos alfanumérica, para fortalecer dos ejes básicos en el proceso de la planificación: el Atlas de Amenazas Naturales y Antropogénicas del Territorio Nacional y el Inventario de Recursos Estratégicos para la Preparación, Respuesta y Rehabilitación ante Desastres. También se puede mencionar, el Atlas Infográfico de Quito en Ecuador, y los mapas de amenaza volcánica desarrollados por el Instituto

---

<sup>2</sup> FUNDAPRIS: Fundación para el Manejo de Riesgos Sísmicos del Estado Mérida. Facultad de Ciencias, La Hechicera - Mérida.

Geofísico de la Escuela Politécnica también en Quito, así como los proyectos de diagnóstico y reducción de vulnerabilidad sectoriales impulsados por la OEA en distintos países centroamericanos.

A nivel nacional, el uso de los SIG es una forma naciente. En Trujillo, existe uno en el Centro Hidráulico de El Cenizo que se dedica al estudio y conservación de cuencas hidrográficas; y en San Carlos de Cojedes manejan un SIG para el estudio y planificación de usos de la tierra para hacer planificación agrícola-pecuaria. En el área de atención de emergencias y desastres naturales, a nivel nacional, solo existe el SIGFUNDEM, que es un SIG cuyo objetivo quiere orientarse al establecimiento de planes de contingencia ante cualquier desastre, así como prestar servicio de información cartográfica digital al instituto que lo requiera.

En el campo de la investigación, el trabajo de [LANNUZZI97] presenta un SIG para la gestión y administración de desastres naturales vinculados a eventos sísmicos y movimientos de masa.

Los SIG tienen, sin embargo, dos grandes limitaciones. Por una parte, la inversión inicial y la operación y el mantenimiento de los equipos pueden exceder los presupuestos de las entidades a cargo; por otra parte, desde el principio deben establecerse mecanismos formales para la actualización de los datos y considerar que las instituciones involucradas no necesariamente cuentan con infraestructura adecuada para responder a esta nueva demanda.

Con la implementación del modelo aquí propuesto, se tendrá una manera segura que sirva como base para esquematizar la estructura de SIG que pueda ser adaptado a cualquier desastre natural, tomando como variable principal el evento y como variables secundarias las condiciones que generan el desastre.

Como es conocido, a nivel mundial existen muchos agentes naturales que pueden ocasionar desastres. Esto depende principalmente de la ubicación geográficas, las características geomorfológicas de la localidad y de las características mismas del efecto causante del desastre. Para la determinación

de áreas de vulnerables ante un desastre se han implementado SIG dedicados al caso particular de cada localidad, como es el caso de los antes mencionados.

En esta tesis se usa el método orientado por objeto, MEDSIG-OO, generado en el Grupo de Ingeniería de Datos y Conocimientos de la Universidad de Los Andes [MONTILVA97], para enmarcar el prototipo de manera tal que permita predecir las áreas susceptibles a la influencia de agentes naturales que ocasionen situaciones de emergencias en la zona modelo escogida.

### **1.3. Objetivos**

A continuación se presentan los objetivos, general y específicos que se persiguen con la realización de esta tesis.

#### **Objetivo General**

- Desarrollar un modelo genérico, bajo el enfoque de orientación por objetos, para la determinación de áreas susceptibles a la influencia de distintos agentes (naturales y/o antrópicos) que puedan generar cualquier tipo de desastre, denominado Modelo ME-DESNA.

#### **Objetivos Específicos**

- Aplicar el modelo ME-DESNA para diseñar e implementar un prototipo de SIG para la determinación de áreas posiblemente afectadas por desastres naturales.
- Evaluar la metodología orientada por objeto, MEDSIG-OO, para el modelado de Sistemas de Información Geográfica, aplicada para el desarrollo del prototipo.
- Proponer cambios necesarios, convirtiendo y/o extendiendo la metodología para Sistemas de Información Geográfica, usando el

Lenguaje de Modelado Unificado UML (*Unified Modeling Language*), con el fin de incorporar tecnologías más recientes tales como interfaces WEB por ejemplo.

#### 1.4. Metodología de desarrollo utilizada

La metodología utilizada para el desarrollo de esta tesis se puede describir en cuatro etapas y se representa, gráficamente, en la figura 1.1.

- **Revisión bibliográfica:** Inicialmente se hace un estudio de los conceptos relacionados con el tema de investigación: conceptos de modelado, estructuras de datos, SIG y métodos de generación de éstos, relativo al área computacional; y geología, composición geológica, desastres naturales y efectos de estos relativos al área geológica.
- **Especificación y diseño del modelo:** Tomando en cuenta los requerimientos geológicos, se crea un modelo genérico que permita considerar cualquier tipo y cantidad de agentes naturales, que cambien las condiciones de una zona determinada de manera tal, que ésta cambie a un estado de emergencia. Para la especificación del modelo se usa el Lenguaje de Modelado Unificado (UML) basado en la documentación geológica y computacional realizada en la primera etapa de desarrollo.
- **Diseño y especificación progresiva del prototipo:** Aplicando el método de generación de SIG, se genera el diseño del prototipo a partir del modelo obtenido en la etapa anterior.
- **Codificación y pruebas del prototipo:** En esta etapa se validan las especificaciones hasta obtener el prototipo operativo deseado.

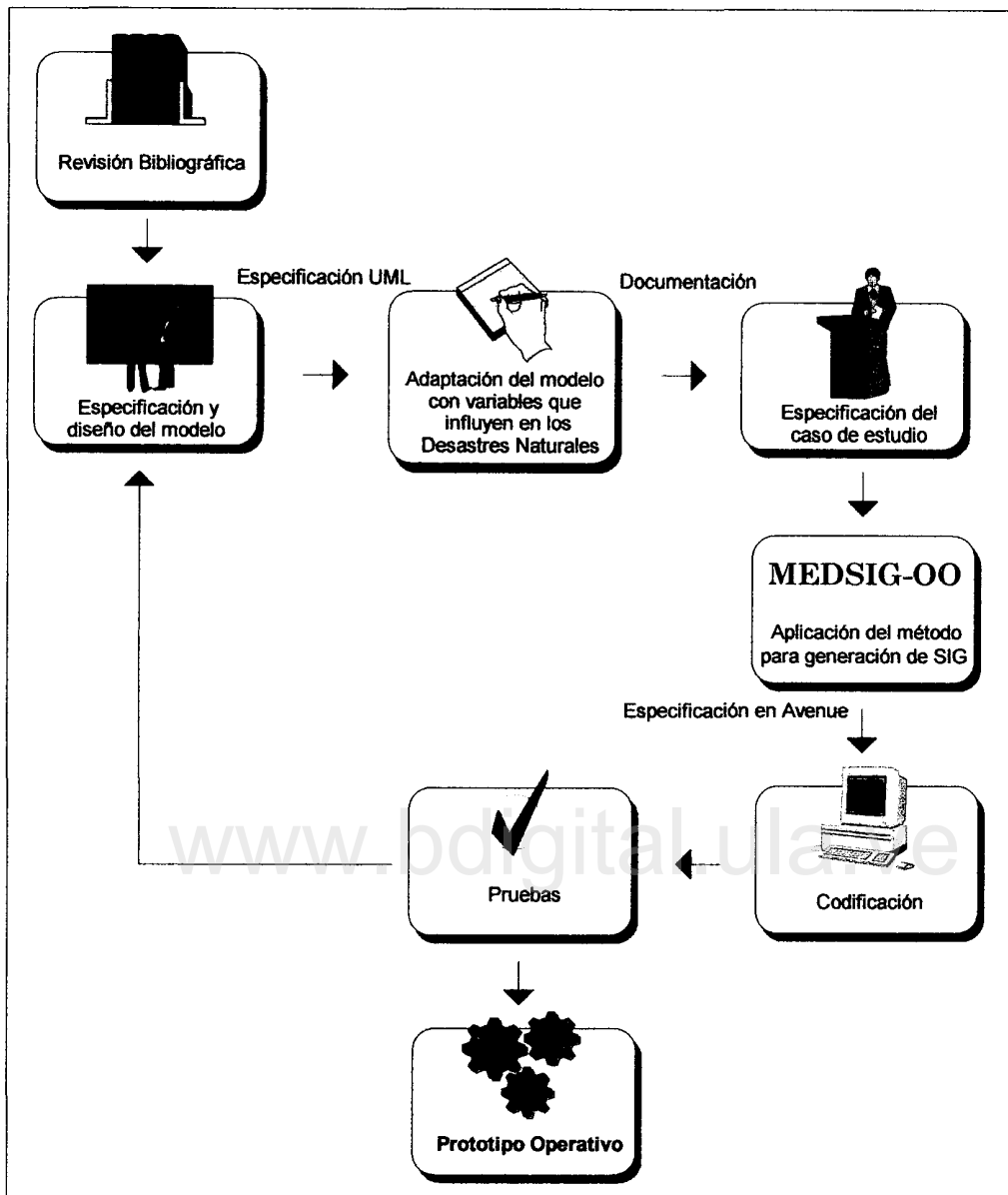


Figura 1.1: Metodología de desarrollo de la tesis

### 1.5. Estructura de la tesis

Esta tesis está estructurada en seis capítulos. En este primer capítulo de introducción se describe el problema actual, los objetivos perseguidos con la creación del modelo; y por último, se muestra la metodología de desarrollo utilizada para la elaboración completa de éste trabajo.

En el segundo capítulo se hace una exposición de los conceptos relacionados con las áreas de estudio. Primeramente se presentan definiciones, clasificación y algunos ejemplo de desastres naturales. Seguidamente se presentan antecedentes, definiciones, modelos, estructuras de datos y ventajas de los SIG.

En el tercer capítulo se presenta una síntesis de las técnicas relacionadas a la Ingeniería de *Software* utilizadas, tales como el enfoque de desarrollo orientado por objeto, el lenguaje de modelado unificado (UML) y la descripción de la metodología para el desarrollo de SIG MEDSIG-OO.

En el cuarto capítulo se describe el modelo propuesto ME-DESNA (Modelo Espacial para la determinación de áreas susceptibles a Desastres Naturales). Aquí se especifican todas las modificaciones a los modelos anteriores tomados como referencia, las definiciones de nuevas clases hasta la integración de todos los componentes para lograr el modelo espacial para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales ME-DESNA.

En el quinto capítulo incluye la parte del diseño e implementación del prototipo basado en el modelo ME-DESNA y usando la metodología MEDSI-OO, desde su fase inicial hasta su estructura final y su respectivo diseño con las consideraciones en el lenguaje de programación escogido. También se muestra una breve descripción de *ArcView* y *Avenue* que es el ambiente y el lenguaje de programación respectivamente escogidos para el desarrollo del prototipo.

Por último, en el sexto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones, en donde se describen todos los inconvenientes presentados a lo largo del proyecto, así como las soluciones aplicadas a dichos inconvenientes, se explica el por qué se tomaron las especificaciones empleadas y algunas recomendaciones para futuros trabajos de investigación.

# Capítulo 2: Marco teórico – Desastres Naturales y Sistemas de Información Geográfica

---

En este capítulo se dan algunas definiciones de lo que es un desastres y se describen algunos tipos de desastres naturales y definiciones y conceptos en lo relativo a los Sistemas de Información Geográfica.

## 2.1. Desastres Naturales

No todas las manifestaciones violentas de la naturaleza, como los terremotos, los huracanes o las erupciones volcánicas, necesariamente se convierten en desastres. De la misma manera, cuando ocurre un desastre, éste no siempre es resultado exclusivo de la amenaza natural por sí sola, ya que lo que hacen los seres humanos, o lo que no hacen, por lo general es un factor clave.

### 2.1.1. Definiciones

Existen muchas definiciones de lo que es un desastre; sin embargo, se puede deducir que el impacto de un desastre natural es netamente social. A continuación se citan algunas definiciones:

*"Un desastre natural es un evento de origen natural que puede ser identificado en el tiempo y el espacio que afecta a la comunidad, donde hay pérdidas de vidas humanas, grandes daños a viviendas, estructuras y servicios que impiden el cumplimiento de las actividades normales y esenciales de la sociedad." [PATERSON93]*

*"Un desastre natural se conceptualiza como una relación extrema entre fenómenos físicos y la estructura y organización de la sociedad, de tal*

*manera que se constituyen coyunturas en que se supera la capacidad material de la población para absorber, amortiguar o evitar los efectos negativos del acontecimiento físico." [LANNUZI97]*

*"Un desastre natural es una perturbación ecológica abrumadora que excede la capacidad de ajuste de la comunidad afectada y, en consecuencia, requiere de asistencia externa." [SALUD94]*

*"Un desastre natural es un suceso o evento que ocurre generalmente de forma repentina e inesperada causada sobre los elementos sometidos a alteraciones intensas, representadas en las pérdidas de vidas y/o salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el ambiente; causando la desorganización de los patrones normales de la vida lo que a su vez genera adversidad, desamparo y sufrimiento en las personas, así mismo afectan la estructura socioeconómica de una región o un país." [L. Arroyo citado por LANNUZI97]*

www.bdigital.ula.ve

### **2.1.2. Tipos de desastre**

Tomando en cuenta la consideración hecha al inicio de este capítulo, es difícil hacer una clasificación estándar de los desastres. A continuación se mostrarán varias clasificaciones tomadas de distintos autores.

Los desastres se pueden considerar catastróficos o no [SALUD94]. Esto depende del lugar y las condiciones en que ocurra para catalogarlo como un desastre. Por ejemplo, si un fuerte terremoto (hipotéticamente de magnitud 7,8 en la escala de Richter<sup>1</sup>) se presentara en un área despoblada, éste violento fenómeno no causaría pérdidas de vidas ni de infraestructura y no se tendría

---

<sup>1</sup> La Escala de Richter, es un estándar de medición de la magnitud de un movimiento sísmico, propuesta por Charles Richter en 1935, la cual se determina midiendo la máxima amplitud de las ondas registradas en un sismógrafo. Un sismo de magnitud inferior a 5.0 grados se considera pequeño; entre 5.5 y 6.5 grados moderado; entre 7.0 y 8.0 grados grandes; y mayores de 8.0 grados muy grande [LANUZZI97].

que movilizar recursos para atender la situación. Por lo tanto, no se trataría de un desastre. Pero un terremoto de magnitud menor, por ejemplo de 5,1 en la escala de Richter, puede provocar un desastre de grandes proporciones si ocurre en un área densamente poblada, o si causa el colapso de edificios esenciales como hospitales o escuelas que no hayan sido construidos apropiadamente, como es el caso de Cumaná en 1997. En consecuencia, el grado de riesgo al que está expuesto un país o un grupo de población cuando sobreviene un evento natural violento, depende principalmente de dos factores: la amenaza y la vulnerabilidad.

Las amenazas naturales han existido siempre. Lo que ha cambiado, especialmente en el último siglo, es el impacto que causan. En áreas donde no hay población humana, los eventos naturales normalmente no se convierten en desastres. Sin embargo, la misma amenaza, sea una erupción volcánica o un ciclón tropical, puede provocar efectos muy diferentes, dependiendo de la vulnerabilidad de la comunidad.

La vulnerabilidad de un edificio, una población o un país se determina por su predisposición al daño o pérdida durante un desastre. Entonces, según [SALUD94], el factor de riesgo se obtiene relacionando la probabilidad de ocurrencia de un evento de cierta intensidad con la vulnerabilidad de los elementos expuestos al evento. Por ejemplo, el riesgo a que está expuesto un edificio durante un terremoto depende de la magnitud del evento (amenaza), si es lo suficientemente fuerte como para dañarlo, y del uso de técnicas apropiadas de construcción sismorresistente (vulnerabilidad) en su diseño y ejecución.

El riesgo no es un concepto abstracto. Muchos países o comunidades han diseñado mapas para ilustrar su grado de riesgo, los cuales no sólo muestran las zonas con la más alta probabilidad de ocurrencia de una amenaza de cierta magnitud, sino también la infraestructura vulnerable en dichas zonas.

También podría clasificarse [ROZO97] según el tiempo de duración del mismo, que es un factor de suma importancia; por ejemplo: es "*finito y lento*" el grado de contaminación de un lago al que se le vierten desechos químicos; "*rápido y*

*brusco*", el desbordamiento de un río por efecto de las lluvias; y es "*sumamente rápido*" un terremoto. Otra manera de clasificar los desastres podría ser según el origen o el agente que los cause. Siguiendo la clasificación mostrada en la tabla siguiente (ver tabla 2.1), se puede notar que los desastres tecnológicos, al estar provocados indirectamente por el hombre, implican un cierto riesgo de error humano como factor predominante.

AGENTES		EFFECTOS
<b>Naturales</b>	Agua	Inundaciones
	Fuego	Incendios
	Viento	Huracanes, Tornados
	Tierra	Volcanes - Sismos
<b>Tecnológicos</b>	Energía	Producción y Transporte
	Agua	Derrumbe presa
	Carbón	Grisú <sup>2</sup>
	Gas	Explosión
	Petróleo	Fuego
	Nuclear	Irradiación
<b>Comunicaciones</b>	Aire	Caída de avión
	Tierra	Choque de trenes
	Mar	Naufragios
	Guerra	Atentados

**Tabla 2.1: Clasificación de desastres según su origen**

En el contexto de este trabajo, son más relevantes los desastres que puedan ocurrir por influencia de agentes naturales, por tal razón a continuación se hace una breve descripción de algunos de estos.

<sup>2</sup> Gas natural que se desprende de los pantanos y de los yacimientos de hulla (composición de carbón y oxígeno); constituido principalmente por metano, originado de la descomposición de sustancias vegetales. No tóxico pero si muy inflamable cuando está mezclado con una cantidad conveniente de aire. Su explosión puede determinar terribles catástrofes en las minas de carbón. [QUILLET4]

### 2.1.3. Amenazas Naturales

En América Latina y el Caribe existen amenazas naturales de todo tipo. Las más comunes se clasifican según sean de origen **geológico**, como los terremotos, los tsunamis, los volcanes o los deslizamientos; o **hidrometeorológico**, como huracanes, tormentas tropicales, inundaciones y sequías.

#### 2.1.3.1. Amenazas Geológicas

Las amenazas geológicas son todas aquellas en las que existe un riesgo latente debido a la acción de cualquier cambio de la tierra. Entre estas son: terremotos, maremotos o tsunamis y volcanes,

##### 2.1.3.1.1. Terremotos

Para entender el origen de los terremotos y de otros desastres naturales de la corteza terrestre, es necesario recurrir a la tectónica de placas, una teoría que ha sido desarrollada durante las últimas tres décadas por geocientíficos de todo el mundo.

#### Tectónica de placas

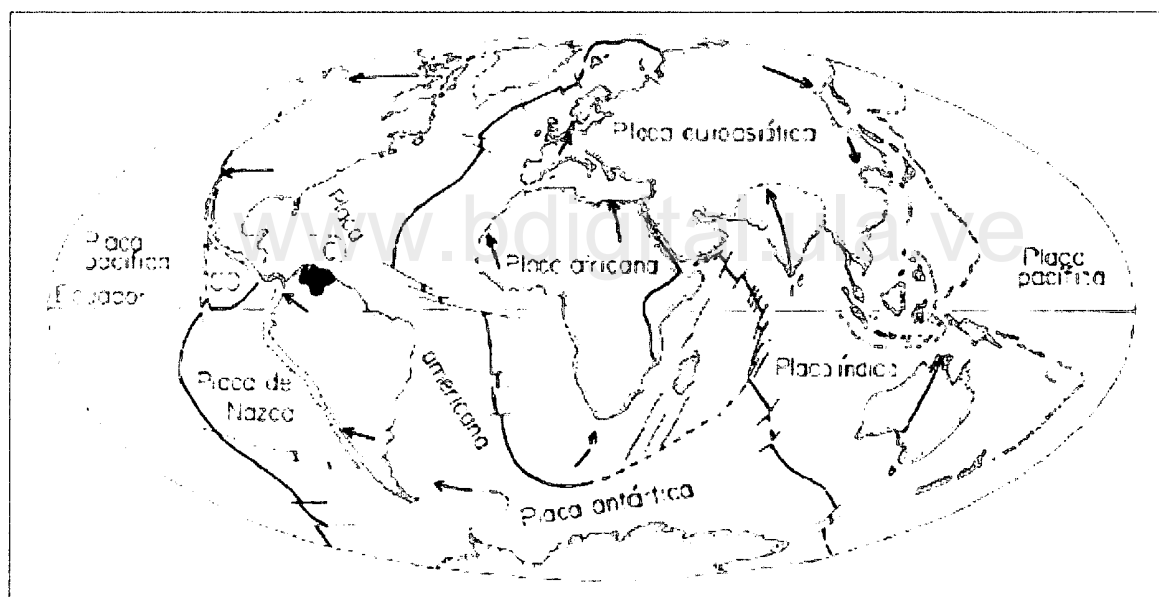
Estudios de sismicidad global terrestre han postulado que la litósfera<sup>3</sup> consiste de varias placas, cuerpos tabulares rígidos de la corteza terrestre, las cuales interactúan a lo largo de sus bordes. Estos bordes representan las fajas o cinturones sísmicos de la tierra (figura 2.2).

La tectónica global postula que en las prominencias oceánicas se generan y separan grandes placas de litósfera, las cuales se esparcen en dirección opuesta y aproximadamente en forma perpendicular a las prominencias, se

---

<sup>3</sup> **Litosfera** f. *Geol. Parte sólida de la corteza terrestre* [LAROUSSE97]

rozan entre sí a lo largo de grandes zonas de fallamiento o fracturamiento, debido a diferencias de velocidad de esparcimiento entre diferentes segmentos de una misma placa, y convergen en los arcos de islas volcánicas, fosas marinas y cinturones volcánicos, donde una de las placas convergentes desciende por debajo de la otra. En otras palabras, en las prominencias oceánicas se producen las placas, y luego se consumen en los arcos de islas, fosas y cinturones volcánicos. Esta teoría de tectónica de placas ha postulado nueve placas sobre la superficie terrestre: pacífica, africana, euroasiática, índica, nazca, antártica, americana, cocos y del Caribe (ver figura 2.1), cuyos límites son las prominencias oceánicas, los arcos de islas volcánicas, las zonas sísmicas de la tierra, las fosas marinas, los cinturones volcánicos y las grandes zonas de fallamiento [SHUBERT].



**Figura 2.1: Configuración actual de la litósfera**

En la figura 2.1 se muestra la distribución actual de los continentes y de los océanos, producto de la tectónica de placas durante los últimos 200 millones de años. En la figura, las líneas más gruesas representan las prominencias oceánicas y las líneas sombreadas representan las fosas oceánicas o los sitios de convergencia de placas. El símbolo C denota la Placa del Caribe y el símbolo CO denota la Placa de Cocos.

## Origen de los terremotos

Los fenómenos geológicos derivados de las *fallas*<sup>4</sup> de la tierra demuestran que la corteza de la tierra no conserva un equilibrio mecánico [QUILLET<sup>4</sup>]. De hecho, las formaciones terrestres se debe a este desequilibrio. Por ejemplo, un relieve (la meseta de la ciudad de Mérida) está separado de otro de menor altura (cuenca y alrededor del Río Chama) por un conjunto de fallas (falla de Boconó) y, cuando se altera su equilibrio, se produce la fracturación de las rocas (continuos temblores a veces imperceptibles) y como consecuencia una serie de vibraciones intensas. Estos movimientos o vibraciones se transmiten en ondas, alejándose del lugar de origen, y suavizándose paulatinamente a medida que va alejándose del foco que los ha producido. Este mecanismo es lo que se denomina *movimiento sísmico* o *terremoto*.

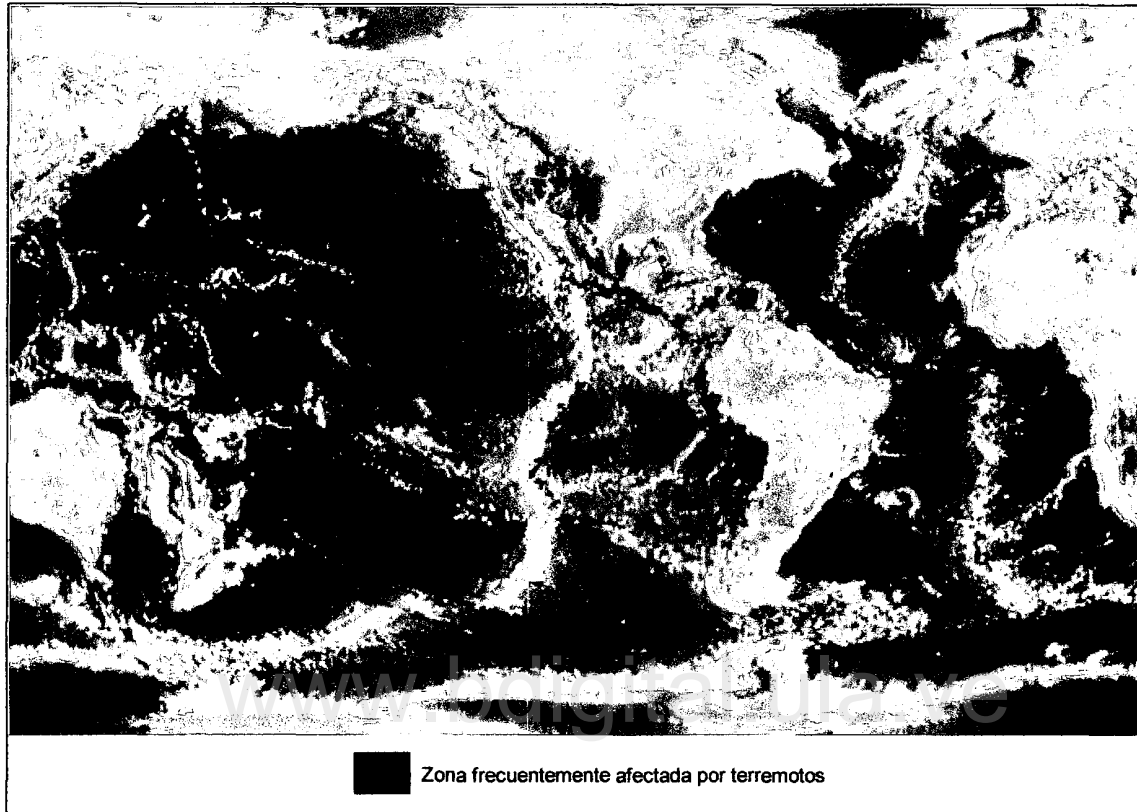
Según [SHUBERT] cuando dos bloques de la corteza terrestre se rozan y desplazan entre sí, por ejemplo, cuando una placa se hunde por debajo de otra o cuando se rozan en forma paralela, se producen vibraciones. Asimismo, cuando el magma, roca fundida a profundidad en el manto o la litósfera debido al aumento en la temperatura, trata de ascender y penetrar hacia la superficie, también genera vibraciones (terremotos que acompañan las erupciones volcánicas). Estas vibraciones se transmiten a través de las rocas sólidas de la litósfera y el manto. En líneas generales, podemos decir que los terremotos, los cuales representan el efecto en la superficie de la tierra de estas vibraciones, pueden ser de origen tectónico (producidos por desplazamientos de bloques de la litósfera) o volcánico (producido por el emplazamiento de magma en la litósfera o su extrusión hacia la superficie).

En Venezuela, los terremotos son de origen tectónico, ya que no existe ninguna faja volcánica en nuestro territorio. Las fajas volcánicas más cercanas son la de las Antillas Menores y la faja volcánica de Colombia Central y Occidental.

---

<sup>4</sup> Ver Apéndice A.

En la figura 2.2, el área roja muestra las zonas más frecuentemente afectada por terremotos.



**Figura 2.2: Zona de terremotos. Tomado de [SALUD94]**

La placa de Cocos, por ejemplo, tiende a desplazarse bajo la placa Americana, que es más liviana (ver figura 2.1). El 19 de septiembre de 1985, la placa de Cocos se quebrantó a una profundidad de 20 kilómetros y las ondas sísmicas devastaron la ciudad de México, a más de 350 kilómetros de distancia. Esta clase de actividad, la colisión y subducción entre las placas Cocos, Nazca y Caribe y la placa continental, es responsable de la alta sismicidad a lo largo de la costa del Pacífico en América Central y del Sur, así como en el Caribe.

En Centro América, las placas de Cocos y del Caribe están fracturadas en distintos segmentos, caracterizados a nivel superficial por depresiones estructurales llenas de sedimentos volcánicos y aluviales. Este tipo de suelo es

tan fértil que atrae el establecimiento de densos asentamientos humanos, precisamente en las áreas más susceptibles a terremotos.

En los últimos 100 años se han producido terremotos de gran intensidad y magnitud en muchos países de América. La magnitud de un terremoto, según Charles Richter, es una medida de la fuerza del evento, calculada a partir de los registros del evento hechos en un sismógrafo calibrado. La escala de Richter se utiliza para describir la magnitud de un terremoto. En contraste, la intensidad de un terremoto es la medida de los efectos del evento sobre la infraestructura ubicada en un sitio específico. La escala Mercalli Modificada de 12 grados (MM)<sup>5</sup> es la más usada entre las escalas para medir la intensidad.

#### **2.1.3.1.2. Maremotos o "tsunamis"**

Los tsunamis son causados por terremotos, actividad volcánica y deslizamientos en el suelo marítimo, que generan olas de gran tamaño. Estas olas son difíciles de detectar por su longitud, profundidad y velocidad.

Cerca del 80% de los tsunamis tienen lugar en el Océano Pacífico, aunque también han ocurrido eventos significativos en el Caribe. En 1692, 3.000 personas murieron debido al terremoto y al tsunami en Port Royal, Jamaica. Como resultado de terremotos en las Islas Vírgenes en 1867 y en Puerto Rico en 1918, los tsunamis produjeron daños extensos. La amenaza de los tsunamis es crítica para las islas que dependen del turismo costanero, y para países como Guyana o Suriname, que se encuentran bajo el nivel del mar.

#### **2.1.3.1.3. Volcanes**

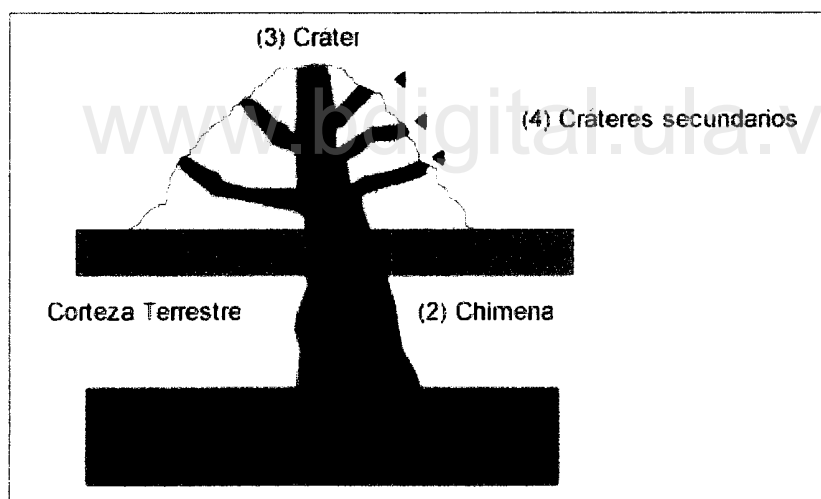
Durante muchos siglos, los habitantes del continente americano han conocido la amenaza que representan los volcanes. A Guatemala, por ejemplo, se le

---

<sup>5</sup> La Escala de Mercalli Modificada de 12 grados (MM), es un estándar de medición de la intensidad de un sismo. Según como sea percibido el sismo, los efectos y los daños que éste produzca, la escala MM describe la situación en doce grados diferentes [descritos en el Apéndice 1 en LANNUZZI97].

llama el país de los lagos y volcanes, pero esta denominación podría aplicarse a otros países del Caribe, de América Central y del Sur. En El Salvador, al volcán Izalco ya desde la época colonial se le conocía como el Faro del Pacífico. Sin embargo, aunque hay numerosos volcanes activos en la Región, las erupciones volcánicas destructivas han sido menos frecuentes que otros tipos de desastres naturales en este siglo.

Debido a la fricción entre placas adyacentes, cuando una placa terrestre se coloca bajo otra, se genera la fusión de rocas dentro de la corteza, este magma tiende a ascender a la superficie a través de grietas o fisuras. Los volcanes se han constituido por acumulación de sus propios productos (lava, bombas, cenizas, polvo volcánico). El proceso por el cual este material es expulsado en ocasiones suavemente o en forma explosiva se denomina *erupción volcánica* [VOLCÁN].



**Figura 2.3: Esquema de las partes de un volcán**

Las partes principales de un volcán pueden verse en la figura 2.3 y son: la cámara magmática (1), localizada a profundidad y comunicada con la superficie por medio de la chimenea (2) y el cráter (3) que es el orificio de salida. Pueden existir otros cráteres secundarios o adventicios (4).

La actividad volcánica, es el producto de la expulsión de materiales (sólidos, gaseosos y líquidos) del interior del planeta y que suelen estar a elevadas temperaturas. En una erupción volcánica pueden suceder los siguientes fenómenos [VOLCÁN]:

- **Lluvia de Piroclastos:** La erupción volcánica expulsa por el aire en forma explosiva o por medio de una columna de gases, pedazos de lava o roca que de acuerdo con su tamaño pueden considerarse como cenizas, arenas, bloques o bombas. Estos pedazos se llaman piroclastos y pueden ser incandescentes, es decir encontrarse al "rojo vivo". Los piroclastos más pesados caen rápidamente y se depositan cerca del cráter, otros de menor diámetro caen un poco más lejos. La ceniza y la arena son arrastradas por el viento a mayores distancias. A veces, los piroclastos que caen cerca del cráter pueden producir incendios forestales, y la caída de ceniza puede cubrir las tierras dedicadas a la agricultura, cubrir los tejados y hasta derrumbarlos, destruir las cosechas o impedir las siembras temporalmente. Naturalmente los efectos negativos por lo general son más severos cerca del volcán y decrecen según se incrementa la distancia. El mayor daño se produce por el depósito de capas delgadas de materia fina (cenizas) y que afectan sobre todo a la actividad agropecuaria.
- **Flujos de Piroclastos:** Son fragmentos de rocas calientes de muy diversos tamaños y envueltos en gases que pueden desplazarse como un fluido por las laderas de los volcanes. Pueden alcanzar temperaturas de varios cientos de grados y velocidades entre los 50 y 150 Km/h dependiendo de la topografía, volumen del material y cercanía del punto de emisión.

Los flujos piroclásticos son los productos volcánicos más destructivos y mortales ya que arrasan lo que encuentran a su paso, incluidas construcciones o cualquier forma de vida debido especialmente a su fuerza y alta temperatura. Históricamente sólo se ha presentado un evento de este tipo, que corresponde a la erupción del Volcán Arenal en 1968.

- **Avalanchas o flujos de lodo y rocas:** Son flujos compuestos de fragmentos de rocas, cenizas, sedimentos y gran cantidad de agua lo que hace que fluya rápidamente pendiente abajo debido a la gran capacidad de arrastre que posee la avalancha. El agua resultante arrastra suelos, vegetación, rocas y todos los objetos que se encuentran a su paso, formando ríos de lodo y piedras. En ciertos casos han enterrado a poblaciones o modificado el cauce de grandes ríos.

En 1963 durante la erupción del volcán Irazú y después de un fuerte temporal, descendió por el cauce del Río Reventado una corriente de lodo y rocas causando la muerte de 20 personas, además de graves daños materiales en la región de Taras, Cartago.

Recientemente 1991 y 1995 se formaron lahares (flujos de lodo) a consecuencia de una erupción del Volcán Rincón de la Vieja y flujos en los cauces de los Ríos Pénjamo y Azul, que destruyeron puentes y mantuvieron incomunicada a la población de Buenos Aires, Provincia de Alajuela.

- **Flujo de Lava:** Los flujos de lava se producen por el derrame de roca fundida que emite el volcán. Los flujos de lava rara vez ocasionan víctimas ya que normalmente descienden muy lento. La trayectoria y la velocidad dependen de la topografía local (pendiente), así como de la cantidad y viscosidad de la lava. Los flujos de lava causan destrucción total de todo aquello que se encuentran a su paso por incineración, choque y sepultamiento. También pueden ocurrir incendios forestales cuando encuentra zonas de bosques a su paso.

En el caso de los volcanes de la Cordillera Volcánica Central, no hay registros de coladas de lava en las distintas épocas históricas. Sin embargo, existen evidencias muy importantes en tiempos geológicamente recientes.

- **Gases:** El magma contiene gases disueltos que son liberados por las erupciones hacia la atmósfera siendo regularmente tóxicos y peligrosos para la vida vegetal y animal. Los gases pueden causar efectos sobre todo en el área cercana al macizo volcánico (5 Kms.), aunque en algunos países han causado daños hasta 30 Kms. de distancia del punto de emisión. Afectan principalmente los ojos, la piel y al sistema respiratorio de las personas. También causan daños a las cosechas y animales que comen la vegetación afectada.

En ocasiones las gotas de lluvia al mezclarse con los gases adheridos a las cenizas pueden causar la lluvia ácida, la cual es perjudicial para las personas, la vegetación y estructuras metálicas.

- **Temblores:** El volcán produce temblores que se sienten solo en las cercanías del cráter, debido a movimientos internos del magma en profundidades, desgasificaciones, etc.
- **Tormentas Eléctricas:** Los gases y vapores que erupción el volcán favorecen que el aire pueda conducir electricidad producida en las nubes, originando una gran cantidad de rayos y relámpagos cercanos al volcán. Además, facilita la formación de fuertes aguaceros que pueden originar algunos derrumbes en las cercanías.

Según el geólogo Alfred Lacroix [QUILLET8], los volcanes se pueden clasificar por la inclinación de las laderas del volcán. En la tabla 2.2 se muestra esta clasificación.

TIPO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
<b>Vulcaniano</b>	Cono simple, con chimenea central única, relativamente estrecha respecto al diámetro del cono; estructuralmente es un extracto-volcán (capas alternas de lava y material piroplástico)	Vulcano, Italia
<b>Etniano</b>	Similar al vulcaniano, pero con chimeneas secundarias, que constituyen cono parásitos.	Etna, Italia
<b>Estromboliano</b>	Cráteres con lava medianamente fluida que se desplaza por explosiones, las que pueden producir en parte la ruptura de las paredes del cráter.	Stromboli, Italia.
<b>Vesubiano</b>	Cono central rodeado por las paredes del antiguo cráter que constituye el <i>soma</i> o <i>somma</i> .	Vesubio, Italia.
<b>Peleano</b>	Cono de tipo vulcaniano con el agregado de una aguja o espina, formada por la lava solidificada.	Montaña Pelada, Martinica.
<b>Hawaiana</b>	Cráter ancho y bajo lleno de lava que va rebalsando lentamente (volcanes de escudo, los pequeños son conocidos en México como <i>hornitos</i> ).	Kilauea, Hawai.
<b>Eifeliano</b>	Cráter casi siempre lleno de agua.	Cráteres del distrito Eifel en Alemania.

**Tabla 2.2: Clasificación según inclinación de las laderas**

Existen volcanes en todas partes del mundo. En la actualidad, se conocen más de 800, de los cuales hay 139 en actividad intermitente o constante. La mayoría de ellos son islas; los otros se hallan siempre en las proximidades del mar.

Están localizados principalmente, entorno al océano Pacífico, que está rodeado de una serie de volcanes en actividad y de picos de origen volcánico; es lo que se ha llamado Cinturón de Fuego del Pacífico (ver figura 2.4) [EQUILLET3].

Las zonas más afectadas se muestran en la tabla 2.3.

ZONA VOLCÁNICA	NO. DE VOLCANES	
<b>África</b>		<b>19</b>
<b>América</b>		<b>217</b>
• Islas Aleutianas	32	
• Península de Alaska	19	
• Noroeste de América	3	
• Estados Unidos	8	
• Baja California	4	
• Bloque Mexicano	32	
• Guatemala y El Salvador	24	
• Nicaragua	12	
• Costa Rica	9	
• Pequeñas Antillas	6	
• Colombia	7	
• Ecuador	9	
• Islas Galápagos	4	
• Perú y Bolivia	12	
• Chile y Argentina	36	
<b>Antártida</b>		<b>2</b>
<b>Asia</b>		<b>195</b>
<b>Europa</b>		<b>48</b>
<b>Oceanía</b>		<b>89</b>

Tabla 2.3: Volcanes del mundo. Tomado de [QUILLET8]

"Hura Kan", o "vientos de los dioses". Anualmente 20.000 personas pierden la vida como resultado de estos fenómenos ciclónicos, mientras que las pérdidas materiales pueden superar los miles de millones de dólares. La escala de Simpson/Saffir se utiliza para categorizar los huracanes (ver figura 2.5) [SALUD94].

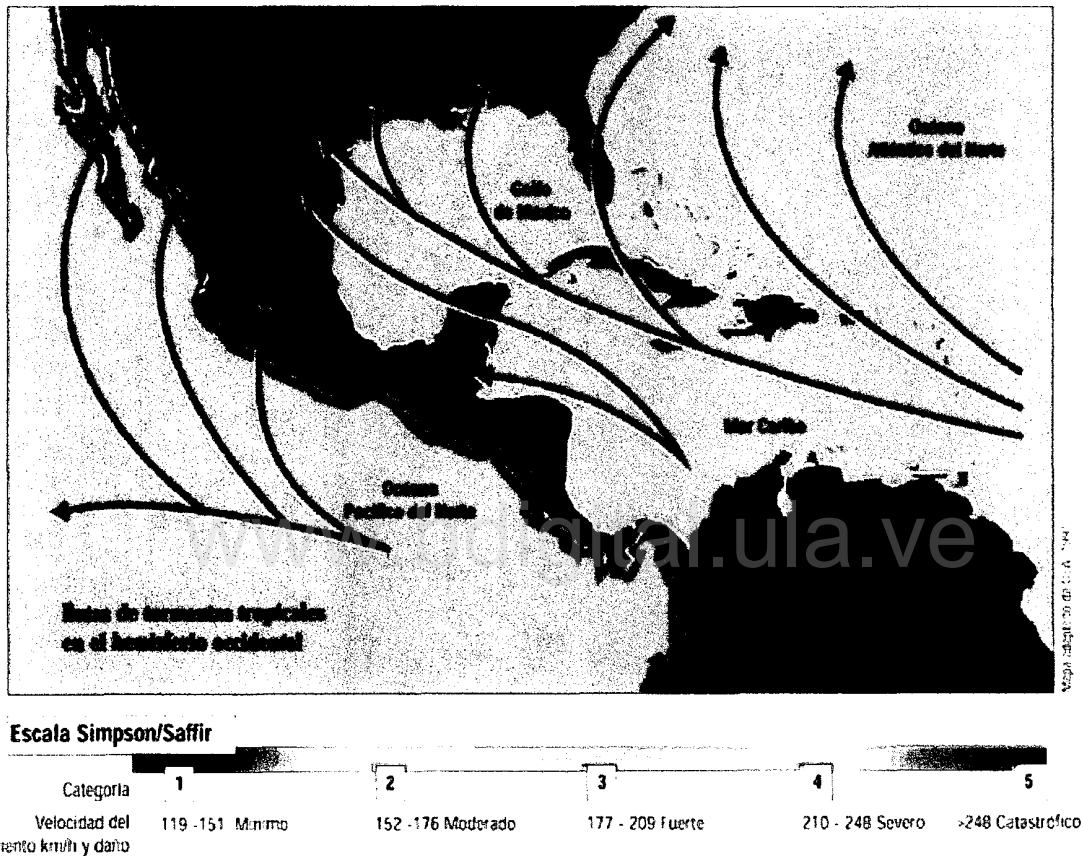


Figura 2.5: Escala de Simpson/Saffir. Tomado de [SALUD94]

Se estima que en los últimos 500 años han ocurrido más de 4.000 tormentas tropicales en el Caribe, la mitad de las cuales se convirtieron en huracanes. El más devastador de todos fue el de octubre de 1780, que golpeó a prácticamente todas las islas, desde Tobago hasta la isla Española, pasando por las islas de Sotavento. Casi 20.000 personas perecieron a su paso.

### 2.1.3.2.2. Inundaciones

Las inundaciones son, quizás, el tipo de desastre más frecuente y uno de los más destructores. Aunque prácticamente todos los países de la América Latina y el Caribe se ven afectados por este problema, casi nunca recibe la misma atención inmediata que, por ejemplo, un terremoto.

La gravedad y rapidez de las inundaciones depende de diversos factores: existencia de bosques en las regiones afectadas, permeabilidad del suelo, pendiente, friabilidad de las rocas, humedad natural del terreno, etc., y además las características del lecho de los ríos y de sus afluentes: un lecho profundo, ancho, sin bancos de arena, sin aglomeraciones de piedras, de riberas consolidadas y pendiente regular, presenta una capacidad de absorción y escurrimiento que, aunque no detener, puede demorar y atenuar la inundación. Los desbordamientos de los cursos rápidos se producen súbitamente, pero en general duran poco; los ríos de curso lento tienen en cambio crecidas lentas, pero de larga duración [QUILLET5]. Para precaverse de las inundaciones, un medio eficaz es la creación de grandes bosques en las zonas afectadas por ellas. Las raíces de los árboles socavan el suelo y lo hacen impermeable; las hojas regulan la humedad atmosférica y regulan el exceso de humedad del suelo. Con los detritos<sup>6</sup> vegetales se forma un espeso manto esponjoso, capaz de absorber mucha agua.

Durante inundaciones de inicio repentino es posible diferenciar claramente las distintas fases del desastre: impacto, emergencia, rehabilitación y reconstrucción. En las inundaciones de inicio lento, los límites entre estas fases se desdibujan. Pueden transcurrir meses antes de que las autoridades se percaten de que existe una emergencia. El período de aislamiento puede prolongarse y la rehabilitación o reconstrucción pueden estar en marcha al sobrevenir la siguiente inundación.

---

<sup>6</sup> Residuo de una sustancia cualquiera inorgánica u orgánica que se ha descompuesto [QUILLET3].

Los efectos principales que una inundación produce en la salud abarcan cuatro áreas: enfermedades transmisibles, saneamiento del medio ambiente, alimentación y nutrición, y vectores. En general, no se registran brotes de enfermedades bien definidas como secuelas inmediatas de las inundaciones. En cambio, se produce un lento y extendido deterioro de las condiciones generales, que con frecuencia se traduce en una disminución crónica del nivel de salud de la comunidad afectada.

En muchos países donde son frecuentes las inundaciones se ha desarrollado una cultura de catástrofes. Los habitantes de estas regiones se han adaptado a la frecuencia y a las diferentes intensidades, de forma que construyen sus casas sobre pilotes y elevan los pisos con tablonas a medida que crecen las aguas de la inundación.

#### **2.1.3.2.3. Sequías**

Las sequías periódicas desestabilizan la economía primitiva de una región, acaban con las fuentes naturales de vida, queman los pastos, diezman el ganado y arrasan los cultivos, convirtiendo el área en un paisaje desértico cuyos habitantes, desprovistos de reservas, fallecen por falta de agua y alimentos.

Los efectos de la sequía, siempre son desastrosos, crecen en proporción a la extensión del territorio afectado. Si la zona afectada no es muy grande, puede ser socorrida por las regiones vecinas que no son víctimas del fenómeno.

#### **2.1.3.2.4. Deslizamientos**

El impacto de los deslizamientos depende de su naturaleza específica y de sus orígenes. Por ejemplo, los deslizamientos de laderas de colinas o pendientes de montañas obviamente constituyen una amenaza para los seres humanos y sus bienes, pero en general provocan daños en un área geográfica limitada. En contraste, los derrumbes de origen volcánico, avalanchas, flujos y dispersiones laterales abarcan áreas más extensas y pueden ocasionar grandes pérdidas

humanas y materiales. La mayoría de los deslizamientos son causados o intensificados por fenómenos de origen geológico o hidrometeorológico.

Sin embargo, los deslizamientos más severos son los que implican el desplazamiento gradual de grandes áreas de la superficie terrestre, ya que su efecto sobre construcciones y obras de infraestructura es lento pero dañino. Este tipo de deslizamientos se intensifica por condiciones hidrometeorológicas extremas (largos períodos de lluvia suave o cortos fuertes) o por terremotos.

La construcción de caminos y carreteras puede ocasionar inestabilidad de laderas, ya que las limitaciones presupuestarias condicionan los cortes de laderas con pendientes adecuadas. En caso de lluvias severas, producen derrumbes que obstaculizan importantes vías de comunicación, cobran vidas y demandan recursos de las instituciones a cargo para el restablecimiento de las condiciones normales.

La acción del hombre, en términos de deforestación de cuencas hidrográficas, contaminación y otros agentes antrópicos, propicia la ocurrencia de deslizamientos con repercusiones económicas y sociales extremas.

Los deslizamientos provocados por fuertes lluvias e inundaciones tienen devastadores efectos en la Región, particularmente en áreas deforestadas, o en asentamientos humanos construidos sobre suelos inestables.

#### **2.1.4. Vulnerabilidad ante los desastres naturales**

Existe una estrecha relación entre la vulnerabilidad a los desastres y el desarrollo socioeconómico. Por ejemplo, el proceso de urbanización acelerada en América Latina contribuye a su vulnerabilidad, y también propicia la degradación ambiental y la pobreza, la cual a su vez determina el uso de técnicas de construcción inadecuadas. Otros factores, como el crecimiento demográfico y los bajos niveles de educación, se relacionan estrechamente con el problema de la vulnerabilidad.

#### **2.1.4.1. La urbanización acelerada**

En la mayoría de países en desarrollo, el crecimiento de la población urbana ha aumentado, mientras que tiende a disminuir en los más desarrollados. Este crecimiento se debe no sólo al aumento de las tasas de natalidad, sino también a la tendencia migratoria desde las áreas rurales hacia las zonas urbanas, especialmente de gente de escasos recursos que busca establecerse en las ciudades para obtener un mejor acceso a los servicios y a las fuentes de trabajo. El resultado es la creación de asentamientos precarios en zonas marginales.

#### **2.1.4.2. La pobreza**

Los desastres naturales en América Latina y el Caribe han demostrado invariablemente que quienes más sufren el impacto son aquéllos con bajos ingresos y viviendas de mala calidad. Los más pobres, con niveles educativos más bajos, por lo general viven en asentamientos improvisados en lugares vulnerables, como las *favelas* (ranchos) ubicadas en las faldas de las montañas de Río de Janeiro, propensas a los deslizamientos, o en las laderas de los volcanes o a orilla de los ríos. Durante las sequías, los más afectados son los pobres que no pueden adquirir alimentos. La hambruna es, con mayor frecuencia, el resultado de la falta de dinero para adquirir alimentos, que de la falta de alimentos en sí. La pobreza también es la mayor causa de migraciones interna e internacional, lo cual plantea serios desafíos tanto en términos de ayuda inmediata, así como en los esfuerzos para el desarrollo a largo plazo.

Los desastres naturales en América Latina y el Caribe han demostrado invariablemente que quienes más sufren el impacto son aquéllos con bajos ingresos y viviendas de mala calidad.

América Latina y el Caribe comparten un problema común a otras regiones del mundo: los pobres no sólo soportan una cuota desmedida del impacto de los desastres, sino que además se encuentran en desventaja durante las fases de rehabilitación y reconstrucción. Antes del desastre, estos grupos dependen de sus escasos ingresos, muchas veces originados en su propio hogar, para la

supervivencia diaria. El desastre no sólo les destruye sus fuentes de trabajo, sino que es difícil que puedan afrontar gastos adicionales en la compra de materiales para la reconstrucción. De esta forma, se acelera el ciclo de empobrecimiento y, consecuentemente, aumenta la vulnerabilidad frente a los desastres.

#### **2.1.4.3. Las construcciones**

El tipo de construcciones, tanto como la densidad de población en las áreas de mayor amenaza, es un factor que incrementa la vulnerabilidad. Se calcula que un 90% de las víctimas de los terremotos, por ejemplo, se debe al colapso de las edificaciones, como fue el caso en Nicaragua en 1972 y en Guatemala en 1976. Una situación similar ocurrió en Dominica en 1979 y en Montserrat en 1989, donde un 90% de los colapsos de viviendas se debió al incumplimiento de las normas para la construcción resistente a movimientos sísmicos.

Muchos de los edificios antiguos en América Latina, tanto de uso residencial como institucional, están hechos de adobe y mampostería no reforzada. Las casas de adobe son poco resistentes a terremotos ya que no se comportan como las construcciones de madera, más livianas y flexibles. El peso de los techos de tejas de barro también contribuye a su inestabilidad, tal como ocurrió en el terremoto de Guatemala, donde muchos murieron a causa del colapso de edificios.

En gran medida, la infraestructura de los servicios básicos como el agua y la energía es antigua, y la falta de presupuesto para mantenerla apropiadamente es un problema en muchos países, en especial porque constituye un obstáculo para la prestación ininterrumpida de los servicios en caso de desastre. Esta situación también se presenta en instalaciones como hospitales y escuelas que, durante décadas, han sido modificadas sin tomar en cuenta consideraciones de seguridad ante los desastres, lo cual aumenta el riesgo para una población ya de por sí vulnerable, como son los niños, los enfermos y las personas de escasos recursos.

#### 2.1.4.4. Factores ambientales

El ambiente que rodea a los asentamientos humanos contribuye a la ocurrencia de desastres. En algunos casos, este entorno no puede modificarse y la población debe adaptarse para evitar las serias consecuencias inherentes al sitio donde se encuentra asentada. Por ejemplo, el tipo de suelo es un factor determinante para que los efectos de un terremoto sean más fuertes en un lugar que en otro. El terremoto de 1985 en México tuvo su epicentro frente a la costa del estado de Guerrero, 350 kilómetros al suroeste de la ciudad de México. La ciudad costera más cercana al epicentro, Acapulco, sufrió daños menores, pero la capital fue devastada. La ciudad de México fue construida donde estuvo Tenochtitlán, la capital del Imperio Azteca. Con el tiempo el lago Texcoco, que rodeaba esta ciudad, se secó, dejando profundas capas de arcilla, arena y grava bajo la superficie. A diferencia de la roca sólida, el suelo bajo la ciudad de México amplificó las ondas sísmicas.

#### 2.1.5. Riesgos

A pesar de que el concepto de riesgo es concreto y cuantificable, es un parámetro relativo ya que depende de la percepción que sobre él tengan las comunidades. La población intenta constantemente disminuir su vulnerabilidad ante las amenazas, mientras que trata de mantener un equilibrio entre el riesgo tolerable y los beneficios asociados.

Pareciera que la cuantificación de los riesgos más bien los hace aparecer como incontrolables. Sin embargo, es diferente la medida del riesgo que establecen los planificadores, de la aceptación que la comunidad pueda tener de estas cifras, de modo que no sólo desee reducir el riesgo sino que disponga de los medios para hacerlo. Muchas familias que viven en áreas afectadas frecuentemente por inundaciones reconstruyen sus viviendas en los mismos sitios, a la espera de las donaciones de alimentos, vestimenta y materiales de construcción por parte de los organismos encargados del manejo de emergencias. Los planificadores consideran inaceptable el riesgo de vivir a orillas de un río, y la solución ideal sería la reubicación de estas familias, pero

para las personas familiarizadas con estas áreas, podrían ser aún más atemorizantes las amenazas desconocidas, y por ende insisten en quedarse.

En América Latina y el Caribe existen relaciones importantes entre las amenazas naturales, la vulnerabilidad de cada comunidad o población, y los riesgos que cada uno enfrenta de sufrir los efectos de un desastre.

La idea de todos los que trabajan en el campo de la reducción de los desastres es llegar a convencer a la gente de que debe reducir su vulnerabilidad para superar el riesgo.

## **2.2. Sistemas de Información Geográfica**

El área de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha convertido en un amplio campo de investigación y desarrollo en donde converge el área de prevención y riesgos. Muchas definiciones se han dado de los SIG, pero todos enmarcan la idea de ser una herramienta versátil y de mucho alcance para el manejo de información cartográfica. El uso de estos sistemas ha crecido dramáticamente desde 1980 y ahora se ha convertido en herramienta común en el mundo de los negocios, gobiernos y en la educación. A consecuencia de esto, se han dado muchas definiciones por lo que a continuación se muestra un resumen de algunos autores.

Según [ROBERTS91], un SIG, es un sistema de información que almacena datos referenciados espacialmente y que está en la capacidad de desplegarlos gráficamente. El desarrollo de herramientas y técnicas para SIG es un campo que se ha extendido rápidamente, en el que convergen distintas disciplinas, incluyendo geografía, computación gráfica, base de datos, cartografía, manejo de imágenes satelitales y estadísticas. Las aplicaciones de los SIG es muy grande y variada entre las cuales está la utilización de los mismos en gobiernos locales y nacionales, utilidades públicas, manejo de la tierra y sus recursos, investigaciones de mercado y planificación.

También pueden definirse los SIG como un conjunto de mapas de una región o lugar específico con las mismas coordenadas, reunidos en un sistema de información, con el fin de realizar análisis espaciales y temáticos de dicha región [BOSQUE92], lo cual es su característica distintiva de otros tipos de sistemas de información.

Estos sistemas permiten representar, manipular y analizar propiedades y relaciones espaciales entre los objetos, los cuales representan entidades geográficas del mundo real [OJEDA96]. Estas entidades emplean un sistema de referencia geo-espacial (ej., sistemas de coordenadas geográficas o sistema de coordenadas UTM) que facilitan su localización y acceso espacial; posee igualmente, propiedades geométricas (ej., localización, forma y dirección), propiedades topológicas (ej., conectividad, adyacencia e inclusión) y propiedades descriptivas (ej., en una carretera, el número de canales, densidad de tráfico, toponimia) [MONTILVA95].

También son definidos por [REYNOLDS] como una colección de datos espacialmente referenciados (datos que tienen una localización anexada a ello) y las herramientas requeridas para trabajar con éstos datos.

Los SIG constituyen una herramienta fundamental para la toma de decisiones en organizaciones que guarden estrecha relación con el manejo de información geográfica, ya que éstos proveen una estructura sistemática para el manejo de distintas variables de información geográfica así como también, dispone de herramientas de visualización, consulta y simulación que permiten realizar estudios de vulnerabilidad y de organización espacial con un alto grado de éxito comprobado [LANNUZZI97].

Según [BOSQUE92] los SIG son considerados como una tecnología aplicada a la resolución de problemas territoriales ya que su uso va desde el inventario de recursos naturales y humanos hasta el control y gestión de datos catastrales y de propiedad urbana y la planificación y gestión urbana (estudios de redes de servicios).

Por último, los SIG son descritos por [ESRI] como una colección organizada de equipos de computación, programas, datos geográficos y personal especializado en la captura, almacenamiento, modificación, manipulación, análisis y despliegue de todas aquellas formas con información referenciadas geográficamente.

Los SIG se han convertido en un instrumento para la predicción de las tendencias de crecimiento urbano, junto con la ubicación de zonas e infraestructuras en riesgos de amenazas naturales y tecnológicas, por lo que son útiles como ayuda visual en la planificación del uso racional del suelo.

En general, según [GRANADOS98] la principal utilidad de los SIG radica en su capacidad para construir modelos del mundo real a partir de las bases de datos digitales, y utilizar éstos modelos para simular el efecto de un proceso específico en el tiempo. Hay que resaltar que los SIG no se reducen sólo a la reproducción de mapas a través del computador, además puede añadirse a éstos cualquier tipo de datos descriptivo asociado a la región que se estudia.

www.bdigital.ula.ve

### 2.2.1. Componentes de un SIG

Un SIG [ESRI1] puede decirse que está constituido por cuatro componentes esenciales (ver figura 2.6):

- **Datos:** Es lo que singulariza los SIG, ya que éstos son de tipo geográfico los cuales, a su vez, están relacionados con otros de tipo descriptivos.
- **Tecnología de computación:** Se incluye todo el equipo de computación (*hardware*) y programas (*software*) necesarios para la manipulación automática de los datos así como el producto cartográfico que se obtiene del análisis de los mismos.
- **Recursos humanos:** Este elemento abarca desde el personal encargado del diseño y la implementación del SIG pasando por el administrador del sistema hasta aquellos que usan el SIG como herramienta cotidiana de trabajo.

- **Procedimientos gerenciales:** Un SIG no tiene sentido si no cumple un objetivo o no es parte de una organización. Es por esta razón que el éxito de los SIG radica en el buen diseño de planes de aplicación dentro de la organización en que opera. Por supuesto, teniendo en cuenta planes de actualización y producción.

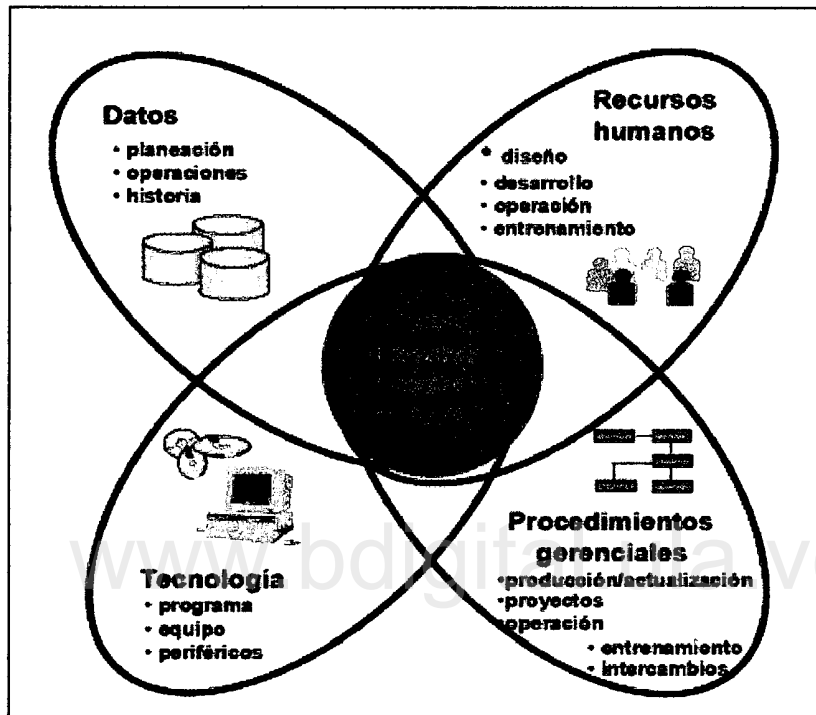


Figura 2.6: Componentes de un SIG

### 2.2.2. Esquema de funcionamiento de un SIG

En general, todos los SIG tienen un funcionamiento similar (ver figura 2.7). Es claro que cada actividad depende del marco organizacional en que el SIG opere. Las tareas generales son [ESRI1, BOSQUE92]:

- **Entrada o incorporación de datos:** Es la conversión de los datos analógicos (datos tomados del mundo real: mediciones, mapas) a formato digital (imágenes, coberturas, implementación de bases de datos). Este proceso es llamado *digitalización*.

- **Organización de los datos:** Comprende la selección del conjunto de datos que son necesarios para un estudio específico. Dependiendo del volumen de los datos, éstos son almacenados en archivos sencillos, si son pocos; o manipulados con Sistemas Manejadores de Bases de Datos (DBMS – Data Base Management System) que se encarguen del almacenamiento, organización y manipulación de los datos.

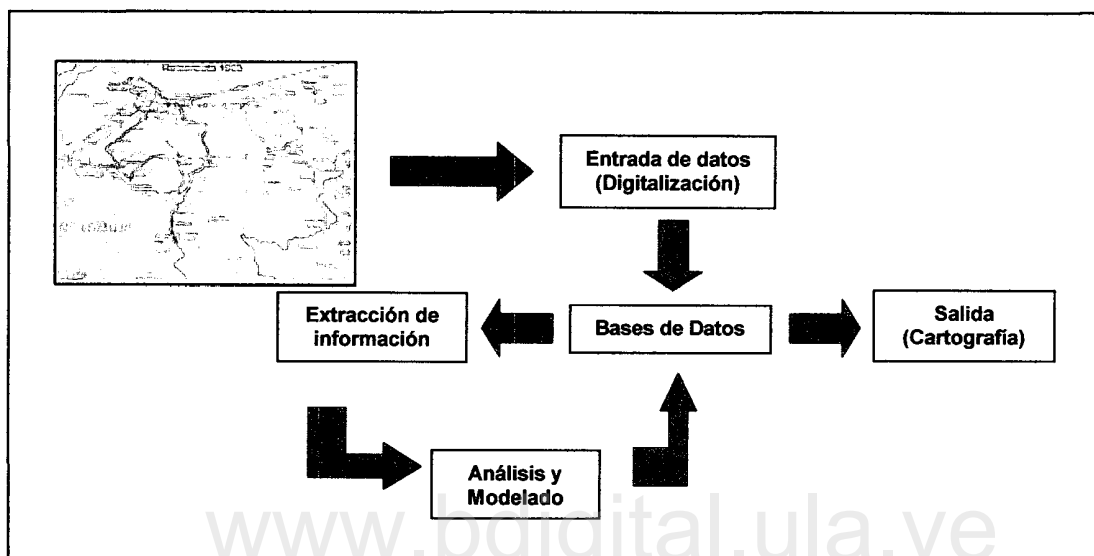


Figura 2.7: Funciones generales de un SIG. Adaptado de [BOSQUE92]

- **Análisis:** las funciones de análisis son el elemento más característicos de los SIG. Se basan en el procesamiento de los datos, de manera tal de obtener información útil que aumente el conocimiento del hecho o evento que se estudia. Existen diversos tipos de análisis espacial, entre los que se pueden mencionar las consultas o preguntas cuyas respuestas son elementos descriptivos o elementos cartográficos; proximidad, para lo cual se usan los llamados *buffers* o pasillos; solapamientos, que consiste en superposición de varias capas de datos cuyo resultado es el comportamiento del espacio común que ocupa; análisis de redes, etc..
- **Visualización:** Es la fase de la elaboración del producto final del objetivo del SIG; mostrar a los usuarios los resultados de las operaciones analíticas aplicadas a los datos para obtener el conocimiento en forma de mapas. Los mapas de los SIG son la herramienta más eficiente para el almacenamiento y la transmisión de la información geográfica, ya que

pueden ser desplegados con reportes de información descriptiva, imágenes en 2-D y 3-D, fotografías, animaciones, sonidos, etc..

### **2.2.3. Información geográfica**

La información geográfica comprende el conjunto de los datos relacionados con tierra, las interpretaciones y explicaciones aplicadas a estos datos en un marco organizacional que tienen como objetivo lograr el entendimiento de la información [GARDELS]. Comúnmente, la información geográfica es considerada como la que proviene de los mapas, pero el concepto incluye cualquier tipo de información que pueda ser posicionado o relacionado con la tierra. Este tipo de información puede adquirirse de diferentes maneras: medidas directamente en la tierra, a través de tratamientos satelitales, con observaciones de cambios continuos, interpretadas de análisis de datos o con simulaciones.

La disponibilidad de los datos geográficos computarizados ha permitido cambiar la idea de como usar y entender la información de la tierra. El proceso de producción de los mapas, en términos tradicionales ha evolucionado hasta llegar a estos sistemas, que permiten a los usuarios una revisión directa de la información seleccionada. Los principios cartográficos han sido trasladados al proceso de automatización de la información geográfica como lo son los conceptos de abstracción, clasificación, delimitación e interpretación. Otros procesos tales como la proyección y la simbolización han tomado nuevas formas específicamente, los algoritmos de coordenadas y los atributos de las bases de datos respectivamente. De esta manera, los sistemas computarizados han automatizado los componentes de las hojas de mapas transformándolos con formas geométricas con etiquetas, nuevos enfoques en los que se considera el modelado de las condiciones reales del mundo, como por ejemplo, un área limitada asociada con su descripción.

Otros campos de la información geográfica también han evolucionado, por ejemplo, la adquisición de los datos. Los datos satelitales y las medidas directamente en el campo, son ahora adquiridos como datos digitales y las

fotos aéreas tradicionales han sido ampliamente explotadas usando nuevas tecnologías de digitalización (*scanners*). Aún la información que es considerada como no-geográfica, tales como reportes de una localización o videos de un evento, es frecuentemente incorporada en una base de datos de información geográfica.

El valor fundamental de los datos geográficos computarizados es la integración de tipos de datos y fuentes distintas. De hecho, el objetivo real de los SIG es proveer una estructura sistemática para el manejo de diversas y complejas colecciones de datos geográficos así como proveer herramientas y funciones para desplegar, consultar, realizar álgebra de mapas o simular los eventos que puedan ocasionar dichos datos [GARDELS].

#### **2.2.4. Modelo de datos**

El término modelo de datos surgió en el campo de la ciencia de la computación.

*... la definición original de modelo de datos se le atribuye a Date, quien en 1975 definió un modelo de datos como un conjunto de entidades y las relaciones existentes entre ellas [KEMP].*

*Un modelo de datos es un conjunto de directrices para la representación lógica de éstos en una base de datos, que consiste en los nombres de las unidades lógicas de los datos y de las relaciones entre ellos [MEGA96].*

Se pueden identificar tres modelos diferentes cuando se quiere trasladar la información desde el mundo real hasta un formato digital (ver figura 2.8). El modelo conceptual se refiere a entidades y sus relaciones; el modelo lógico, modela relaciones, redes y jerarquías; y el modelo físico, se refiere a las estructuras digitales usadas para organizar y almacenar los datos [KEMP].

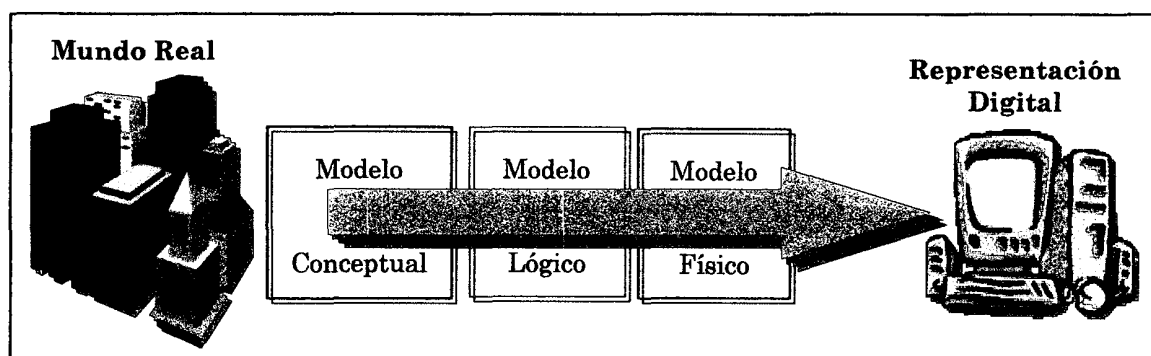


Figura 2.8: Transformación de datos reales a datos digitales

#### 2.2.4.1. Modelos de datos orientado por objeto

La orientación por objetos se fundamenta en una colección de conceptos e instrumentos de modelado o representaciones que se agrupan en torno a un lenguaje conceptual denominado el *modelo de datos*. Bajo este enfoque, un modelo de datos está compuesto por tres elementos [MONTILVA96]:

- **Constructos:** Usados para representar la estructura y el comportamiento de los componentes del dominio de aplicación del modelo. Hay básicamente cinco constructos de modelado en OxO: *objeto*, *clase*, *atributo*, *método* y *mensaje*.
- **Operaciones:** Usadas para representar las propiedades dinámicas del dominio de aplicación. Permiten al usuario definir, manipular y consultar datos y/o bases de conocimiento.
- **Reglas de modelado e integridad:** Regulan el uso de los conceptos, constructos y operaciones del modelo.

### 2.2.5. Modelo de datos espaciales

Un modelo de datos espaciales es una organización lógica de datos que representa entidades geográficas, las cuales están caracterizadas por [OJEDA94]:

- **Propiedades espaciales** tales como la localización en el espacio, dirección, forma, área, etc..
- **Relaciones espaciales** tales como vecindad, distancia, inclusión.

### 2.2.6. Modelo de datos geográficos

Existen dos tipos de modelos de datos para los objetos geográficos que se han usado con más frecuencia: el modelo raster y el modelo vectorial [MONTILVA94]. A continuación se muestra una breve descripción de cada uno de éstos modelos.

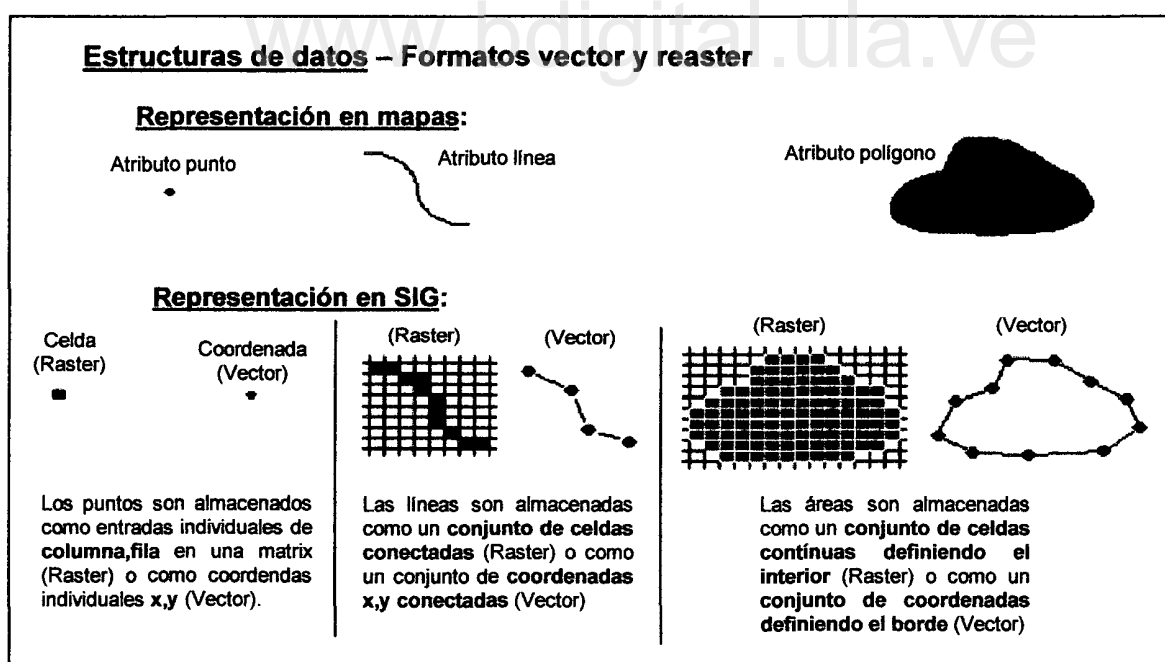


Figura 2.9: Modelo de datos geográficos. Tomado de [PRIMER]

### 2.2.6.1. Modelo Raster

El modelo raster representa los datos mediante conglomerados y secuencias de celdas. Una celda es un conjunto de *pixels* de igual forma y tamaño las cuales pueden ser rectangulares, triangulares o hexagonales, siendo las primeros las más usadas.

Este tipo de modelo captura implícitamente la forma y la topología de los datos pero la calidad de la representación está restringida al tamaño de la celda. Está basada en la codificación discreta de las coordenadas, las posiciones de los objetos no se establecen con exactitud y precisión, ya que siempre se aproximan a una posición entera [MONTILVA 94, BOSQUE92] (ver figura 2.9).

Este modelo es ventajoso ya que la superposición de las capas es relativamente fácil, partiendo del hecho de que todas son definidas con la misma malla sobre la misma región. El problema con este modelo se presenta cuando se quiere aumentar la resolución de la imagen, esto implica la disminución del tamaño de cada celda y por ende el aumento del volumen de datos; para lo cual se usan métodos de compresión de datos tales como *quadtrees* y la codificación *run-length*<sup>7</sup> los cuales hacen más lento el procesamiento.

Todas las imágenes y fotografías satelitales y aéreas vienen dadas en formato raster. Cada uno de los pixels representa la cantidad de luz recibida por el sensor a un ancho de banda en una localización particular. Este modelo es el más usado para representar variables que cambian continuamente en el espacio tales como la elevación [REYNOLDS].

**GRASS** e **IDRISI** son programas de aplicación para manejo de SIG que usan este modelo de almacenamiento de datos.

---

<sup>7</sup> Ver [BOSQUE92].

### 2.2.6.2. Modelo Vectorial

Todos los objetos geográficos son descritos en términos de objetos geométricos: punto, línea, polígonos para objetos en 2D, además de volúmenes cuando se representan objetos en tres dimensiones (ver figura 2.9). Todas las entidades similares son agrupadas y almacenadas juntas en diferentes capas.

Con este modelo se tiene más precisión ya que se puede definir con exactitud el contorno de la extensión geométrica de una región determinada; pero presenta el problema de que la topología entre los objetos debe ser explícitamente determinada, además de que los archivos de almacenamiento tienen una estructura de enlace un poco más complicada.

Actualmente los programas de aplicación basados en este modelo, tales como *Arc/Info*, *ArcView* y *MapInfo* son ampliamente usados en el campo de la cartografía digital, análisis de redes de servicios, bases de datos municipales con manejo catastrales, organización y planificación urbanística, etc.. Debido a que la cartografía básica utilizada en esta tesis se encuentra en una librería de *ArcInfo*, el *software* usado para la implementación del prototipo es el *ArcView* el cual es compatible con el primero. Por esta razón, a continuación se describe las estructuras que sirven de base para el modelo que se emplea.

En este proyecto la representación vectorial de la información espacial es usada para modelar el almacenamiento de los datos geográficos, ya que permite representar de modo explícito la frontera, límite o perímetro que separa el objeto del entorno. Los datos pueden ser almacenados en distintas estructuras tales como en una lista de coordenadas, en un diccionario de vértices, en una organización DIME<sup>8</sup> o una estructura arco/nodo.

Para esta tesis en particular, se escoge el modelo de datos vectorial específicamente la estructura *arco/nodo* ya que la base cartográfica usada está

---

<sup>8</sup> Tipo de archivos pioneros en las representaciones vectoriales. Su utilidad principal es la de representar polígono, hacen muy fácil la representación de información espacial de hechos geográficos artificiales tales como límites administrativos o linderos de parcelas.

almacenada con dicha estructura. Esta estructura tiene como elemento base una cadena o *arco* formado por una sucesión de segmentos rectos; y el *nodo*, el cual es cada uno de los vértices en que se cruzan dos o más arcos o es el punto inicial o terminal de una línea o arco. En esta estructura, los polígonos se codifican indicando los arcos que lo rodean, a su vez los arcos se registran indicando su nodo de salida, el nodo de llegada, el polígono a la derecha y el polígono a la izquierda. Finalmente se recogen las coordenadas de los puntos, tanto nodos como vértices normales. Para facilitar la búsqueda de polígonos, la información de los arcos se organiza de modo que todos los que conforman uno de ellos estén contiguos en un archivo [BOSQUE92].

A manera de ilustración, en la figura 2.10, se muestra un ejemplo sencillo de una estructura de almacenamiento arco/nodo y las tablas 2.4, 2.5 y 2.6 muestran las estructuras de almacenamiento de los arcos, polígonos y puntos respectivamente.

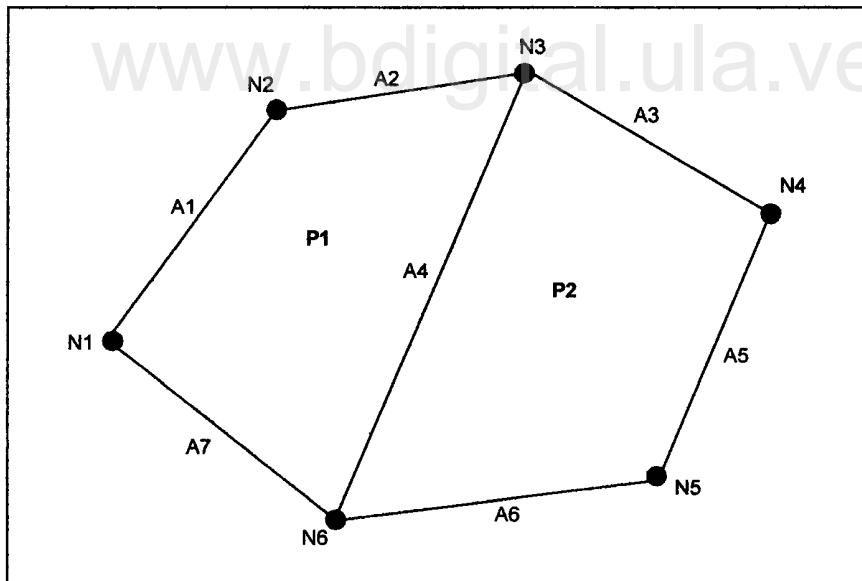


Figura 2.10: Estructura de datos vectorial arco/nodo

ARCO	NODO ORIGEN	NODO FINAL	POLÍGONO DERECHO	POLÍGONO IZQUIERDO
1	1	2	1	Exterior
2	2	3	1	Exterior
3	3	4	2	Exterior
4	4	6	2	1
5	5	5	2	Exterior
6	6	6	2	Exterior
7	7	1	1	Exterior

Tabla 2.4: Topología de arcos

POLÍGONOS	ARCOS
1	1,2,4,7
2	4,3,5,6

Tabla 2.5: Topología de polígonos

NODOS	ARCOS
1	1,7
2	1,2
3	2,3,4
4	3,5
5	5,6
6	4,6,7

Tabla 2.6: Topología de nodos

www.bdigital.ula.ve

### 2.3. Los SIG en el área de desastres naturales

En el área de mitigación y prevención ante la ocurrencia de desastres naturales, según la Organización Mundial de la Salud [SALUD94], los SIG facilitan el manejo de los datos. Estos permiten una flexibilidad e incorporación inmediata de la información proveniente de las fotografías aéreas e imágenes de satélites lo cual es un factor primordial, ya que en lugar de consumir muchas horas de trabajo en el dibujo de mapas, corregir imprecisiones y actualizando los datos, la versatilidad de los SIG hace posible efectuar estas operaciones en un tiempo muy breve.

La solución a muchos problemas frecuentemente requiere acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionadas por geografía. Sólo la tecnología de SIG permite almacenar y manipular información usando geografía y para analizar patrones, relaciones, y tendencias en la información, para ayudar a tomar mejores decisiones.

Cuando se considera el impacto de un desastre, ya sea natural o antrópico, como un terremoto por ejemplo, necesita analizarse información geológica y sísmica, y luego relacionarse con detalles sobre la población, propiedades e infraestructura que han sido o pueden ser afectadas.

En el campo de los desastres naturales, se han desarrollado varias aplicaciones de SIG. En [LANNUZZI97] se mencionan algunos entre los cuales están:

- Un modelo para el análisis de amenaza a deslizamientos a priori de áreas extensas, presentado en 1992 por Mora S. (citado en [LANNUZZI97]), donde utiliza indicadores morfodinámicos de dos tipos:

*Indicadores de susceptibilidad*, que se refiere al relieve, las condiciones litológicas<sup>9</sup> y la humedad natural del suelo.

---

<sup>9</sup> Se refiere a condiciones específicas de la composición de las rocas.

*Indicadores de activación*, referida a las intensidades sísmicas y de lluvias las cuales son específicas para éste modelo en particular.

En este modelo cada factor define un índice de influencia para determinado sitio y al combinarse de acuerdo a un peso ponderado se puede obtener el valor relativo de la amenaza. En este caso, el autor usó un SIG raster, específicamente IDRISI.

- Otro modelo fué presentado en 1992 por Simoes M. (citado en [LANNUZZI97]), quien presenta un modelo para la zonificación de amenaza a movimientos de masa. En este trabajo se indica que el proceso de modelado de movimiento de masa requiere la acción de tres parámetros en forma simultánea: la pendiente, geología y geotécnica del terreno en cuestión.
- El propio trabajo de [LANNUZZI97] es una referencia de trabajos en el áreas de SIG dedicados a desastres naturales. Este SIG se desarrolló con una base de datos espacial orientada a la gestión y administración de desastres naturales en la ciudad de Mérida. El SIG genera un escenario sísmico de Mérida y está enmarcado en los dos modelos anteriores.

Aunque el objetivo fundamental de esta tesis es el modelo espacial para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales ME-DESNA, también se implementa un prototipo operativo SIG, aplicando el modelo ME-DESNA, cuyo objetivo es la determinación de áreas de la ciudad de Mérida más o menos (medidas en una escala de vulnerabilidad) susceptibles a la ocurrencia de un sismo.

## Capítulo 3: Marco teórico – Técnicas de software utilizadas

---

Un enfoque que ha demostrado ser particularmente útil en el diseño y modelado de Sistemas de Información Geográfica es la *orientación por objetos*. Este enfoque usa un conjunto de disciplinas de modelado y desarrollo, que facilitan la conceptualización y construcción de sistemas complejos partiendo de sus componentes individuales tomados como objetos, que son los componentes básicos del enfoque mismo. En el campo de los SIGs, un objeto, denominado objeto espacial, es un tipo particular de objeto en el que se distinguen propiedades geométricas y relaciones topológicas de la entidad que dicho objeto denota [KHOSHAFIAN90, MONTILVA94].

Para lograr el objetivo general de éste proyecto, obtener un modelo para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales, se aplicaron las técnicas y métodos de modelado del enfoque de orientación por objeto.

En la elaboración de todos los esquemas o modelos que sirven de base para lograr los objetivos de este trabajo de investigación, se usó el **Lenguaje de Modelado Unificado - UML** (*Unified Modeling Language*) un lenguaje de modelado, que se ha convertido en un estándar para el desarrollo de *software* orientado por objetos.

Ya que la metodología para la implementación de SIG **MEDSIG-OO** no ha sido ampliamente probada, se aplicó al diseño e implementación del prototipo, sistema donde se enmarca el modelo obtenido, con el fin de evaluarla.

Para la implementación del prototipo se usa el manejador de SIG **ArcView**, ya que la base cartográfica usada se encuentra en un sistema compatible con éste (*ArcInfo*), además de ser un sistema con una interfaz mucho más accesible a usuarios principiantes a quienes está orientado dicho prototipo. Para algunas funciones programadas del sistema se usa **Avenue** ya que éste es el lenguaje natural de *ArcView*, además tiene la ventaja de ser un lenguaje orientado a objeto

permitiendo la transformación directa de algunas clases del modelo a código implementable, siempre y cuando el mismo lenguaje lo permita.

A continuación se presenta una breve descripción de éstas metodologías.

### 3.1. Orientación por Objetos: OxO

La orientación por objetos es un enfoque de diseño y desarrollo de sistemas basado en el hecho de que:

*"una entidad de cualquier estructura y complejidad puede ser representada por exactamente un objeto, y cada uno de los objetos es una entidad de programación simple que combina datos y procedimientos o funciones que operan sobre dicha entidad."* [GONG89]

Otras definiciones más recientes definen la orientación por objetos de la siguiente manera:

*"Modelado y disciplinas de desarrollo de software que hacen fácil la construcción de sistemas complejos partiendo de componentes individuales. Provee mejores conceptos y herramientas con los cuales se puede modelar y representar el mundo real lo más acertado posible y además; permite una representación más directa del mundo real en el código, ya que la transformación radical de los requerimientos del sistema (definidos en términos del usuario) a las especificaciones del sistema (definidas en términos computacionales) son muy reducidas."* [KHOSHAFIAN90]

*"Es una tecnología de software que permite representar el dominio de una aplicación en una forma natural y directa, en términos de los objetos que intervienen en ella."* [MONTILVA96]

Un esquema de representación orientado por objeto tiene las siguientes ventajas sobre los esquemas convencionales para la representación de conocimiento:

- Los sistemas desarrollados bajo este enfoque pueden ser mantenidos con facilidad, ya que por ser los objetos entidades independientes, se pueden realizar cambios (agregar, modificar o eliminar alguno de ellos) sobre éstos, sin afectar a los otros objetos del sistema.
- Es un enfoque flexible que da la posibilidad de modelar objetos y sus relaciones asociadas con la selección de símbolos de conocimiento a través de las relaciones mixtas "es\_un", "tiene\_un"; mensajes entre clases y una jerarquía de clases relevantes.
- A través de los conceptos de clase y herencia (generalización - especialización), se evita la redundancia de definiciones para objetos con propiedades (atributos) y comportamiento (métodos) similar. Así, el conocimiento puede ser representado en una forma abstracta en la cual los objetos con las mismas propiedades y comportamientos son definidos en una misma clase; y las características comunes en una clase relacionada son generalizadas en una superclase (o especializadas en una subclase).
- Soporta la modularidad y la reusabilidad a través del encapsulamiento, ya que el desarrollo de un sistema puede ser iniciado desde un dominio limitado y gradualmente extendido con una estrategia de inteligencia amplificada. En un esquema OxO se puede asegurar la modularidad que relaciona reglas, procedimiento y rutinas externas, lo cual es altamente deseable para integrar uniformemente el conocimiento declarativo basado en procedimientos, ya que tanto las reglas como los procedimientos pueden ser definidos como métodos de una clase.

La desventaja de la OxO, según [SOMERVILLE92], es que para los diseñadores que están acostumbrados al paradigma funcional, es difícil la identificación de los objetos apropiados y por ende, el establecimiento de la estructura y el comportamiento de los mismos.

### 3.2. Lenguaje de Modelaje Unificado: UML

El Lenguaje de Modelado Unificado (UML - *Unified Modeling Language*) es un lenguaje de modelado visual de propósito general que está diseñado para especificar, visualizar, construir y documentar el funcionamiento de un sistema de *software*. Este lenguaje es simple y poderoso y está basado en un núcleo de conceptos de desarrollo de orientación por objetos. Este núcleo puede ser combinado y extendido de manera tal, que los usuarios pueden definir cualquier sistema sin importar las dimensiones ni la complejidad en un amplio rango de dominios.

Para 1993 existían varias notaciones de orientación por objetos: *Booch*, *Fusion*, *OMT*, *OOSE*, *Coad-Yourdon* y otras; de las cuales OMT y Booch eran las más populares. En 1994, se crea la organización Booch-Relational entre Grady Booch y James Rumbaugh quienes comienzan a trabajar en el entonces llamado Método Unificado. Este método estaba basado en:

- **De OMT:**

La aceptabilidad de la simbología, la riqueza de anotaciones para análisis y modelos de fácil diseño y la credibilidad de los administradores y las comunidades económicas.

- **De Booch:**

La tecnología y el diseño, la riqueza de anotaciones para detallar los modelos y la credibilidad de los científicos y las comunidades técnicas.

Luego para 1995, Ivar Jacobson se une a la organización contribuyendo con su propio método de Ingeniería de Software OxO, el cual incluye dos técnicas que muchos consideran cruciales para la generación de métodos OxO: los casos de uso y el modelado de interacción de objetos. Partiendo de esto, el Método Unificado fué renombrado a UML que fué liberado en Junio – Octubre de 1996.

Muchos otros colaboradores, entre ellos HP, IntelliCorp, IBM, Oracle, Microsoft, TI, Relational Software, ICON Computing, Unisys y otros, han trabajado en

conjunto para agregar más unificación y más contenido al lenguaje de modelado de manera tal, que pueda asegurarse escalabilidad, concurrencia, distribución, reuso de componentes y formalidad.

En general, UML fué creado con el fin de:

- Proveer a los usuarios un lenguaje de modelado visual expresivo con el que puedan desarrollar y extender modelos significativos.
- Modelar sistemas completos, y no solo el software, usando conceptos de OoO.
- Proveer mecanismos de especificación para la extensión del núcleo de conceptos OoO.
- Ser independiente de los lenguajes de programación y los procesos de desarrollo.
- Proveer bases formales para el entendimiento del lenguaje de modelado.
- Soportar conceptos de desarrollo de alto nivel tales como colaboraciones, marcos, patrones y componentes.
- Crear un lenguaje de modelado que pueda ser usado en todas las etapas de la Ingeniería de *Software*, desde el diseño hasta la implementación.

La especificación de UML consiste de dos partes interrelacionadas entre si:

- **Semántica:** Es un metamodelo que especifica la sintáxis abstracta y la semántica de los conceptos de modelado de UML.
- **Notación:** Es una notación gráfica para la representación visual de la semántica.

La sintáxis abstracta para la semántica de UML es expresada usando un subconjunto de la notación de UML. Además, la notación describe la transformación de la notación gráfica a los lineamientos semánticos. De esta manera, las dos partes son complementarias una de la otra sin duplicar las funcionalidades de cada una.

A continuación se describe, brevemente, lo fundamental de cada una de estas partes del lenguaje.

### 3.2.1. UML – Semántica

La arquitectura de UML está basada en una estructura de cuatro niveles, la cual consiste de las siguientes capas: *un meta-metamodelo* que define el lenguaje para la especificación de metamodelos al más alto nivel de abstracción; *un metamodelo* que es una instancia del meta-metamodelo y define el lenguaje para especificar el modelo, típicamente son más elaborados que el meta-metamodelo que describen especialmente cuando ellos definen semánticas dinámicas; *un modelo* que es una instancia del metamodelo y define el lenguaje para describir el dominio de información; por último están *los objetos o datos del usuario* que son instancias de las clases del modelo y definen un dominio de información específico.

El metamodelo UML es un modelo lógico que está descrito por una combinación de notaciones gráficas, un lenguaje natural y un lenguaje formal. La ventaja de este es que enfatiza la semántica declarativa y elimina los detalles de la implementación. La desventaja de este metamodelo es que bloquea la semántica imperativa requerida para asegurar una implementación eficiente.

### 3.2.2. UML – Notación

Muchos de los diagramas y algunos de los símbolos complejos de la notación UML son nodos conectados por arcos, es decir, grafos. Existen tres tipos de relaciones visuales importantes: conexiones (usualmente líneas a formas bidimensionales), contenedores (símbolos bidimensionales con bordes) y anexos visuales (un símbolo diagramado muy cerca de otro).

El lenguaje consta de una serie de diagramas. Estos son [UML1]:

- **Diagrama de Estructura Estática:** Muestra el conjunto de clases y objetos importantes que hacen el sistema, junto con las relaciones existentes entre ellos. Muestra de una manera estática la estructura del sistema y la visibilidad que tiene cada una de las clases, dada por sus relaciones con las demás clases del sistema.
- **Diagrama de Casos de Usos:** Muestra las distintas operaciones que se esperan de la aplicación y como se relacionan con su entorno, que pueden ser los usuarios u otras aplicaciones.
- **Diagrama de Secuencias:** Muestra la interacción de un conjunto de objetos en una aplicación a través del tiempo. Esta descripción detalla los casos de uso, aclarándolos a nivel de mensajes de los objetos existentes, como también muestra el uso de los mensajes de las clases diseñadas en el contexto de una operación.
- **Diagrama de Colaboración:** Representa la interacción entre los objetos. Se diferencia del diagrama de secuencia por mostrar el contexto de la operación (cuales objetos son atributos, cuales son temporales, etc.) y ciclos en la ejecución.
- **Diagrama de Estados:** Muestra el conjunto de estados por los cuales pasa un objeto durante su vida en la aplicación y especifica los cambios o transiciones que hacen que el objeto cambie su estado.
- **Diagrama de Actividades:** Es un caso especial del diagrama de estados en el cual casi todos los estados son de acción (identifica que acción se ejecuta al estar en él) y casi todas las transiciones son enviadas al terminar la acción ejecutada en el estado anterior. Detalla un caso de uso, un objeto o un mensaje en un objeto. Representa transiciones internas, sin hacer mucho énfasis en transiciones o eventos externos.

- **Diagrama de Implementación:** Muestra la estructura del código. Está compuesto por dos diagramas:
  - **Diagrama de Componentes:** muestra las dependencias lógicas entre los componentes de *software* (archivos fuentes, binarios o ejecutables). Estos componentes son clasificados dependiendo si son útiles en tiempo de compilación, enlace o ejecución.
  - **Diagrama de Ejecución:** muestra la configuración de los elementos de procesamiento en tiempo de ejecución y los componentes de *software*, procesos y objetos que se ejecutan en ellos. Las instancias de los componentes de *software* representan manifestaciones en tiempo de ejecución de código. Los componentes utilizados en tiempo de compilación son especificados en el diagrama de componentes.

En el Apéndice B se muestra un resumen de la notación de los diagramas UML.

www.bdigital.ula.ve

### 3.3. MEDSIG-OO: metodología para el desarrollo de SIG

La metodología MEDSIG-OO es un método orientado por objetos para el diseño de SIG. Este método fué desarrollado en 1997 por el Grupo de Ingeniería de Datos y Conocimiento GIDyC de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes [MONTILVA97].

El método MEDSIG-OO surge con el fin de cubrir la necesidad del manejo de datos espaciales y de integrar datos alfanuméricos, gráficos e imágenes a los métodos de desarrollo de sistemas de información comunes y a los métodos dedicados al diseño de SIG, que para entonces no cubrían dichos requerimientos.

Este método está dividido en cuatro fases principales y éstas su vez están compuestas de pasos las cuales se describen a continuación (ver figura 3.1):

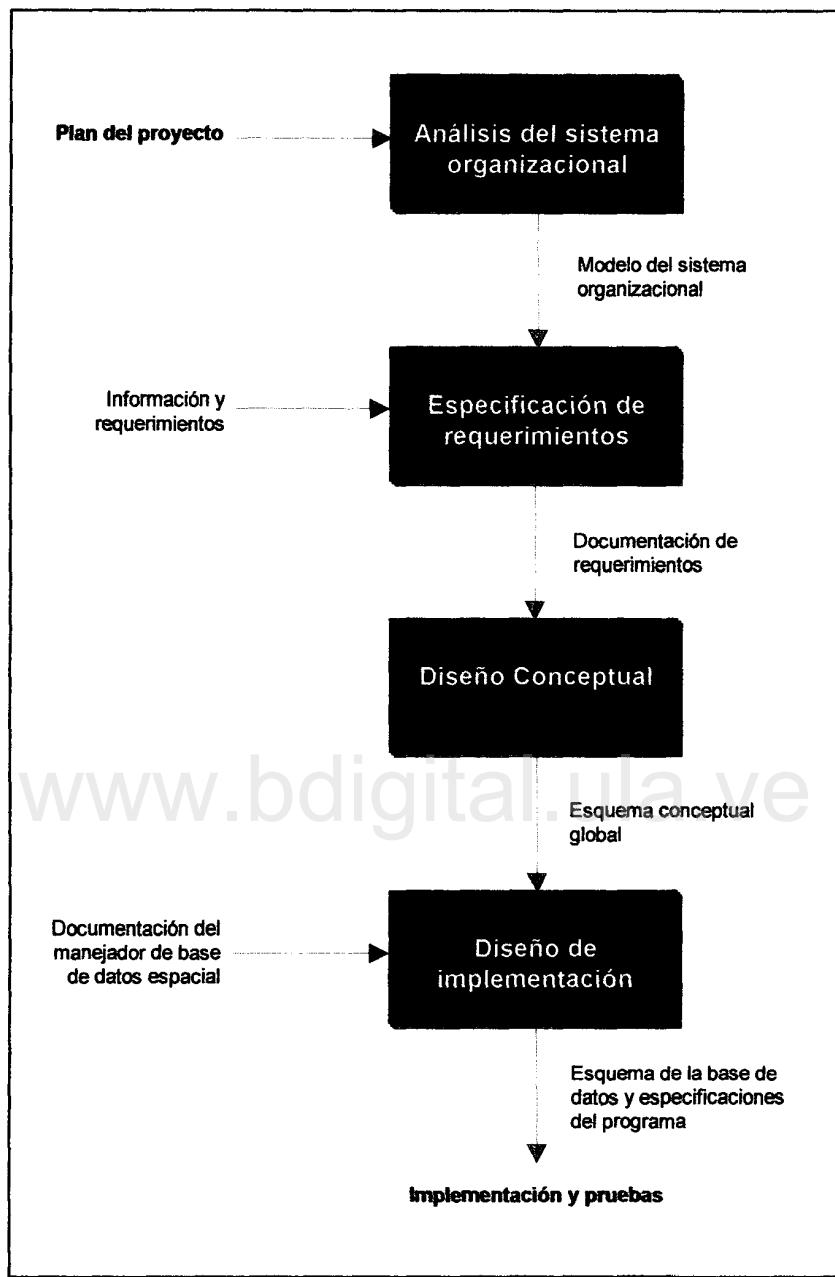


Figura 3.1: Fases del método MEDSIG-OO. Adaptado de [MONTILVA97]

- **Fase 1: Análisis del Sistema Organizacional.** Es la fase dedicada al entendimiento del contexto en el que operará el sistema. Para conocer el sistema organizacional se deben especificar sus objetivos, sus actores, sus procesos, sus entidades y sus eventos; además, se debe especificar también el dominio de aplicación geográfica. Tiene como entrada principal la documentación y el conocimiento de los usuarios referido al sistema organizacional. El producto de esta fase es un modelo del sistema que describe los componentes del sistema organizacional.
  - **Paso 1.1: Definición del sistema organizacional.** Comprende la identificación del sistema organizacional, la definición de sus objetivos y la delimitación del dominio geográfico de aplicación.
  - **Paso 1.2: Modelado de los procesos del sistema organizacional.** Generalmente, los procesos son organizados en una estructura compleja que puede ser modelada usando un proceso de descomposición funcional jerárquica, cuyo resultado es un grafo dirigido acíclico donde raíz es la función principal de la organización.
  - **Paso 1.3: Determinación de actores.** Son las personas que están involucradas en la ejecución de procesos del sistema organizacional y pueden ser externos o internos. Muchos de ellos pueden ser los operadores del SIG.
  - **Paso 1.4: Identificación de los principales tipos de entidades.** Una entidad es un objeto concreto o abstracto de interés al sistema organizacional. Las entidades tienen propiedades y son agrupadas o clasificadas, según sus propiedades comunes, en tipos o clases de entidades.
  - **Paso 1.5: Establecimiento de eventos.** Es cualquier acción o accidente que ocurre dentro o fuera del sistema organizacional. Los eventos son los responsables de la ejecución de los procesos y pueden cambiar el estado de una entidad.

- **Fase 2: Especificación de requerimientos.** En esta fase se determina las operaciones deseadas del SIG tales como: análisis espaciales o composiciones cartográficas.
  
- **Fase 3: Diseño conceptual.** En esta fase se especifican los esquemas de integración de las bases de datos y los programas y procedimientos requeridos para el análisis espacial y el modelado y las composiciones cartográficas requeridas. Para el modelado de esquemas, se usa cualquier notación de modelado orientado por objeto. Para objeto de esta tesis se usa UML, por ejemplo.
  - **Paso 3.1: Diseño de los esquemas conceptuales parciales.** De la especificación de procesos del paso 1.2 de la fase 1, se construye un esquema conceptual de cada uno de los procesos principales del sistema organizacional.
  
  - **Paso 3.2: Preintegración.** Los esquemas conceptuales parciales son integrados dependiendo de la complejidad de la estructura jerárquica de los procesos. Si existen más de tres esquemas parciales se debe establecer un orden de integración. Las diferencias estructurales y semánticas entre los esquemas deben ser identificadas antes de la integración de los mismos.
  
  - **Paso 3.3: Proceso de integración de los esquemas conceptuales.** Los esquemas conceptuales son integrados en este paso siguiendo el orden definido en el paso anterior.
  
  - **Paso 3.4: Verificación del esquema conceptual.** El esquema conceptual general se verifica siguiendo la información de requerimientos de la fase 2. Consiste en determinar si el esquema contiene todos los datos necesarios para producir cada uno de los requerimientos de información.
  
- **Fase 4: Diseño de implementación.** Es la traducción de los esquemas conceptuales, obtenidos en la fase anterior, a esquemas implementables

basados en el modelo de datos con el que funciona el manejador de base de datos espaciales elegido para la implementación del SIG.

- **Paso 4.1: Conversión del esquema conceptual global a un esquema de implementación.** Cada constructo usado en el modelo de objeto es convertido a un constructo propio del modelo del lenguaje que será utilizado.
  
- **Paso 4.2: Diseño de programas y procedimientos.** Se especifican programas y/o procedimientos para aquellos requerimientos de análisis espacial, digitalización espacial o producción cartográfica demasiado complejos para ser ejecutados por operaciones simples del manejador de base de datos.
  
- **Paso 4.3: Verificación del diseño de implementación.** El diseño de implementación final debe ser verificado usando los requerimientos de la fase 2. Puede haber interacción entre las fases 2 – 4 para incorporar nuevos requerimientos antes de proceder a la implementación y las pruebas.

## Capítulo 4: Modelo espacial para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales

---

El *Modelo Espacial para la Determinación de áreas Susceptibles a Desastres Naturales* (ME-DESNA) es un modelo de datos estándar. Con este modelo se desea proveer una herramienta para el diseño de SIG, cuyo objetivo sea la generación de mapas, ya sean de tipo analógico o digital, en los que se reflejen áreas que puedan estar en estado de emergencia ante la incidencia de algún desastre natural o antrópico.

Este modelo está fundamentado en el paradigma de la orientación por objeto, en el modelo de datos vectoriales y la estructuración del modelo de datos del Sistema Arc/View señalada en [AVENUE96 y ARCVIEW96].

En este capítulo se presenta las especificaciones del modelo ME-DESNA el cual surge de transformaciones hechas al modelo de datos espaciales presentado en [OJEDA96]. Primero, se muestra la migración del modelo de [OJEDA96] de OMT<sup>1</sup> a UML; segundo, se hace una breve descripción del modelo relacional y se modelan los conceptos relacionales de almacenamiento; luego, se modelan las modificaciones hechas al modelo [OJEDA96]; y por último, se hace la integración de todas las partes modeladas.

### 4.1. Un modelo espacial para SIG

Como base para el diseño del modelo aquí propuesto, se usó el modelo de datos espaciales presentado en [OJEDA96]. En este modelo se presenta la unidad de información cartográfica fundamental la cual, de manera tangible, está

---

<sup>1</sup> Es una técnica de modelado de objetos que está basada en una notación gráfica orientada por objetos

representada por un mapa. Este modelo, cuya versión en [OJEDA96] está presentado con la metodología OMT, fué migrado a UML de manera tal de homogeneizar los esquemas de modelado. El diagrama estático de objetos de este modelo se muestra en la figura 4.1, mientras que todos los atributos y métodos de las clases están descritos en [OJEDA96] y en [CHÁVEZ96].

En este trabajo se usan sólo diagramas estáticos para el diseño del modelo, ya que éste es el objetivo general de esta tesis, obtener un modelo genérico que pueda aplicarse a cualquier caso de desastre natural que pueda ocasionar una emergencia.

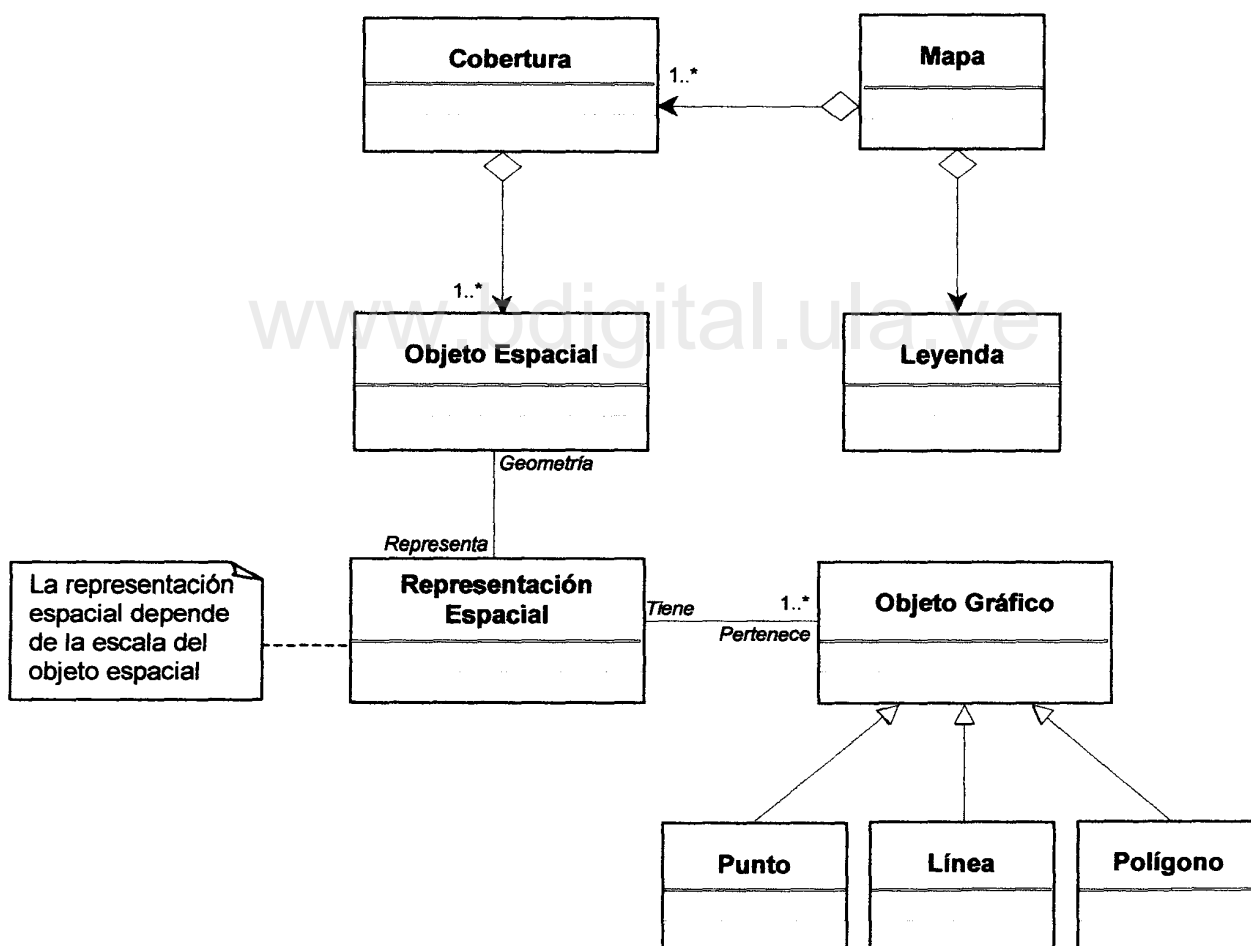


Figura 4.1: Modelo de datos espaciales para la generación de mapas

Partiendo del hecho de que el SIG que se quiera generar usando este modelo, sea usado para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales, entonces se toma como elemento fundamental del modelo la clase *Mapa*, la cual es el comienzo de la modificación del modelo [OJEDA96]. Esta consideración se hace ya que si se quiere determinar qué áreas pueden ser afectadas ante la ocurrencia de un desastre natural, la mejor herramienta es un mapa.

El punto crítico de la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales, es en realidad la determinación de áreas que tengan cierto grado de riesgo o vulnerabilidad ante la presencia de ciertas condiciones y/o efectos, ya sean naturales (meteorológicas, geológicas, geográficas, etc.) o antrópicas (producidos por el hombre).

Por esta razón, y en base a la característica determinística de los SIG, que es el enlace de bases de datos cartográficos y bases de datos descriptivos, se agrega al modelo [OJEDA96] la parte de almacenamiento descriptivo o temático asociado a los datos cartográficos, de ésta manera se pueden visualizar con especificaciones geográficas propias.

## 4.2. Modelado de bases de datos relacionales a OO

Aunque las bases de datos OO están tomando auge, todavía los SIG comerciales, por ejemplo Arc/Info o ArcView, usan las bases de datos relacionales para el modelado e implementación de las bases de datos descriptivas.

En este trabajo, para la implementación del ME-DESNA se usa el enfoque de bases de datos relacionales, sin embargo se ha complementado el modelo agregando constructos OO que modelan la estructura de las tablas relacionales.

A continuación se hace una breve definición y especificación del modelo relacional y seguidamente se hace la especificación de los constructos de almacenamiento en UML.

#### 4.2.1. Modelo de datos relacional: Definición

El concepto matemático fundamental del modelo relacional, según [ULLMAN80], es el conjunto teórico *relación*, el cual es el producto cartesiano de una lista de dominios.

Un *dominio*  $D$  es simplemente un conjunto de valores como por ejemplo los números reales, el alfabeto, el conjunto  $\{0,1\}$  entre otros.

El producto cartesiano  $D_1, D_2, \dots, D_k$ , escrito como  $D_1 \times D_2 \times \dots \times D_k$ , es el conjunto de todas las  $k$ -tuplas  $(v_1, v_2, \dots, v_k)$  tal que  $v_1$  está en  $D_1$ ,  $v_2$  en  $D_2$  y así sucesivamente. Por ejemplo, si  $k=2$ ,  $D_1=\{0,1\}$  y  $D_2=\{a,b,c\}$ , entonces  $D_1 \times D_2$  es  $\{(0,a), (0,b), (0,c), (1,a), (1,b), (1,c)\}$ .

Una *relación* es un subconjunto definido del producto cartesiano de uno o más dominios, así del ejemplo anterior  $\{(0,a), (0,b), (0,c)\}$  es una relación.

Los miembros de una relación son llamados *tuplas* o *registros*. Una tupla  $(v_1, v_2, \dots, v_k)$  tiene  $k$  *componentes* donde el componente  $i_n$  es  $v_n$ .

Las columnas son también llamadas atributos.

Una relación puede ser vista como una *tabla* donde cada fila es una tupla y cada columna corresponde a un componente.

La tabla 4.1 muestra un ejemplo de una relación, en ella se especifica una relación cuyos atributos son Capital, Estado y Población y donde el conjunto (Mérida, Mérida, 500.000) por ejemplo, es una tupla.

CAPITAL	ESTADO	POBLACIÓN
San Cristóbal	Táchira	600.000
Mérida	Mérida	500.000
Trujillo	Trujillo	475.000

Tabla 4.1: Ejemplo de una relación

## 4.2.2. Constructos del modelo de almacenamiento relacional

Para el modelado orientado por objeto de los constructos fundamentales del modelo relacional se toman los conceptos fundamentales: atributo el cual es denominado *campo* para no confundirlo con los atributos del modelo OO, *registro* y *tabla*.

### 4.2.2.1. Clase Campo

La clase *Campo* es la clase básica de almacenamiento de los datos. Por definición, todos los objetos de ésta clase tienen un *nombre* que identifica el campo, el *tipo* de dato que almacenan y el *valor* del campo (ver figura 4.2).

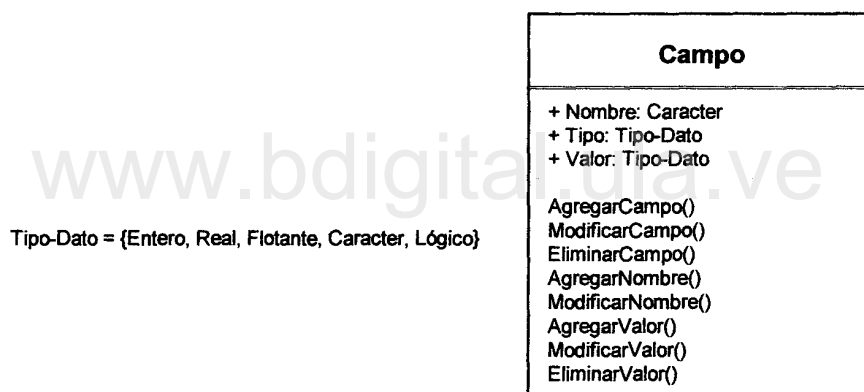


Figura 4.2: Clase Campo

### 4.2.2.2. Clase Registro

La clase *Registro* es una clase compuesta de objetos de la clase *Campo* (ver figura 4.3). La existencia de un objeto de la clase *Registro* es dependiente de la existencia de al menos un objeto de la clase *Campo*.

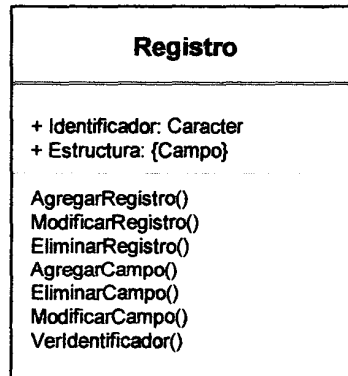


Figura 4.3: Clase Registro

#### 4.2.2.3. Clase Tabla

La clase *Tabla* es el constructo principal de este modelo. Por definición, todos los objetos tienen un *nombre* que identifica la tabla y al menos un *campo* como condición para estar definida (ver figura 4.4). También está compuesta de objetos de la clase *Registro*, pero puede no contener ninguno (caso en que la tabla está vacía).

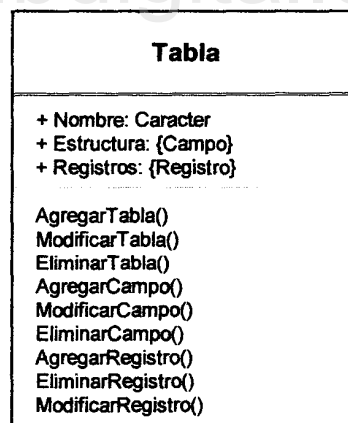
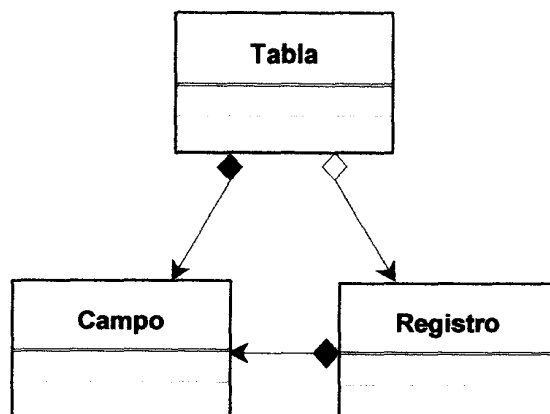


Figura 4.4: Clase Tabla

En la figura 4.5, se muestran las relaciones existentes entre los tres constructos principales de una tabla relacional y se interpreta de la siguiente manera:



**Figura 4.5: Modelado OO de tablas relacionales**

Una *tabla* está compuesta por *al menos un campo* y debe existir el campo para poder definir la tabla (relación de dependencia); y por *cero (tabla vacía) o más registros* los cuales también dependen de los campos.

Hay que destacar que el diseño para el prototipo, está basado en el modelo relacional, ya que este es el modelo que sigue ArcView.

### 4.3. Modificación del modelo espacial para SIG

Para que un área sea afectada por cualquier desastre natural, debe presentar ciertas características, como por ejemplo la pendiente, la infraestructura asentada sobre el área, el grado de consolidación de la tierra, la composición del suelo, la hidrografía, etc., que son las que determinan el grado de vulnerabilidad de la misma. Por tanto, es necesario especificar ciertos patrones para seleccionar cuál área es susceptible a un determinado desastre, tomando en cuenta, además, ciertas condiciones externas a la constitución de la tierra, tales como condiciones meteorológicas o efectos directos de la acción del hombre.

Para obtener el ME-DESNA partiendo del modelo propuesto en [OJEDA96] cuyo diagrama estático de clases es mostrado en la figura 4.1, es determinante el uso de la clase *Mapa*.

Si se considera la clase *Cobertura* sólo para determinar los objetos cartográficos, entonces, para considerar el atributo determinístico de los SIG, se agrega la clase *Tabla* como un componente más de *Mapa* y que a su vez, describe los atributos de cada una de las *coberturas* involucradas. De esta manera, los *mapas* están compuestos de una o más *coberturas*, las cuales almacenan los datos referidos a los fenómenos cartográficos; una o más *tablas* que pueden ser de tipo *Descriptiva* o *Cartográfica*; y una *leyenda*. El modelo es completado con una clase *Patrón* que especifica las condiciones que debe tener una determinada área para ser susceptible al desastre natural.

En la siguiente sección se especifica cada una de las nuevas clases que modifican el modelo espacial para SIG y en la figura 4.6, se pueden observar las relaciones entre las clases involucradas. Este modelo se interpreta de la siguiente manera:

Un *Mapa* está compuesto de una *Leyenda*, una o muchas *Coberturas* y una o muchas *Tablas*. Las *Tablas* pueden ser del tipo *Descriptivas* o *Cartográficas*, las cuales están asociadas con una relación de descripción y representación respectivamente. Los datos no espaciales de las *Coberturas* son almacenadas en tablas tipo *Cartográficas* las cuales describen las *Coberturas*. La tabla *Patrón* es un tipo de tabla *Descriptiva* que selecciona de las tablas *Descriptivas* aquellas *Coberturas* que coinciden con los atributos de la primera, lo cual se representa en el *Mapa*.

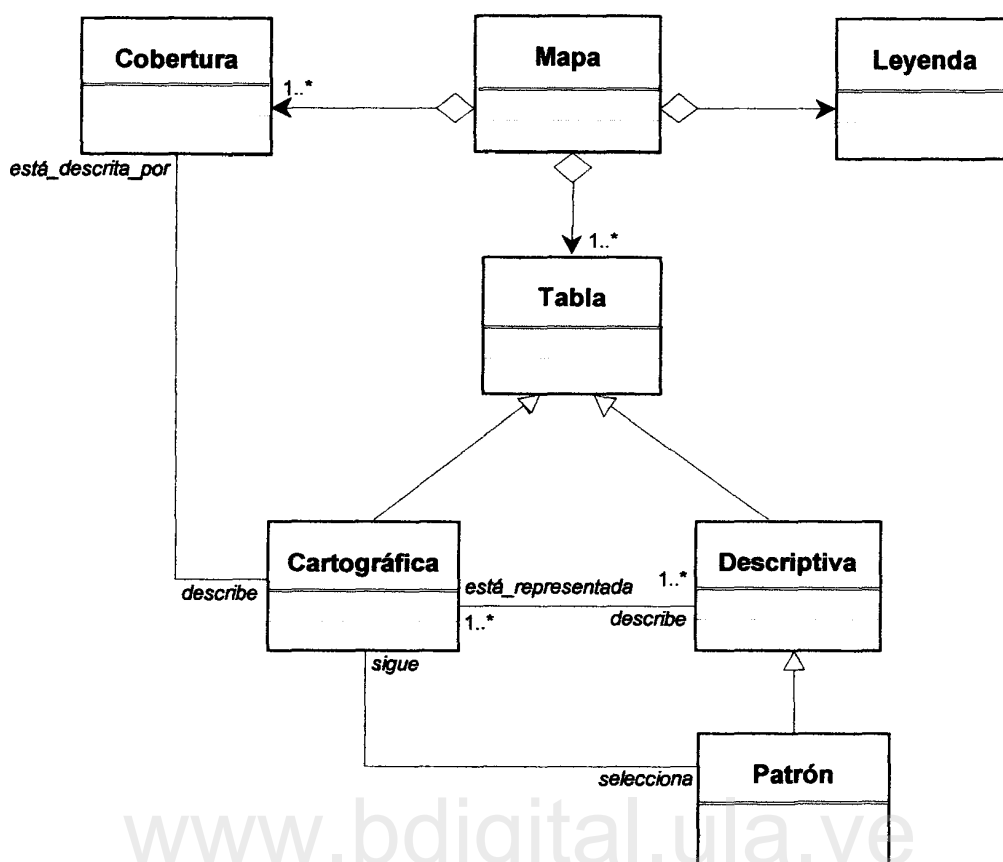


Figura 4.6: Complemento del modelo

### 4.3.1. Constructos de la extensión del modelo espacial para SIG

A continuación se especifica cada uno de los constructos que modifican el modelo espacial base de [OJEDA96] incluyendo el modelo de almacenamiento relacional para incluir la parte descriptiva.

#### 4.3.1.1. Clase Mapa

La definición de esta clase sólo varía en agregar el atributo *Tablas* y los métodos para manipulación de dicho atributo (ver figura 4.7).

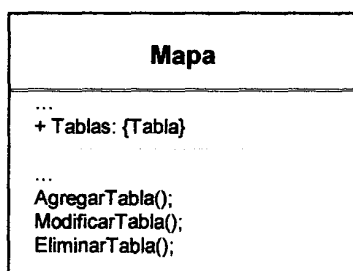


Figura 4.7: Clase Mapa

### 4.3.1.2. Clase Tabla

La clase *Tabla* es la clase que modifica la esencia del modelo base. Esta es la misma clase especificada en la sección anterior.

La figura 4.8 muestra la integración de los componentes de la clase, mostrados en la figura 4.5 cuya jerarquía es mostrada en la figura 4.6.

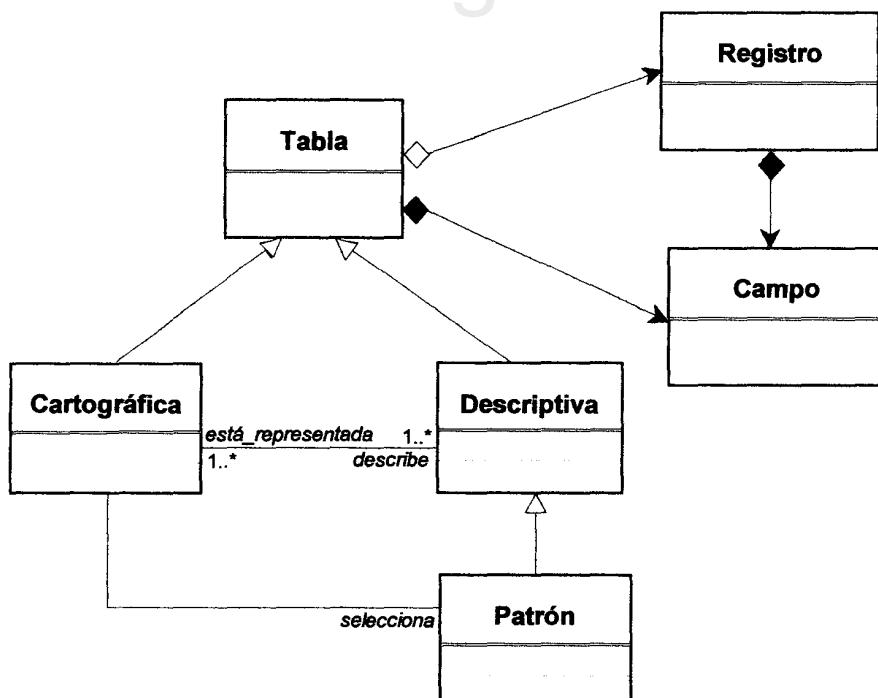


Figura 4.8: Integración parcial del modelo

### 4.3.1.3. Clase Descriptiva

La clase *Descriptiva* es también una subclase de la clase *Tabla*. Está dedicada al almacenamiento de los datos descriptivos de cada uno de los elementos cartográficos (ver figura 4.9).

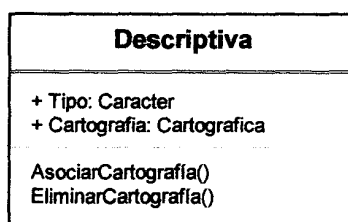


Figura 4.9: Clase Descriptiva

### 4.3.1.4. Clase Cartográfica

La clase *Cartográfica* es una subclase de la clase *Tabla*. Esta clase se define como subclase sólo por el tipo de datos que almacena. Tiene definido el atributo *Cobertura* para identificar el objeto de la clase *Cobertura* que describe; el atributo *Descripción* para identificar la tabla donde se almacenan los datos temáticos asociados y el atributo *Desastre* para identificar el objeto de la clase *Patrón* que puede afectar el área representada por la cartografía. Están dedicadas al almacenamiento de las características vectoriales de los fenómenos geográficos (ver figura 4.10).

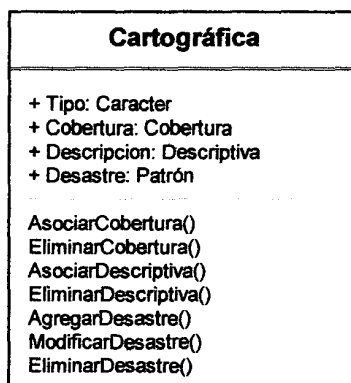
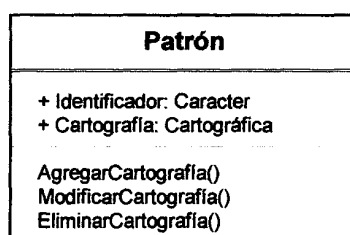


Figura 4.10: Clase Cartográfica

#### 4.3.1.5. Clase Patrón

La clase *Patrón* es una subclase de la clase *Descriptiva*. Cada uno de los objetos de esta clase representa las características geológicas necesarias para que un área presente estado de emergencia ante el efecto de cualquier agente, ya sea natural o antrópico. El atributo *Identificador* almacena el nombre del desastre y el atributo *Cartografía* almacena el objeto que presenta el patrón geológico de un desastre (ver figura 4.11).



**Figura 4.11: Clase Patrón**

www.bdigital.ula.ve

#### 4.4. Integración del modelo

En la figura 4.12, se muestra el modelo final obtenido, el cual es el resultado de la integración de las partes modeladas en las secciones anteriores.

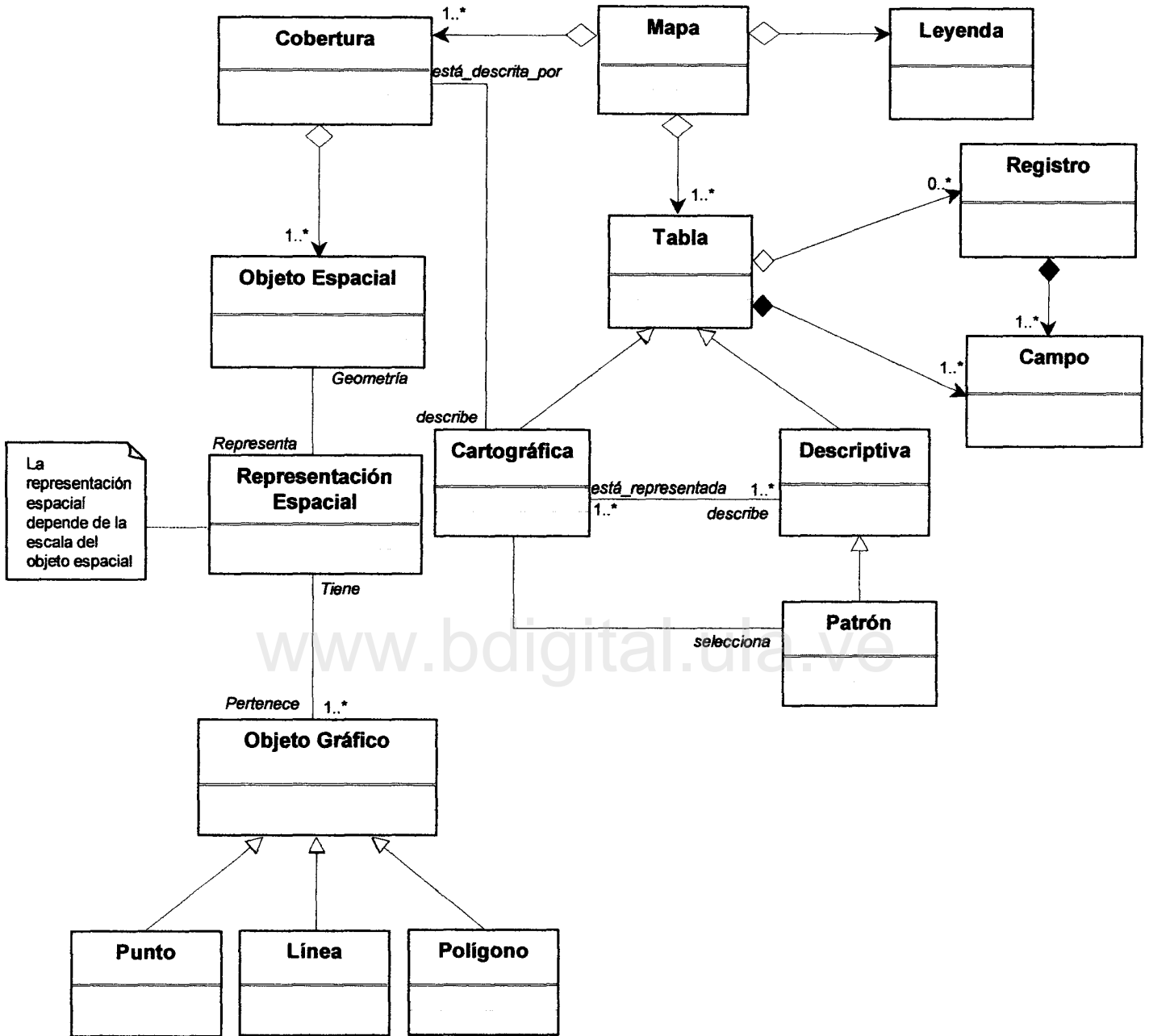
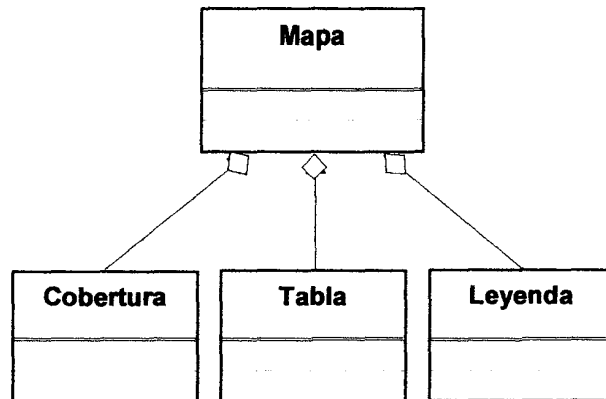


Figura 4.12: Modelo para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales, ME-DESNA

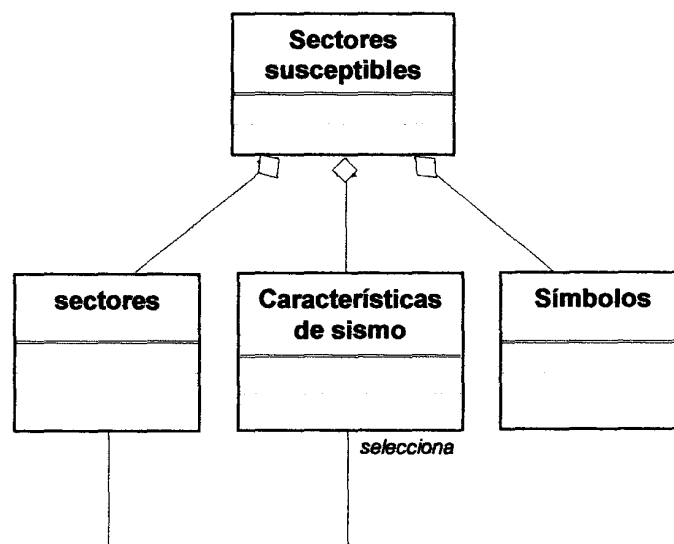
Un ejemplo de uso de este modelo, es por ejemplo la generación de un mapa de sectores susceptibles ante la ocurrencia de un terremoto. A continuación se presenta este ejemplo, el cual será especificado ampliamente en el capítulo 5.

Si se toma las clases principales del modelo ME-DESNA, se tiene (figura 4.13):



**Figura 4.13: Modelo ME-DESNA reducido**

Haciendo una analogía con éste, se puede obtener un mapa de sectores de la ciudad de Mérida susceptibles a la ocurrencia de un terremoto de la siguiente manera (ver figura 4.14):



**Figura 4.14: Uso del modelo ME-DESNA**

# Capítulo 5: Implementación de un prototipo aplicando el modelo ME-DESNA y usando la metodología para SIG MEDSIG-00

---

En este capítulo se presentan las especificaciones para la implementación de un prototipo operativo basado en el modelo propuesto ME-DESNA y aplicando la metodología MEDSIG-00 para el desarrollo de SIG.

Este prototipo tiene como objetivo fundamental la determinación de sectores susceptibles de la ciudad de Mérida ante la ocurrencia de un sismo. Se podrán mostrar distintos mapas de vulnerabilidad dependiendo de la intensidad del sismo que ocurra.

En la primera parte de este capítulo se describen brevemente las herramientas de programación utilizadas, *ArcView* y *Avenue*, y a continuación se muestran las distintas fases de la metodología MEDSIG-00 ejecutadas para la implementación del prototipo.

## 5.1. Herramientas de programación

Las herramientas de programación utilizadas para la implementación de este prototipo son el ambiente *ArcView* y su lenguaje propio *Avenue*, los cuales se describen brevemente a continuación.

### 5.1.1. ArcView

La razón principal para escoger *ArcView* como manejador de SIG en esta tesis, es que la cartografía básica utilizada para el prototipo se encuentra almacenada en librerías cartográficas digitales de *Arc/Info*, las cuales pueden ser fácilmente accedidas con *ArcView* por ser herramientas de la misma casa comercial, por tanto compatibles. Otra razón es que *ArcView* es un *software* de fácil compresión y

uso, debido a que presenta una interfaz amigable para usuarios inexpertos pero con cierto grado de conocimiento referente a la información geográfica; y además porque trae consigo su propio lenguaje de programación y ambiente de desarrollo orientado por objetos denominado *Avenue*, con el cual se pueden automatizar distintas tareas, personalizar interfaces de usuarios o crear aplicaciones completas de *ArcView*.

Con *ArcView*, una vez que se tienen los datos cartográficos es relativamente fácil asociarles datos descriptivos o temáticos almacenados en distintos formatos de bases de datos tales como archivos dBASE, Microsoft ACCESS, Oracle, Sybase y otros, ya sean locales o remotos.

De manera general con *ArcView* se pueden realizar las siguientes funciones:

- **Despliegue de datos:**
  - Crear de mapas definiendo los formatos de datos espaciales.
  - Agregar datos descriptivos, ya sea directamente a los elementos cartográficos o con asociaciones de bases de datos externas.
  - Simbolizar datos de manera personalizada usando clasificaciones por rangos, colores, escalas o definiendo nuevos símbolos.
  - Etiquetar mapas con textos y gráficos.
  - Diseñar e imprimir de mapas.
  
- **Consulta de datos:**
  - Buscar elementos con atributos particulares.
  - Obtener los atributos de los elementos.
  - Calcular distancias.
  - Determinar inclusión.

- Determinar intersección.
- Derivar estadísticas.
- **Creación de datos propios:**
  - Realizar digitalización directa sobre la pantalla o usando mesa digitalizadora.
  - Usar imágenes de distintos formatos: JPEG, TIFF, BMP, Sun raster, Run-length.

Para mayor detalle ver [ARCVIEW96]

### 5.1.2. Avenue

Avenue es un lenguaje de programación encriptado orientado por objeto, que permite manipular los objetos de ArcView e incluir un conjunto de operaciones poderoso que permita manipular efectiva y fácilmente dichos objetos.

Se dice que es un lenguaje encriptado porque aunque es un lenguaje de programación, no permite la creación de nuevas clases ni la modificación de las existentes, además que no puede ser ejecutado fuera del ambiente de ArcView.

Es un lenguaje compilado, que incluye el envío de mensaje a objetos y clases, estructuras condicionales, estructuras de repetición, control de flujo de estructuras, los conceptos de variables locales y variables globales, comentarios y algunos tipos de datos básicos definidos: lógicos (verdadero, falso), numéricos (enteros, reales), cadena de caracteres (definidas dentro " "), listas de objetos (definidas dentro de { }), objeto nulo (nil), valores enumerados, cadenas pre-definidas (tab) e identificación de objeto propia (*self*).

Para mayor detalle ver [AVENUE96].

## 5.2. Diseño e implementación del prototipo

En esta parte se presenta un prototipo de SIG aplicando cada paso de cada una de las fases de la metodología MEDSIG-OO y usando el modelo ME-DESNA propuesto en esta tesis.

La aplicación escogida para el desarrollo del prototipo es la sísmica, dentro del marco organizacional del Instituto que asume las Funciones de Emergencias, Desastres Naturales y Defensa Civil del Estado Mérida, FUNDEM, y de la Fundación para la Prevención de Riesgos Sísmicos, FUNDAPRIS, ente del estado Mérida especializado en sismos<sup>1</sup>. Para este prototipo, FUNDAPRIS funge como proveedor de datos y a la vez es también usuario directo.

El objeto de este prototipo, es la determinación de áreas de la ciudad de Mérida susceptibles a la posible ocurrencia de un sismo tomando en consideración, según criterios de FUNDAPRIS<sup>2</sup>, el índice de subsistencia de la tipología constructiva (edificaciones) como variable importante que cuantifica la vulnerabilidad del área ante el sismo. De los criterios de FUNDAPRIS, sólo se toma la variable *tipología constructiva*, por ser este prototipo de dimensiones pequeñas y por estar implementado con el único fin de demostrar la aplicabilidad del modelo propuesto, ME-DESNA, para resolver un problema del mundo real, y la factibilidad del uso de la metodología para desarrollos de SIG, MESIG-OO.

---

<sup>1</sup> En el Apéndice C se muestra un resumen de la organización y las funciones de FUNDEM y en el Análisis Organizacional del sistema en [LANNUZZI97] se especifica con detalle la organización y funciones de FUNDAPRIS.

<sup>2</sup> En el Apéndice D se muestran los criterios y variables que FUNDAPRIS considera influyentes en la determinación de la vulnerabilidad de la Ciudad de Mérida ante la ocurrencia de un sismo. Información tomada de [LANNUZZI97].

### **5.2.1. Fase 1: Análisis del Sistema Organizacional**

Es la fase dedicada al entendimiento del contexto en el que operará el sistema, demarcado por FUNDEM, y la Subcomisión de Zonificación y Estudio de Riesgos Naturales (SZERN) de FUNDAPRIS.

Ya que el sistema organizacional en lo que refiere a FUNDAPRIS está detalladamente descrito en [LANNUZZI97], en esta tesis sólo se presentan las funciones generales y la estructura funcional de la SZERN.

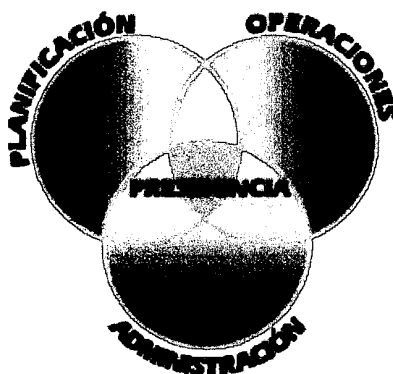
#### **5.2.1.1. Definición del Sistema Organizacional**

Comprende la identificación del sistema organizacional, la definición de sus objetivos y la delimitación del dominio geográfico de aplicación.

El 03 de Octubre de 1996 se crea la Fundación para el Manejo de Emergencias, Desastres Naturales y Defensa Civil del Estado Mérida, FUNDEM, ante las inminentes situaciones de riesgo natural y elevada incidencia de accidentes antrópicos que caracterizan a este estado. A principios del año 1999 se decreta la transformación de Fundación a Instituto que asume las referidas funciones, esto con el fin de darle carácter estatal y con la misión de servir y ayudar en situaciones de emergencias, desastres naturales y accidentes antrópicos en el estado Mérida.

##### **5.2.1.1.1. Organización interna de FUNDEM**

La estructura interna y las funciones de FUNDEM se establecen como un sistema integrado inteligente (ver figura 5.1), el cual comprende cuatro direcciones que son:



**Figura 5.1: Estructura organizativa de FUNDEM**

- **Presidencia:** Garantiza el establecimiento y la difusión de las responsabilidades específicas de cada uno de los organismos nacionales, estatales y municipales con competencia legal en el manejo de emergencias, desastres naturales, protección social y atención vecinal.
- **Operaciones:** Permiten la utilización eficaz de los recursos humanos, materiales y tecnológicos ante cualquier situación de emergencia, desastre natural o accidente antrópico que pudiera ocurrir en el estado Mérida.
- **Planificación:** Se encarga de distribuir los recursos humanos, materiales y tecnológicos en el manejo de emergencias, desastres naturales, accidentes antrópicos, protección social y atención vecinal del personal operativo de FUNDEM, de los funcionarios, de los organismos responsables de estas actividades en el estado Mérida y del voluntariado que colabora en situaciones especiales.
- **Administración:** Se encarga de velar por el patrimonio de la institución, entre los que se encuentran los recursos económicos asignados por la Gobernación del Estado Mérida, los aportes asignados por organismos municipales, nacionales, internacionales y los obtenidos por ingresos propios del Instituto.

Cada una de las direcciones está compuesta por unidades operativas tal como se muestra en el organigrama de la figura 5.2.

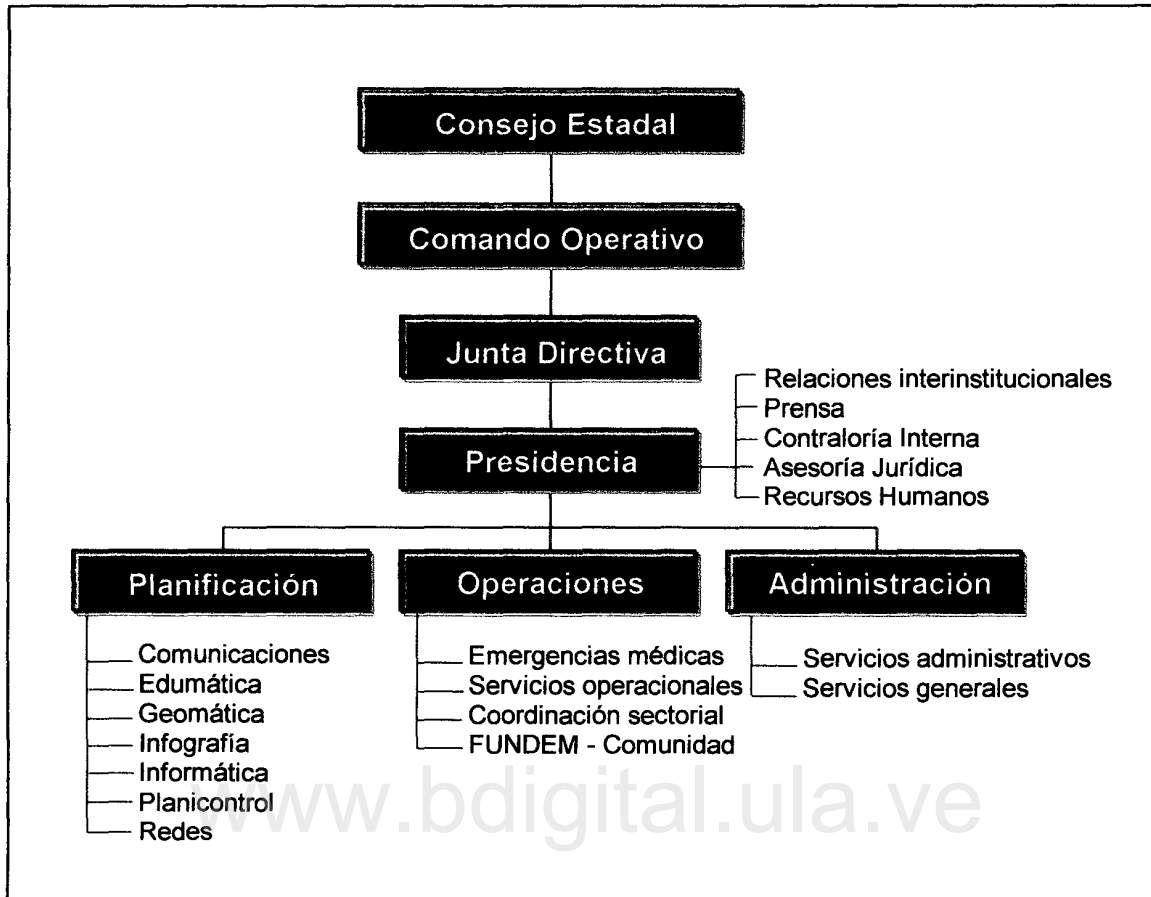
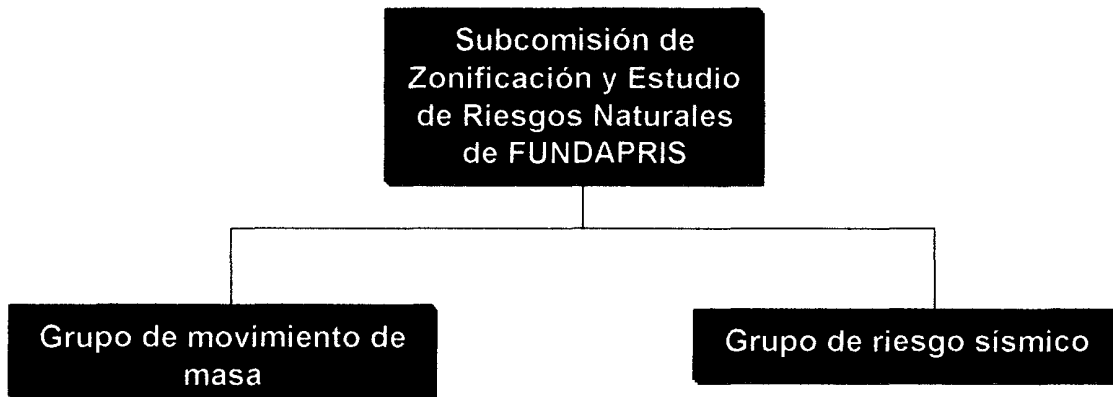


Figura 5.2: Organigrama de FUNDEM. Adaptado de [CADENAS98]

#### 5.2.1.1.2. Organización de la SZERN de FUNDAPRIS

La SZERN está integrada por representantes del Laboratorio de Geofísica de la Escuela de Geología y del Instituto de Geografía de la Universidad de Los Andes y del Ministerio de Energía y Minas quienes están divididos en dos grupos de trabajo: grupo de movimiento de masa y grupo de riesgo sísmico (ver figura 5.3).



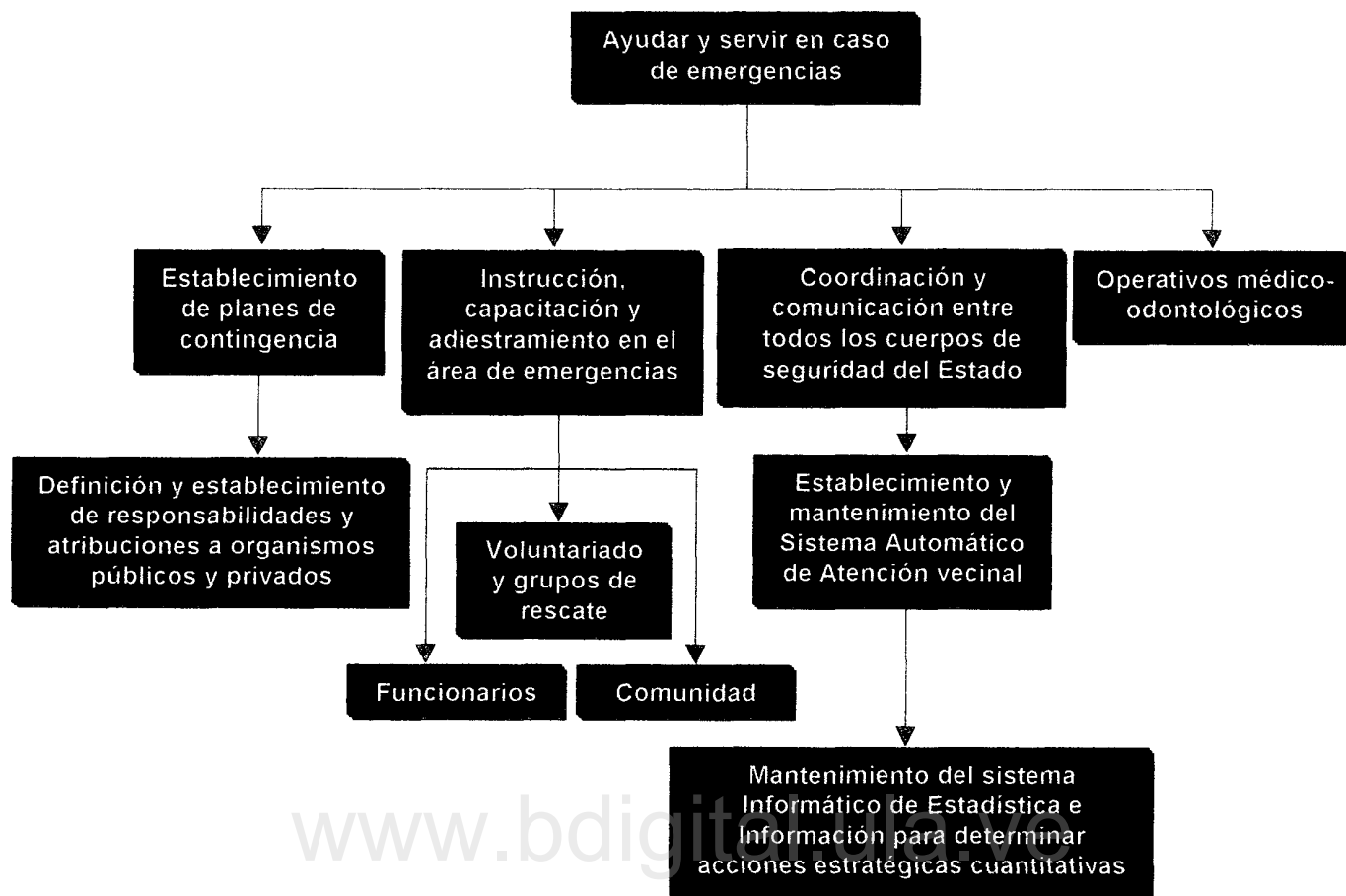
**Figura 5.3: Estructura organizativa de la SZERN de FUNDAPRIS. Tomado de [LANNUZZI97]**

#### **5.2.1.2. Modelado de los procesos del sistema organizacional.**

Generalmente, los procesos son organizados en una estructura compleja que puede ser modelada usando un proceso de descomposición funcional jerárquica, cuyo resultado es un grafo dirigido acíclico donde raíz es la función principal de la organización. A continuación, primero se especifican las funciones generales de FUNDEM que se resumen en un grafo dirigido acíclico y posteriormente se presenta el grafo que resume las funciones de FUNDAPRIS.

##### **5.2.1.2.1. Funciones de FUNDEM**

El grafo que resume las funciones de FUNDEM se muestra en la figura 5.4. En este grafo puede observar que la función principal consiste en ayudar y servir en caso de emergencias.



**Figura 5.4: Estructura funcional de FUNDEM**

#### 5.2.1.2.2. Funciones de la SZERN de FUNDAPRIS

Las funciones de la SZERN se resumen en el grafo que se muestra en la figura 5.5. En ese caso, la función principal consiste en la gestión y administración de desastres naturales.

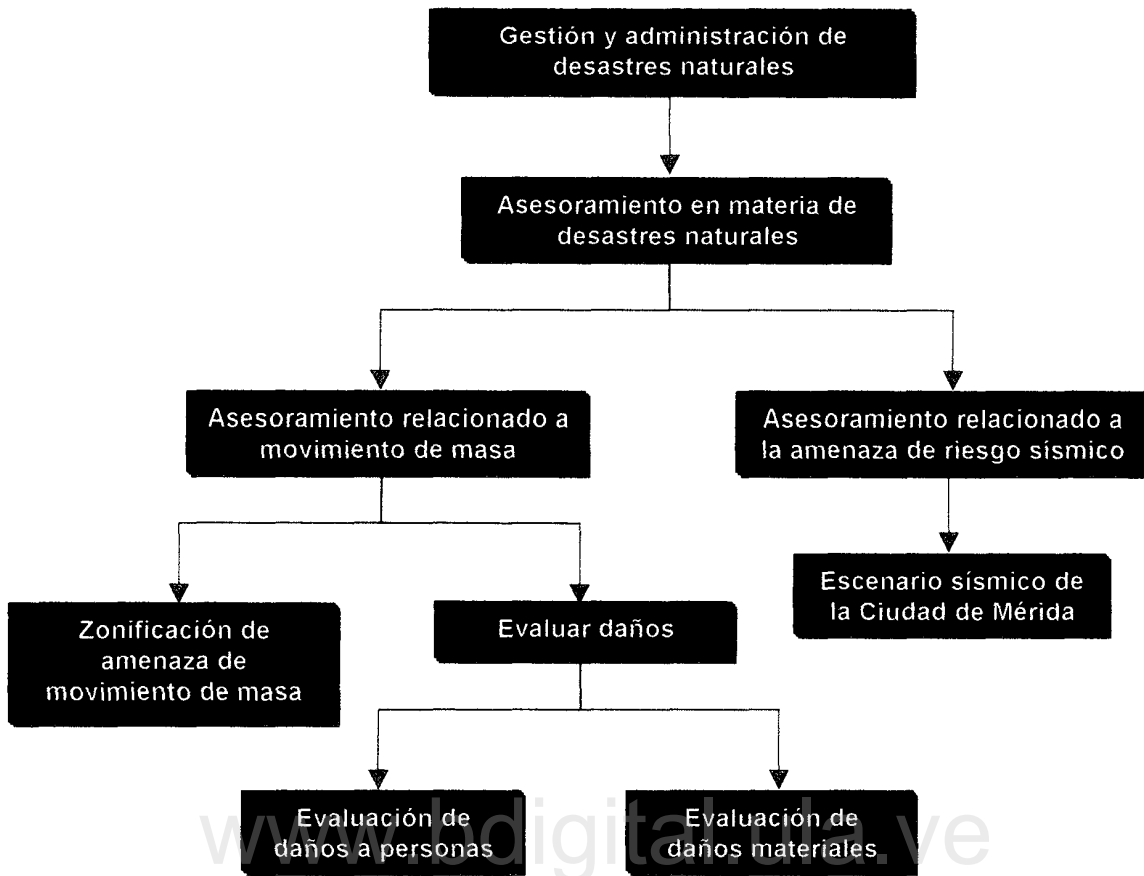


Figura 5.5: Estructura funcional de la SZERN de FUNDAPRIS. Tomado de [LANNUZZI97]

### 5.2.1.3. Determinación de actores

Los actores son las personas que están involucradas en la ejecución de procesos del sistema organizacional y pueden ser externos o internos. Para este prototipo, se definen como actores:

**FUNDEM:** Dirección de Planificación–Geomática como operador del sistema.  
Dirección de Operaciones como usuario directo.

**FUNDAPRIS:** La SZERN como proveedor de datos por parte de FUNDAPRIS.

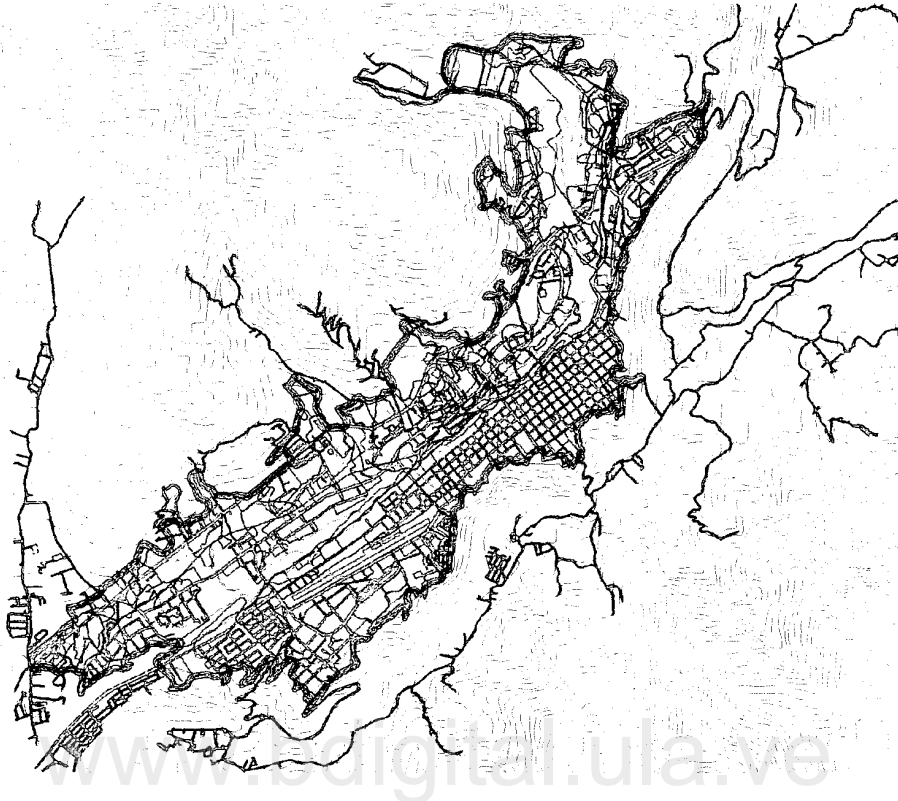
#### **5.2.1.4. Identificación de los principales tipos de entidades**

Una entidad es un objeto concreto o abstracto de interés al sistema organizacional. Para este prototipo la entidad relevante es la ciudad de Mérida que es el espacio geográfico de interés para el sistema organizacional.

##### **5.2.1.4.1. Descripción del espacio geográfico**

El estudio geotécnico de la meseta de Mérida (ver figura 5.6), forma parte de un conjunto de investigaciones que se realizan con el propósito de responder algunas interrogantes planteadas acerca del comportamiento de dicha meseta ante un movimiento sísmico de alta magnitud, ya que la zona se encuentra en una de las regiones de mayor sismicidad en Venezuela y presenta algunas características que pueden responder negativamente a un evento de tal naturaleza. Entre estas características caben destacar, la existencia de un posible flujo de agua subterránea desde el río Albarregas al río Chama y aún dentro de la misma terraza en otras direcciones que pueden ocasionar la creación de zonas de debilidad, igualmente, deslizamientos de naturaleza diferentes, pero incitados por el mismo movimiento sísmico, en los taludes de las carreteras de la región.

La zona a estudiar cubre un área aproximada de 60 Kms<sup>2</sup> cuyas coordenadas geográficas son: 8°32'34" y 8°38'49" de latitud norte y 71°7'20", 71°5'42" de longitud oeste.



**Figura 5.6: Area de la ciudad de Mérida**

La terraza de Mérida está limitada hacia los ríos Mucujún y Chama por taludes cuya altura varía entre 50 y 180 metros, con pendientes variables, pero generalmente superiores al 65% y con menores tramos verticales de 30 a 60 metros de altura. Está atravesada longitudinalmente por el río Albarregas que produce taludes desde ambos lados entre 10 y 20 metros de altura y poseen rangos de pendientes similares a los de El Chama y Mucujún [CADENAS98].

En [LANNUZZI97] se describe detalladamente la parte geológica y el aspecto urbano-poblacional de la zona de la ciudad de Mérida.

También se consideran entidades la ocurrencia de un movimiento de masa y la ocurrencia de un sismo. Para este prototipo se considera sólo la ocurrencia de un sismo y como consecuencia de éste, la localización de los centros médicos especializados.

### 5.2.1.5. Establecimiento de eventos

En base a los modelos funcionales de los actores del prototipo se pueden identificar eventos relevantes al sistema: zonificación por amenaza de sismo. En la tabla 5.1 se muestran las variables que influyen en cada una de las entidades identificadas.

EVENTO	ENTIDAD	VARIABLES INFLUYENTES
Zonificación por amenaza de sismo	Sismo	Intensidad Pendiente del terreno Consolidación de suelo Profundidad de sedimentos Composición del suelo Distancia del talud Tipología constructiva

Tabla 5.1: Entidades relevantes

Estas variables fueron identificadas bajo la asesoría directa de FUNDAPRIS en los trabajos de [LANNUZZI97] y [ROZO97].

### 5.2.2. Fase 2: Especificación de requerimientos

En esta fase se determinan las operaciones deseadas del SIG tales como: análisis espaciales o composiciones cartográficas.

#### 5.2.2.1. Requerimientos de usuarios

El objetivo fundamental del prototipo es la obtención de un mapa donde muestre la localización de las zonas susceptibles ante la ocurrencia de un sismo.

Esta sectorización se hace tomando en cuenta las condiciones geológicas del área escogida y cualificando la vulnerabilidad del área, basado en el cálculo de *índices*

de *subsistencia*<sup>3</sup> de cada una de las variables involucradas: tipología constructiva, composición del suelo, grado de consolidación del suelo, pendiente, profundidad de sedimentos, y distancia al talud. Esta vulnerabilidad se cualifica dependiendo de la intensidad del sismo, por lo tanto se debe dar libertad al usuario de especificar esta variable.

El prototipo de [LANNUZZI97] a pesar de ser un sistema completo en cuanto a la evaluación de riesgo sísmico, es un sistema estático, en el sentido de no tener opciones de cambiar el valor de las variables involucradas. Por requerimiento de FUNDAPRIS, el prototipo que aquí se implementa conserva las especificaciones de información, *software* y *hardware* involucradas en el prototipo de [LANNUZZI97] pero implementa la posibilidad de hacer las zonificaciones según criterio del usuario. También por sugerencia de FUNDAPRIS y pensando en la tarea de FUNDEM de elaborar planes de emergencia, se genera la zonificación de vulnerabilidad tomando en cuenta la tipología constructiva de las edificaciones, ya que esta es la variable que podría generar el mayor grado de colapso a la hora de la ocurrencia de un sismo

#### 5.2.2.2. Requerimientos de información

Como se especifica en el capítulo 2, la idea de todos los que trabajan en el campo de la reducción de los desastres, es llegar a convencer a la gente de que debe reducir su vulnerabilidad para superar el riesgo. Basado en esta idea, FUNDAPRIS ha establecido el riesgo como una función proporcional a la amenaza y a la vulnerabilidad (ecuación 4.1), donde la amenaza es una variable desconocida hasta el momento en que ocurra el desastre, por lo que es importante centrar la atención en disminuir la vulnerabilidad que es un valor no cuantificable sino cualificable.

---

<sup>3</sup> Estos índices son los mismos valores de *probabilidad de subsistencia* especificados en [LANNUZZI97 y ROZO97]. Según Jaime Laffaille, autor de los mismos, se les cambió el nombre para no causar confusión, ya que no son valores determinados probabilísticamente, éstos se emplean con el objeto de vincularlos con la probabilidad que tienen las variables de ser o no evaluadas, es decir, que dichas variables sean funcionales o no en el momento de ocurrir un evento sísmico de gran magnitud.

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Para este caso, la amenaza está representada por la ocurrencia de un sismo, y la vulnerabilidad, tomando en cuenta la tipología constructiva, estaría representada por los planes de atención médica y refugio que las instituciones involucradas (FUNDEM y FUNDAPRIS en este ejemplo) deben establecer en cada uno de los sectores. Esto haría disminuir la vulnerabilidad de la población ante la tragedia.

La tabla 5.2 es una adaptación de la tabla de la información requerida para el escenario sísmico de [LANNUZZI97]. Este escenario sísmico involucra la sectorización de la ciudad de Mérida, tomando en cuenta tanto las variables geológicas como la variable de tipología constructiva de las edificaciones. En este caso, sólo se usará la información referida a tipología constructiva.

MAPA	CONTENIDO	FORMATO
Cartografía base	Curvas de nivel, ríos, vialidad	Cartografía básica requerida
Tipologías constructivas	Sectores de comportamiento sísmico	Mapa temático
Indice de subsistencia tomando la tipología constructiva	Sectores de comportamiento sísmico	Mapa temático

**Tabla 5.2: Requerimientos de información. Adaptada de [LANNUZZI97]**

Toda la información, tanto temática como espacial se encuentra en formato digital y fué suministrada por FUNDAPRIS.

### 5.2.2.3. Requerimientos de *software*

Se requiere del sistema operativo MS-DOS® 5.0 o una versión mayor y Microsoft Windows 95/NT, ya que la licencia del manejador de SIG es compatible sólo para estas versiones; sin embargo, las nuevas versiones del manejador también son compatibles con Microsoft Windows 98.

Este prototipo será implementado en el manejador de SIG *ArcView versión 3.1* con llave de seguridad de ESRI bajo el ambiente Microsoft Windows NT 4.0,

además tendrá funciones de entrada de datos implementadas en *Avenue* que es el lenguaje propio de ArcView.

#### **5.2.2.4. Requerimientos de *hardware***

Para un rendimiento óptimo de ArcView se requiere un computador con las siguientes características:

- Procesador 80486 como mínimo (preferiblemente Pentium).
- 12 MB de memoria RAM (preferiblemente 16 MB) .
- Al menos 17 MB de memoria virtual.
- Al menos 16 MB de espacio en disco duro.
- Un monitor VGA o de mayor resolución y con 256 colores como mínimo.
- Se recomienda contar con aceleradores gráficos y de video para mayor rapidez al manejar grandes volúmenes de información.

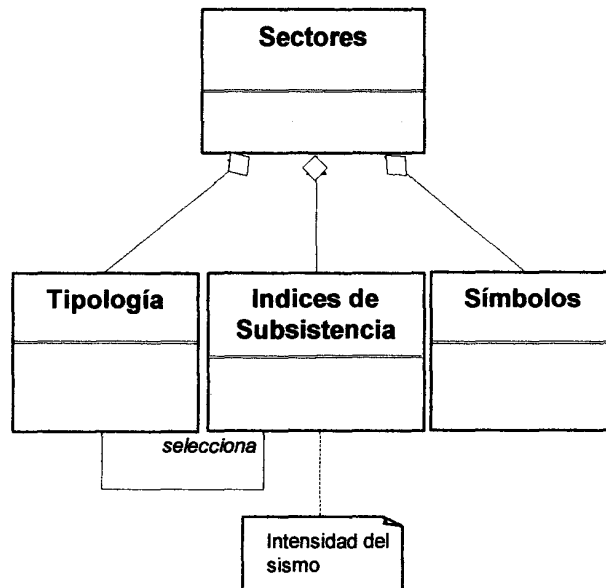
Para realizar modificación a los datos espaciales es necesario contar con una mesa digitalizadora.

También es necesario contar con un dispositivo de salida impresa, ya sea de pequeño (impresoras personales) o gran formato (*plotters*).

#### **5.2.3. Fase 3: Diseño conceptual**

En esta fase se especifican los esquemas de integración de las bases de datos y los programas y procedimientos requeridos para el análisis espacial y el modelado y las composiciones cartográficas requeridas.

Usando el modelo ME-DESNA, para la generación del mapa de la zonificación de la ciudad de Mérida dependiendo de la vulnerabilidad de las edificaciones se tiene la figura 5.7.



**Figura 5.7: Mapa de zonas vulnerables según tipología constructiva**

Donde *Tipología* es la cobertura que contiene los diferentes sectores de la ciudad según la tipología constructiva; *Índices de Subsistencia* es una tabla descriptiva que, según el valor de intensidad del sismo, es el patrón de selección de los sectores de la ciudad que hace determinar la vulnerabilidad de los mismos; y *Símbolos* es la leyenda del mapa deseado.

#### 5.2.4. Fase 4: Diseño de implementación

Es la traducción de los esquemas conceptuales, obtenidos en la fase anterior, a esquemas implementables basados en el modelo de datos con el que funciona el manejador de base de datos espaciales elegido para la implementación del SIG.

##### 5.2.4.1. Conversión del esquema conceptual global a un esquema de implementación

Cada constructo usado en el modelo de objeto es convertido a un constructo propio del modelo del lenguaje que será utilizado.

Ya que el manejador de SIG escogido usa el modelo relacional para el almacenamiento de datos, se hará una transformación de la clase Tabla y de su subclase Descriptiva y Patrón del modelo ME-DESNA, a tablas relacionales dentro del ambiente del ArcView. Se especifica esta transformación debido a que son datos descriptivos lo que determina el mapa deseado.

Para la determinación de zonas vulnerables según el índice de subsistencia de la tipología constructiva de las edificaciones en el área de la ciudad de Mérida, se tiene una cobertura denominada Tipología definida de la siguiente manera:

*Tipología(Shape, Area, Perimeter, Tipología, CAME, Vulnerabilidad)*

En esta tabla, se almacenan características gráficas y geométricas de los polígonos que forman los sectores como son: *Shape* (forma), *Area* (área) y *Perimeter* (perímetro); y parte de los atributos descriptivos en los atributos: *Tipología* es la clasificación de las edificaciones según la clasificación primaria de edificaciones según la escala de intensidades MSK<sup>4</sup>; *CAME* es el centro médico especializado ubicado en esa área y *Vulnerabilidad* para cualificar la vulnerabilidad del sector.

Los tres primeros atributos son generados automáticamente por el sistema, es por esta razón que están identificados con nombres en inglés.

El patrón que define la vulnerabilidad de cada tipo de edificación según el índice de subsistencia está definido como:

*Patrón(Tipologia, InMin, InMax)*

donde el atributo de enlace es *Tipología*, los valores menores que *InMin* se cualifican como vulnerabilidad baja, entre *InMin* e *InMax* como vulnerabilidad media y los mayores que *InMax* como vulnerabilidad alta.

---

<sup>4</sup> Es una escala de cualificación de los efectos de un sismo. Ver Apéndice 2 en [LANNUZZI97].

#### 5.2.4.2. Diseño de programas y procedimientos

En esta fase se especifican los programas y/o procedimientos para aquellos requerimientos de análisis espacial, digitalización espacial o producción cartográfica demasiado complejos para ser ejecutados por operaciones simples del manejador de base de datos.

En la figura 5.8, se muestra un diagrama de ejecución del proceso de zonificación según el índice de subsistencia de tipologías constructivas.



**Figura 5.8: Proceso para zonificación según la intensidad del sismo**

Previo a este proceso deben hacerse varios *joins lógicos* de tablas (uniones por atributo común entre tablas) para manejar los datos de interés en una sola tabla. Esto hace disminuir el número de líneas de programación.

#### **5.2.4.3. Verificación del diseño de implementación**

El diseño final debe ser verificado usando los requerimientos de la fase 2. Puede haber interacción entre las fases 2 - 4 para incorporar nuevos requerimientos antes de proceder a la implementación y las pruebas.

Esta verificación fué realizada usando el criterio de los expertos de FUNDAPRIS y bajo el consejo técnico de la división de operaciones de FUNDEM. Los expertos de FUNDAPRIS requieren poder hacer dinámico el cambio de la intensidad del sismo para poder proveer a FUNDEM de mapas donde muestre la vulnerabilidad para que éste se encargue de la especificación de los planes de emergencias necesario en caso de ocurrir un sismo.

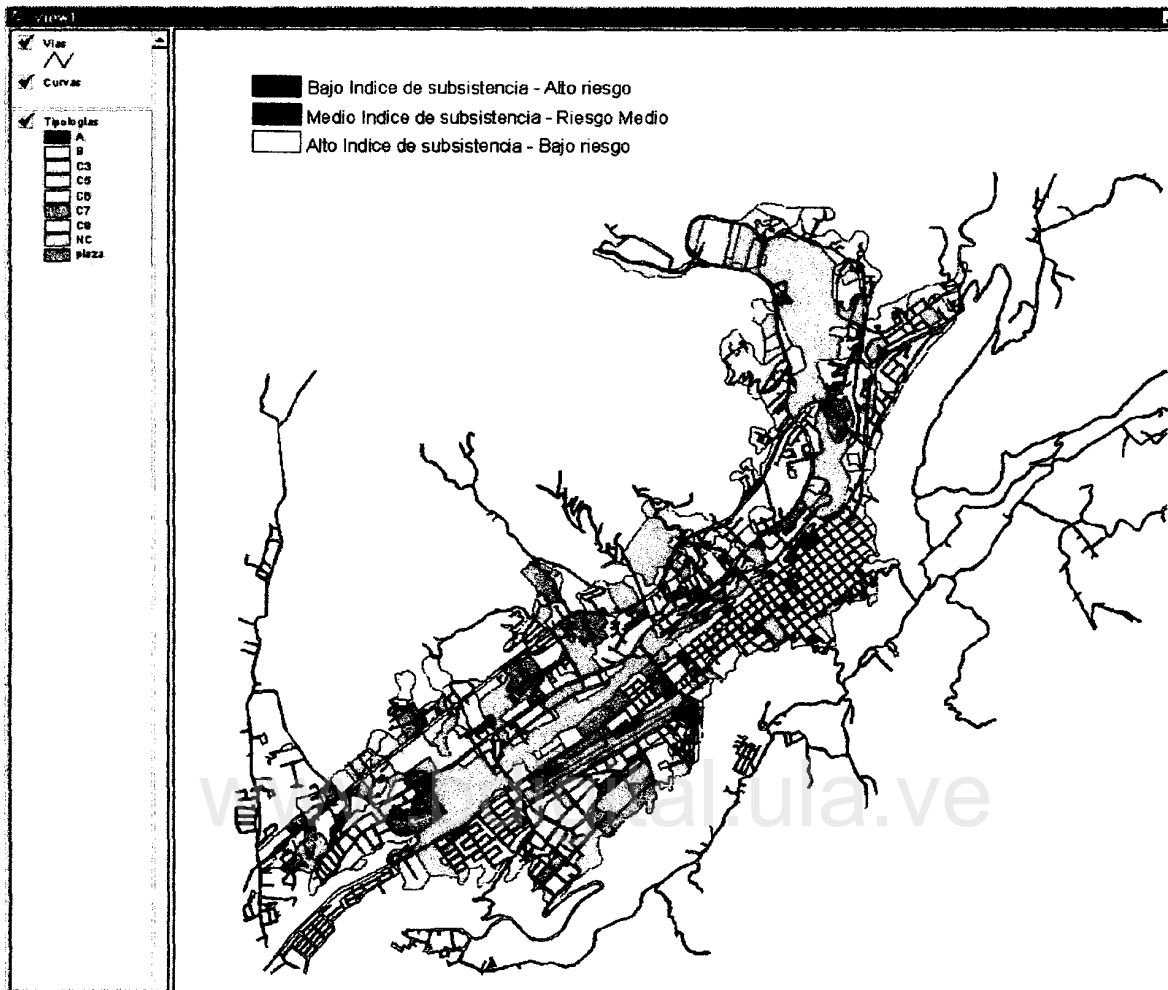
#### **5.2.4.4. Implementación**

Como se mencionó anteriormente, los diferentes módulos de programación están codificados en *Avenue de ArcView*.

El prototipo muestra el sector de la ciudad de Mérida seleccionado, el cual puede visualizarse por tipo de construcción o por vulnerabilidad de las edificaciones dependiendo de la intensidad del sismo que se ingrese. A continuación se describe brevemente estos procesos.

##### **5.2.4.4.1. Visualización por tipo de construcción**

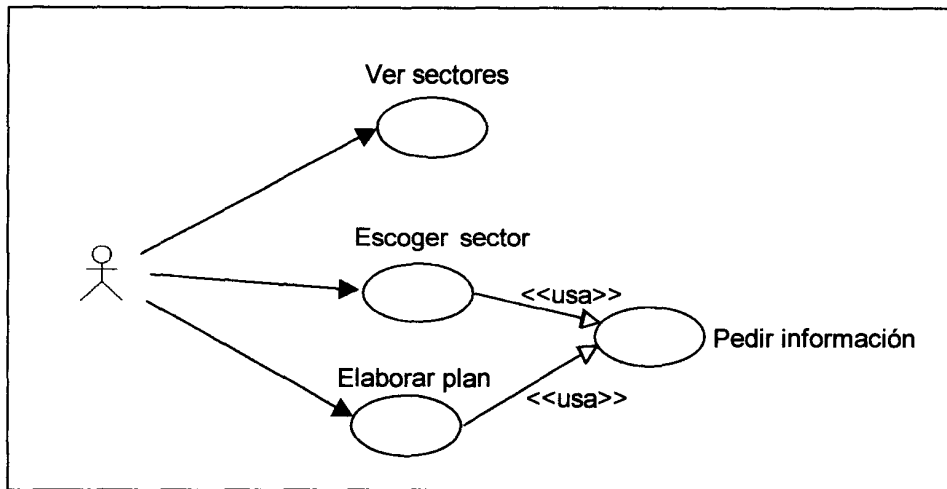
En este caso se usó una cartografía básica en la cual se especifica el tipo constructivo. Cambiando la leyenda de la cobertura de tipologías, se puede distinguir con colores diferentes cada uno de ellos, tal como se muestra en la figura 5.9.



**Figura 5.9: Tipologías constructivas del área de Mérida**

#### **5.2.4.4.2. Visualización de vulnerabilidad del área**

Para este proceso se tiene el siguiente diagrama de caso de uso (figura 5.10)



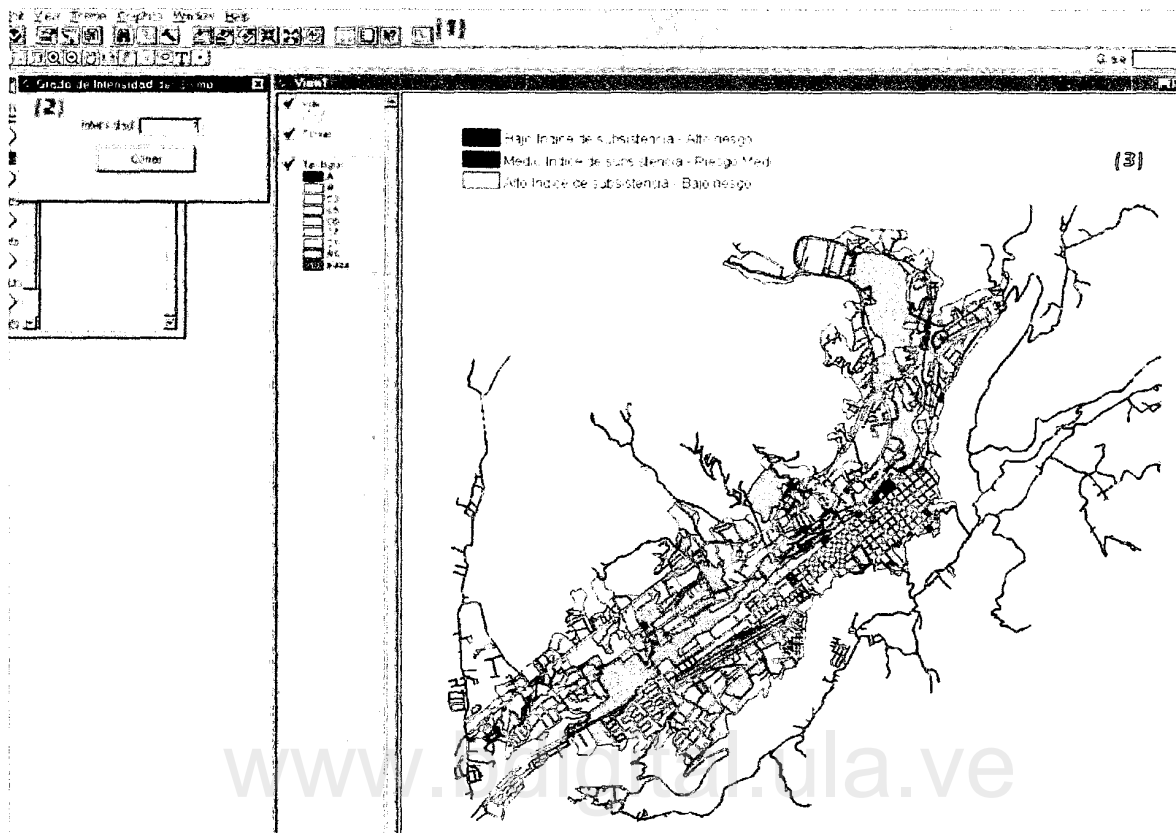
**Figura 5.10: Caso de uso de la sectorización por vulnerabilidad**

En este diagrama, la función *Elaborar plan* es una función que no realiza el sistema sino que debe realizarse por consenso de los organismos de seguridad del Estado dependiendo del grado de vulnerabilidad que presenten los sectores.

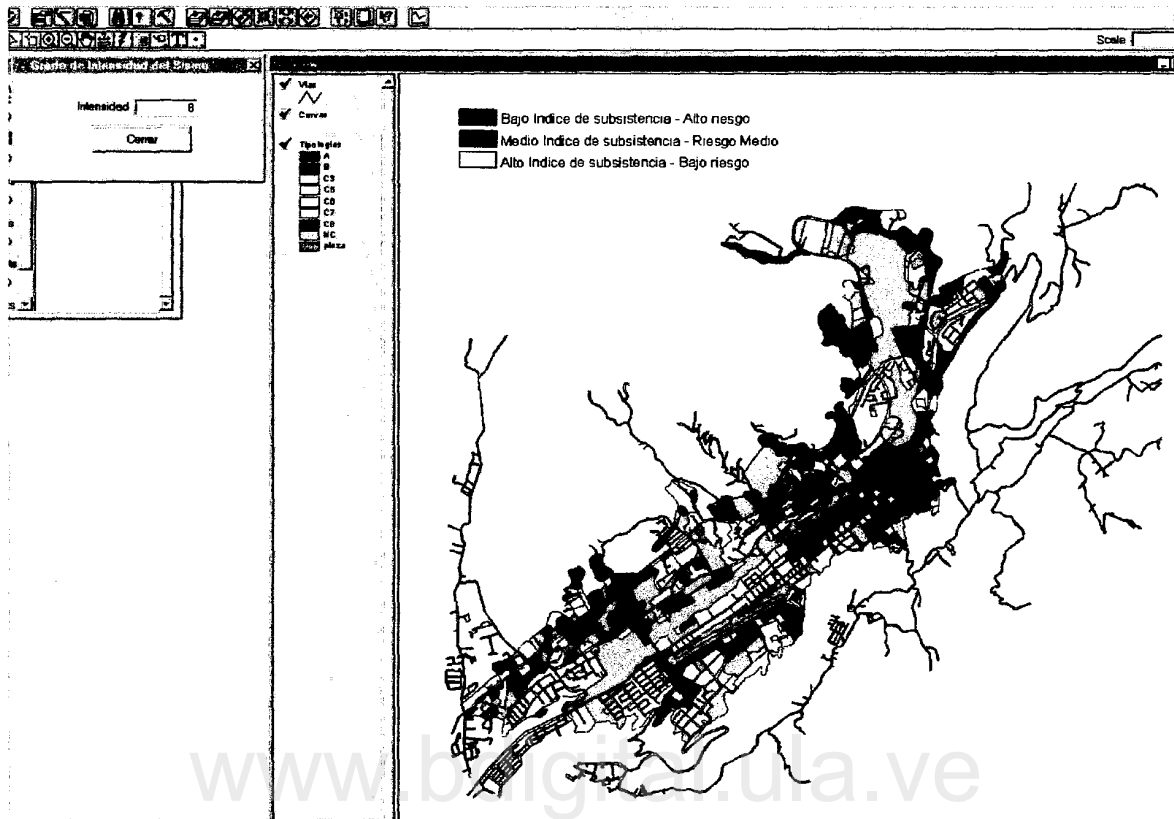
La zonificación del área dependiendo de la vulnerabilidad de las estructuras, debe activarse el botón señalado con (1) en la figura 5.11; este botón activará la ventana señalada con (2) en la misma figura y con la acción de la tecla *Enter* se desplegará la zona escogida indicando que áreas son baja (amarilla), media (azul) y/o altamente (roja) vulnerables ante un sismo cuya intensidad sea la indicada como el área señalada con (3) en la misma figura.

Las figuras 5.12, 5.13 y 5.14 muestran zonificación de la ciudad de Mérida ante la ocurrencia de un sismo de intensidad 8, 9 y 12 respectivamente. Es importante señalar que la intensidad del sismo está medida en grados según la escala de intensidades MSK, por lo tanto los valores de intensidad para estos ejemplos son ficticios.

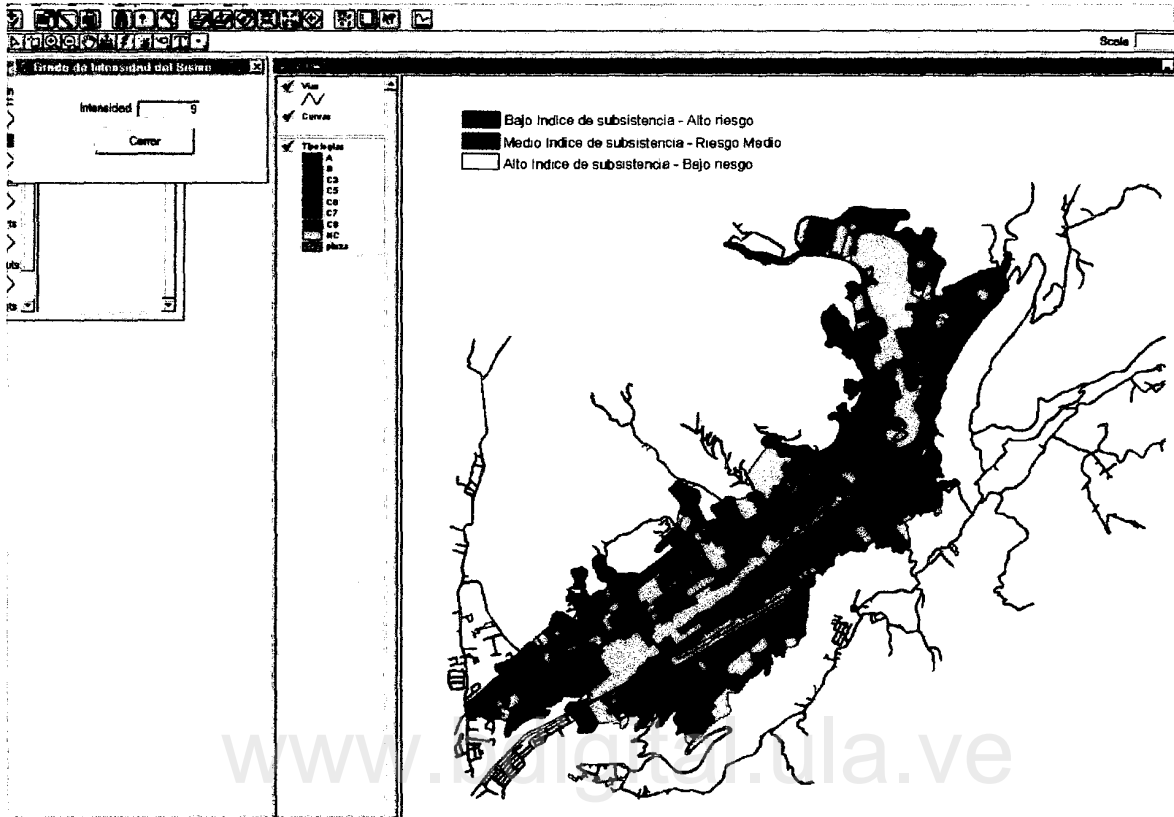
En el Apéndice E se muestra el código para realizar la zonificación de vulnerabilidad de parte de la ciudad de Mérida según los índices de subsistencia de tipología constructiva.



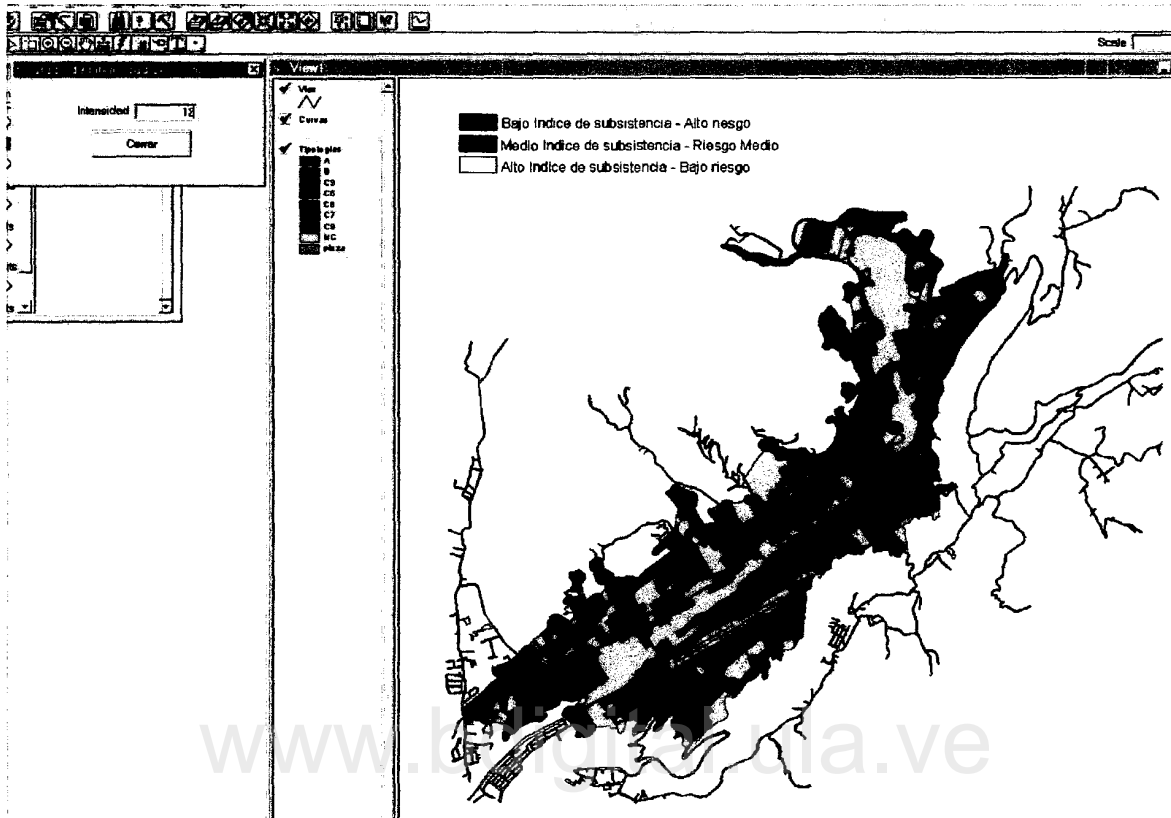
**Figura 5.11: Zonificación con intensidad del sismo 7 grados**



**Figura 5.12: Zonificación con intensidad del sismo 8 grados**



**Figura 5.13: Zonificación con intensidad del sismo 9 grados**



**Figura 5.14: Zonificación con intensidad del sismo 12 grados**

Con el modelo ME-DESNA también puede pensarse en implementar un sistema que determine que áreas de la ciudad de Mérida son susceptibles a derrumbes causados en el período de lluvias, por ejemplo.

# Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

---

## 6.1. Conclusiones

A medida que transcurre el tiempo, aumenta de manera desproporcionada las necesidades de automatización de procesos manuales que el hombre realiza, y el hombre, a su vez, trata de cubrir estas necesidades al menor costo humano posible. Es por esta razón que, de manera igualmente desproporcionada e increíble, el mundo se encuentra en la actualidad sumergido en un avance tecnológico acelerado.

Indiscutiblemente, la información que se despliega en un mapa, con sus llamativos colores y la facilidad que brinda para la interpretación de los datos, constituye una herramienta de gran poder para el mejor conocimiento de los aspectos geográficos de la tierra. En un mapa es posible recopilar el producto de investigaciones científicas detalladas y presentarlo en una forma comprensible a los niveles no especializados. En el área de los desastres naturales, la mayoría de los proyectos de mitigación de desastres contienen una fase inicial en la que se preparan mapas de diferentes grados de complejidad con el fin de establecer restricciones en el uso del suelo o para urgir la ejecución de intervenciones de carácter estructural en las edificaciones. Un análisis de vulnerabilidad siempre contempla esta primera etapa, la cual se complementa con información sobre aspectos poblacionales y de infraestructura.

Los SIG han surgido, de manera exitosa para cubrir la necesidad de almacenamiento de información referente al medio geográfico en que el hombre habita. La utilidad principal de un SIG radica en su capacidad para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, y para utilizar esos modelos, en algunos casos, en la simulación de los efectos que un proceso de la naturaleza o una acción antrópica produce sobre un determinado escenario en una época específica. Una vez que la información

geográfica ha sido recolectada, los SIG se convierten en instrumentos para la predicción de las tendencias del crecimiento urbano, junto con la ubicación de zonas e infraestructuras en riesgo de amenazas naturales y tecnológicos, por lo que son útiles como ayuda visual en la planificación del uso racional del suelo.

Según las investigaciones bibliográficas realizadas para esta tesis, para el diseño de SIG que manejan desastres naturales, emergencias y afines se han utilizado modelos con características propias de la localidad y del agente causante del desastre. Por tanto, se puede concluir que no existe un modelo previo que pueda ser aplicado a cualquier localidad que pueda ser afectada por cualquier agente. Por esta razón, en esta tesis se ha desarrollado un modelo espacial orientado por objetos denominado ME-DESNA que permite, a través del diseño lógico de modelado, determinar áreas susceptibles a la acción de cualquier agente que pueda causar un desastre.

Ya que todo SIG debe tener un objetivo concreto de funcionamiento, y tomando en cuenta un desastre natural como una variable con características determinísticas, puede considerarse el modelo ME-DESNA como la base para el diseño de un SIG que tenga como objetivo la determinación de áreas susceptibles a un desastre específico.

El modelo fué implementado bajo el enfoque de orientación por objeto, ya que este paradigma permite la conceptualización de los sistemas, como un conjunto de objetos con características particulares que se relacionan y que interactúan entre sí. Así, cada elemento geográfico e inclusive cada componente de la herramienta a utilizar para manejar dichos elementos, pueden conceptualizarse como objetos independientes que, según los expertos, es una manera natural del ser humano para entender el comportamiento de los sistemas complejos. Siguiendo este enfoque han surgido varios métodos de modelado. En esta tesis se escogió UML ya que es la metodología de modelado más reciente y actualizada que permite modelar sistemas, desde el diseño conceptual hasta las funcionalidades del producto final implementado. En esta tesis se usó el diagrama estático de clases para esquematizar las diferentes clases que componen del modelo ME-DESNA y se esquematizó un caso de uso para representar el funcionamiento del prototipo implementado.

Para demostrar el uso del modelo espacial ME-DESNA, se ha implementado un prototipo operativo de SIG cuyo objetivo es la determinación de áreas susceptibles de la ciudad de Mérida ante la ocurrencia del terremoto temido por toda la ciudadanía emeritense. Este prototipo permite una zonificación de vulnerabilidad del área escogida, dependiendo del grado de intensidad del terremoto.

Usando el modelo ME-DESNA, el agente causante del desastre se toma como un evento, el cual es caracterizado por medio de atributos de un patrón de comportamiento, que puede ejercer efecto sobre los elementos geográficos (representados como objetos espaciales en el modelo y como cartografía básica en la implementación), para luego extraer la información necesaria del efecto que produce dicho patrón sobre el área escogida.

Esta zonificación está basada en el tipo de construcciones de la ciudad, específicamente en los índices de subsistencia ante un terremoto de cada uno de estos tipos, los cuales fueron determinados en FUNDAPRIS. Es importante mencionar, que éstos índices fueron determinados y usados desde el año 1997 hasta el mes de Octubre del año en curso; actualmente FUNDAPRIS maneja otros índices que fueron obtenidos a mediados de este año con trabajo de campo, y aún se encuentran en una etapa de prueba. Esta es la razón por la cual no se han utilizado en esta tesis.

El área escogida de la ciudad de Mérida para la implementación del prototipo, está dividida por sectores, cuyo atributo característico es el tipo de construcción. El prototipo aquí implementado, evalúa el índice de subsistencia de cada uno de éstos sectores dependiendo del valor de intensidad del sismo dado, y hace la zonificación determinando la vulnerabilidad del sector en baja (señalada en color amarillo), media (señalada en color azul) y alta (señalada en color rojo). Esta sectorización es una herramienta útil para la determinación de planes de emergencias de FUNDEM y cualquier otra institución relacionada con la seguridad y atención pública.

La metodología para el desarrollo de SIG MEDSIG-OO se puede decir que es una metodología abierta y completa para el desarrollo de cualquier SIG. Esto en el sentido, de que la misma es una secuencia esquematizada de actividades que

involucra desde los fundamentos teóricos hasta el producto final implementado del SIG que se especifica.

La idea de modificar la metodología MEDSIG-OO con nuevas tecnologías, tendría que hacerse desde el punto de vista de Ingeniería de Software (paradigmas, métodos de modelado, métodos de diseño, etc.), ya que las nuevas tecnologías tales como videos, audio, ambiente WEB entre otras, sólo pueden ser aplicadas directamente al producto final implementado.

En general, para el área de la atención a emergencias provocadas por desastres naturales, el modelo ME-DESNA puede considerarse una herramienta de vital utilidad para el desarrollo de SIG que sirva para identificar, a priori, áreas que puedan tener algún grado de vulnerabilidad ante la amenaza de un desastre. Esto con el fin de dedicar un gran esfuerzo en reducir al máximo dicha vulnerabilidad, de tal manera que el riesgo también sea disminuido.

## 6.2. Recomendaciones

Con el modelo ME-DESNA se tiene un modelo inicial para generar SIG para la determinación de áreas susceptibles a desastres naturales en dos dimensiones. Sería conveniente que el modelo incluyera:

- Tecnología de audio, video e imágenes tal como el modelo de [TORRENS96].
- Atributos y métodos necesarios a las clases para la manipulación de una tercera coordenada. Esta pudiera ser la altura de los edificios para simular el derrumbe de los mismo, por ejemplo.

Los manejadores de SIG actuales son muy eficientes y con potencialidades casi ilimitadas. Sin embargo, éstos están basados en el modelo de datos relacional. Los avances tecnológicos han llevado la mayoría de los sistemas a desarrollarse bajo el paradigma de orientación por objetos y hacia este objetivo es la tendencia migratoria de los que no lo han hecho. En este sentido, el modelo pudiera modificarse eliminando las clases que representan el modelo relacional como lo son tabla, registro y campo y quedando el patron como objeto independiente

asociado directamente como componente del mapa. Es recomendable migrar y completar el prototipo aquí implementado usando un manejador de SIG totalmente orientado por objetos, de esta manera la transformación de las clases del modelo a estructuras implementables sería directa y por consiguiente menor el esfuerzo de programación.

Ya que de los planes de contingencia que se establezcan depende la vida y la seguridad de los ciudadanos, es de vital importancia contar siempre con datos cartográficos y descriptivos lo más actualizados posibles; además de tratar de implementar una versión más completa del prototipo aquí desarrollado, en el sentido de cubrir el máximo número de desastres naturales que puedan presentarse en la región.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## Referencias Bibliográficas

---

- [AGI91] —. *Cartography and Geographic Information Systems*. Association for Geographic Information. The British Cartographic Society, 1991. <http://www.agi.org.uk/pages/freepubs/cartography.html>.
- [ANDREW94] Andrew U. Frank and Sabine Timpf. *Multiple representations for cartographic objects in a multi-scale tree-an intelligent graphical zoom*. Comput. & Graphics. Vol. 18 No. 6. pp. 823-829, 1994.
- [ARCVIEW96] ESRI. *ArcView, The Geographic Information System for Everyone*. Environmental Systems Research Institute, Inc. United States of America. 1996.
- [AVENUE96] ESRI. *Avenue, Customization and Application Development for ArcView*. Environmental Systems Research Institute, Inc. United States of America. 1996.
- [BOSQUE92] Joaquín Bosque Sendra. *Sistemas de Información geográfica*. Primera Edición. Madrid - España, Noviembre 1992.
- [CADENAS98] Brenda L. Cadenas G. – *Algunos indicadores sísmicos para determinar las áreas vulnerables en la ciudad de Mérida y sus alrededores*. Instituto Universitario de tecnología Agro-Industrial Región Los Andes. Michelena – Venezuela.
- [CHAVEZ95] Chavez, Juan Luis. *Conversión y Extensión de una Librería de Clases de Objetos Espaciales bajo X Window*. Tesis para optar al grado de Ingeniero de Sistemas. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. Julio, 1995.

- [COLEMAN94]** Coleman Derek, Arnold Patrick, Bodoff Stephamie, Dollin Chris, Gilchrist Helena, Hayes Fiona, Jeremaes Paul. *Object Oriented Development, The fusion method*. Prentice Hall, Inc. 1994.
- [EQUILLET3]** *Enciclopedia Autodidáctica Quillet*. Tomo 3. Editorial Cumbre, S. A. México, D. F. 1976.
- [ESRI]** Environmental Systems Research Institute, Inc - ESRI. *Understanding GIS*. John Wiley & Sons, Inc. Fourth edition 1997. New York - United States of America.
- [ESRI1]** <http://www.esri.com/library/gis/index.html>
- [FUNDEM97]** - *Plan para la prevención de Emergencias pre-temporadas de lluvias en el Estado Mérida*. Fundación para el Manejo de Emergencias, Desastres Naturales y Defensa Civil del Estado Mérida. Dirección de Planificación. Coordinación de Ingeniería de Riesgos.
- [GARDELS]** Gardels, Kenn. *A Comprehensive Data Model for Distributed, Heterogeneous Geographic Information*. University of California, Berkeley, California. [http://regis.berkeley.edu/gardels/geomodel\\_def.html](http://regis.berkeley.edu/gardels/geomodel_def.html).
- [GONG89]** Gong, J. *Objetc-oriented models for thematic data management in GIS*. Technical University of Denmark. Págs. 494 - 503. European Conference on Geographical Information Systems.
- [GRANADOS98]** Granados, Gerardo. *Un modelo de Hipergrafos espaciales para el manejo de redes de servicio*. Tesis de grado para optar al grado de Magister Scientiae en Computación. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela, Mayo 1998.
- [KEMP]** Kemp, Karen K. *Easing environmental models into GIS*. [http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/santa\\_fe\\_cd\\_rom/sf\\_papers/kemp\\_karen/kemp.html](http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/santa_fe_cd_rom/sf_papers/kemp_karen/kemp.html)

- [KHOSHAFIAN90] Khoshafian S., Abnous R. *Object Orientation: Concepts, Languages, Databases, User Interfaces*. John Wiley & Sons, Inc. United States of América. 1990.
- [LANNUZZI97] Lannuzi, Luigi. *Aplicación de una metodología orientada por objetos para el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica en apoyo a la gestión y administración de desastres naturales*. 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.
- [LAROUSSE97] García Pelayo, Ramón y Gross. *Diccionario manual ilustrado Larousse*. Edición 1997. México.
- [LATTICE] <http://www.lattice.co.uk/uml.html>.
- [MATTOS93] Nelson Mattos, Klaus Meyer-Wegener and Bernhard Mitschang. *Grand tour of concepts for object-orientation from a database point of view*. Data & Knowledge Engineering 9. North Holland. 1993.
- [MEGA96] Grupo de trabajo MEGA. *Especificación y Diseño de una librería de Hipermapas en Smalltalk*. Proyecto final del curso de Ingeniería de Software del Postgrado en Computación. Mérida - Venezuela. Julio, 1996.
- [MONTILVA93] Montilva, Jonás. *An Integration method applied to desing of a data/knowledge model for multimedia and spatial applications*. Ph. D. Thesis. University of Leeds, School of Computer Studies, Leeds, England, 1993.
- [MONTILVA94] Montilva, Jonás. *A spatial graph model for managing service networks in geographical information systems*. Grupo de Investigación en Ingeniería de Datos y Conocimiento, GIDyC. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Sistemas. Departamento de Computación. Mérida - Venezuela. 1994.

- [MONTILVA95] Montilva, Jonás. *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica*. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Sistemas. Departamento de Computación. Mérida - Venezuela. 1995.
- [MONTILVA96] Montilva, Jonás. *Una Introducción a las bases de datos orientadas por objetos*. Postgrado en Computación. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. Septiembre, 1996.
- [MONTILVA97] Montilva, Jonás. *An Object-Oriented Method for Designing Geographical Information Systems*. World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, SCI'97. Proceedings Volume 1. Caracas - Venezuela. July 7-11,1997.
- [OJEDA94] Ojeda, Eliana. *Diseño, Especificación e Implementación de Hipermapas*. Tesis para optar al grado de Ingeniero de Sistemas. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. Mayo, 1994.
- [OJEDA96] Ojeda, Eliana. *Diseño de interfaces de usuarios para SIG orientados por objetos con capacidades multimedia*. Postgrado en Computación. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. Septiembre, 1996
- [PATERSON93] Paterson, O. *Referencias conceptuales en el abordaje de los Desastres Naturales*. Revista Geográfica de América Central. No. 28. II Semestre de 1993.
- [PRIMER] <http://www.innovativegis.com/education/primer/nature.html>
- [QUILLET3] *Diccionario enciclopédico Quillet*. Tomo 3 pág. 281. Editorial Cumbre, S. A. México, D. F. 1978.
- [QUILLET4] *Diccionario enciclopédico Quillet*. Tomo 4 págs. 317, 318 y 436. Editorial Cumbre, S. A. México, D. F. 1978.
- [QUILLET5] *Diccionario enciclopédico Quillet*. Tomo 5 págs. 96 y 206. Editorial Cumbre, S. A. México, D. F. 1978.

- [QUILLET8] *Diccionario enciclopédico Quillet*. Tomo 8 págs. 540 y 541. Editorial Cumbre, S. A. México, D. F. 1978.
- [RATIONALDE] <http://140.116.72.45/~canseco/tech/uml/notation/notation2.html>.
- [RATIONALIN] <http://140.116.72.45/~canseco/tech/uml/semantics/semant1.html>.
- [REYNOLDS] Reynolds, Harold. *An Introduction to Geographical Information Systems (GIS)*. <http://www.geog.utoronto.ca/reynolds/images/gisintro.html>
- [ROBERTS91] S. A. Roberts, M. N. Gahegan, J. Hogg and B. Hoyle. *Application of object-oriented databases to geographic information systems*. Information and Software Technology, Vol.33, No. 1, 1991, pp. 38-46.
- [ROZO97] Rozo Avila, Luisa Fernanda. *Identificación y Evaluación de sitios óptimos para el establecimiento de centros de atención médica especializada (CAMEs) en situación de desastre sísmico*. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Gestion de Recurso Naturales Renovables y Medio Ambiente. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela, 1997
- [RUMBAUGH91] Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., Lorensen, W. *Object-Oriented Modeling and Design*. Prentice Hall, Inc. 1991. New Jersey -United States of America.
- [SALUD94] – *Hacia un mundo más seguro frente a los desastres naturales: La trayectoria de América Latina y el Caribe*. Decenio Internacional para la reducción de los Desastres Regionales. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. 1994.
- [SHUBERT] Carlos Shubert – *Los terremotos en Venezuela y su origen*. Cuadernos Lagoven.

**[TORRÉNS96] Torréns, Rodrigo.** *Extensión del Modelo de Hipermapas con Audio, Imágenes y Video.* Tesis para optar al grado de Ingeniero de Sistemas. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. Mayo, 1996.

**[ULLMAN80] Jeffrey D. Ullman** – *Principles of Database Systems.* Computer Science Press, Inc. 1980. Maryland - United States of America.

**[UML1]** <http://agamenon.uniandes.edu.co/~pfiguero/soo/uml>.

**[UML2]** <http://hebb.cis.uoguelph.ca/~deb/27320/S98/Uml.1.html>.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

# Apéndice A - Formación del relieve terrestre: Orogénesis

---

*Orogénesis: término geológico. Es el proceso de la formación de las montañas y del relieve positivo de la tierra en general. [QUILLETVI]*

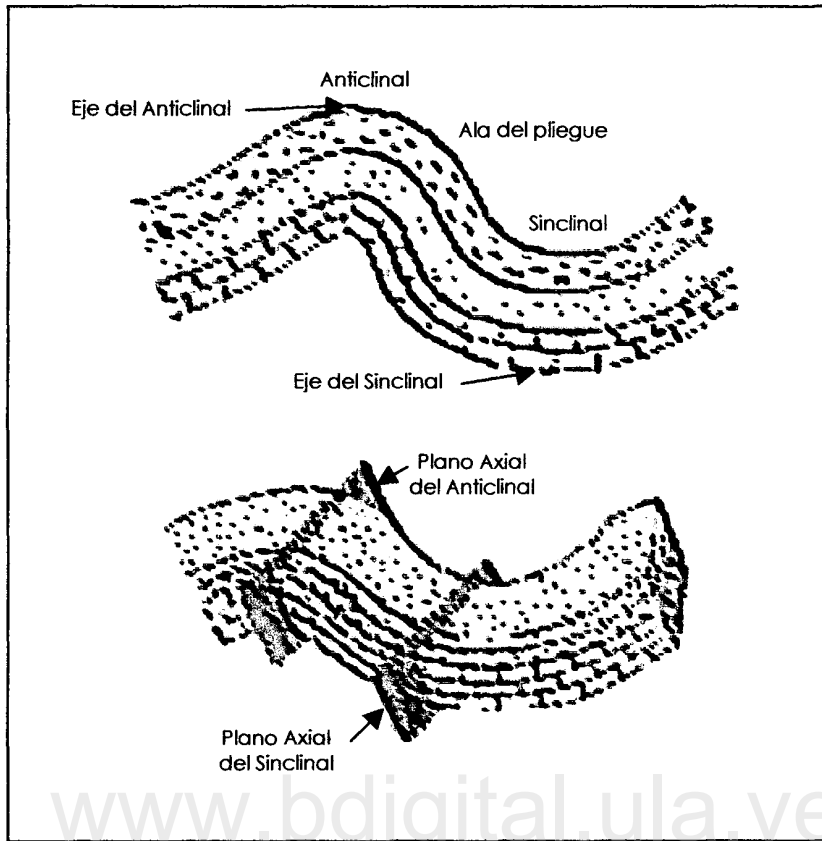
Normalmente, los sedimentos se depositan, formando capas o estratos, en posición horizontal, salvo casos especiales en que éstos se forman originalmente paralelos sobre planos ya inclinados de una cuenca.

Para que los estratos sedimentarios pierdan su posición horizontal es necesario que sean sometidos a fuertes presiones que lleguen a plegar, fracturar o inclinar estas capas, sea cual sea su grado de consolidación.

Estas enormes presiones se deben a fuerzas propias de la tierra, llamadas fuerzas orogénicas, y que son las causantes de las montañas, las cuales se forman por dos causales: plegamientos y fallas.

## **Plegamientos**

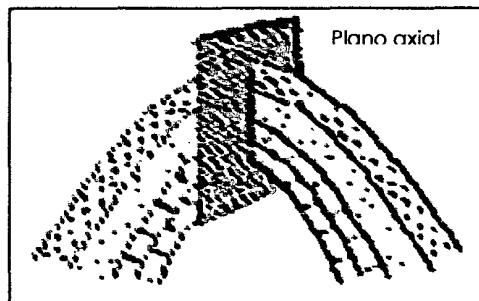
Los pliegues de los estratos se forman siempre perpendicularmente por efecto de una fuerza de compresión. Están compuesto de dos partes principales: *el anticlinal*, o parte elevada o convexa del pliegue, y *el sinclinal*, o parte cóncava o deprimida, unidos por el *ala del pliegue* (figura A.1). La línea que pasa por la parte más elevada el eje del pliegue (anticlinal), o la inferior de un siclinal se llama *eje del pliegue* y el plano que pasa por el eje del pliegue en forma perpendicular al mismo y reuniendo los ejes de todas las capas que forman el pliegue es llamado *plano axial*.



**Figura A.1: Ejemplo de pliegue completo y sus partes**

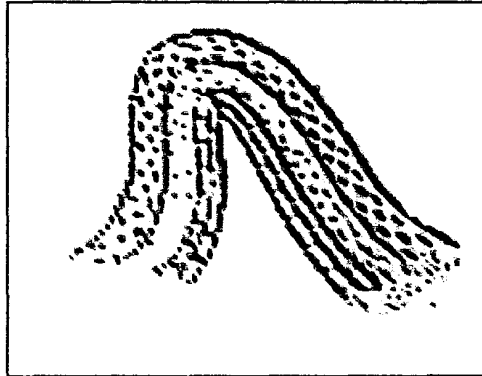
Partiendo de este tipo fundamental de pliegue hay una gran variedad de formas, según su posición y desarrollo; a saber:

- **Simétrico:** en el que las alas se inclinan con un mismo ángulo con respecto al plano axial vertical (figura A.2).



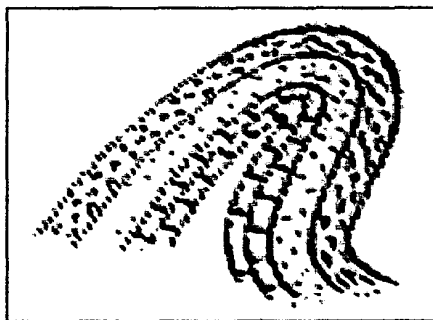
**Figura A.2: Ejemplo de pliegue simétrico**

- **Asimétrico:** en el que las alas no se inclinan con un mismo ángulo y el plano axial no es vertical. Según su forma pueden ser:
  - **Inclinado:** el plano axial se aleja de la vertical, al ángulo de inclinación de las alas es distinto y éstas se dirigen a distintos lugares (figura A.3).



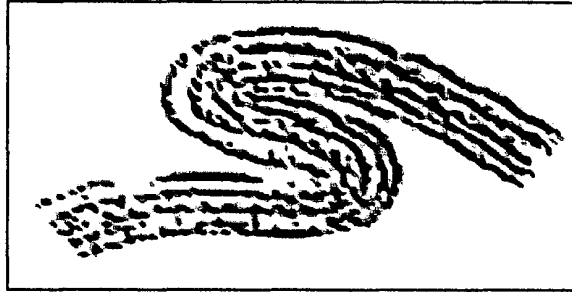
**Figura A.3: Ejemplo de pliegue inclinado**

- **Isoclinal:** el plano axial se aleja de la vertical, pero las alas del pliegue son paralelas y en consecuencia se inclinan hacia el mismo lado (figura A.4).



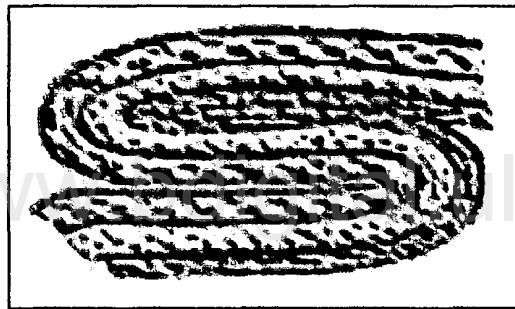
**Figura A.4: Ejemplo de pliegue isoclinal**

- **Volcado:** el plano axial está alejado de la vertical, sus alas se inclinan hacia el mismo lado pero con ángulos diferentes (figura A.5).



**Figura A.5: Ejemplo de pliegue volcado**

- **Acostado:** el plano axial está próximo a la horizontal (figura A.6).



**Figura A.6: Ejemplo de pliegue acostado**

### **Fallas o paraclasa**

Si los estratos no tienen suficiente plasticidad con pliegues a la presión, lo hacen fracturándose a lo largo de fallas o fracturas sobre cuyos planos se deslizan los bloques unos con respecto a los otros. Este deslizamiento que puede ser horizontal o vertical, se denomina rechazo de la falla.

Las fallas se reúnen en cuatro tipos principales:

- **Verticales:** aparecen cuando los estratos son horizontales y el rechazo es vertical (figura A.7).

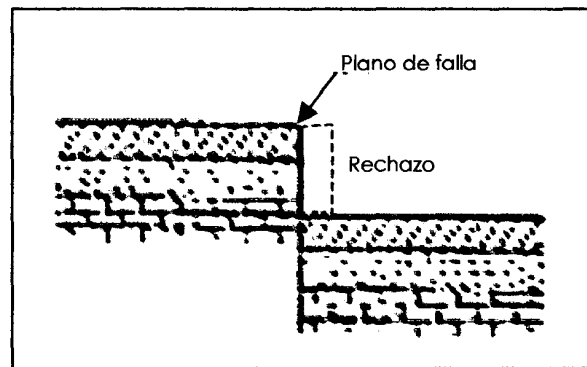


Figura A.7: Falla vertical

- **Paralela:** el plano de falla es paralelo a la estratificación (figura A.8).

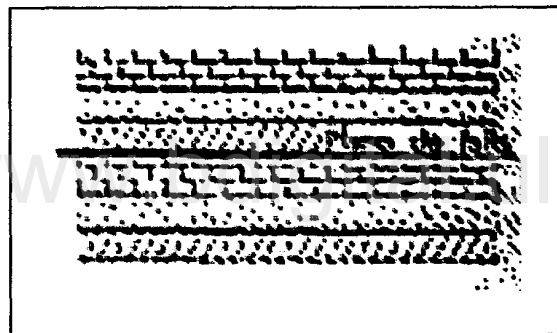
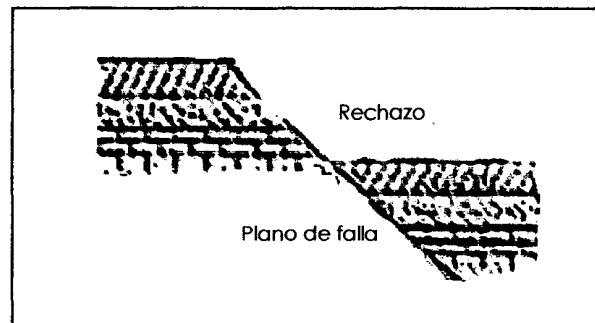


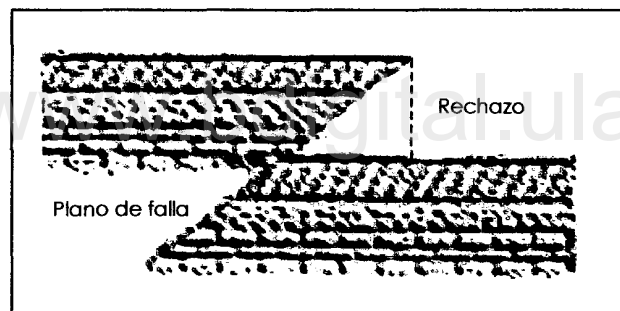
Figura A.8: Falla paralela

- **Directa:** el plano de falla es oblicuo con respecto a la estratificación y los estratos situados por debajo del plano de falla han descendido con respecto de aquellos situados por arriba, es decir, se produce una distinción del área previamente ocupada por los estratos (figura A.9).



**Figura A.9: Falla directa**

- **Inversa:** el plano de falla es oblicuo con respecto a la estratificación y los estratos situados por debajo del plano de falla son montados por los situados por arriba, es decir, hay una reducción del área previamente ocupada por los estratos (figura A.10).



**Figura A.10: Falla inversa**

Cualquiera de las fallas descritas anteriormente pueden dar origen a montañas, que en este caso se denominarán montañas de fracturación y a valles más o menos profundos: valles de fracturación.

Existe otro tipo de fractura llamado diaclasa. Este tipo de fractura no tiene movimiento apreciable a lo largo de su plano de fractura; este plano no debe ser necesariamente recto, ya que puede tener concavidades y rigurosidades. Si los planos de las diaclasas sólo se abren cuando las rocas se golpea, y según planos definidos, se trata de las diaclasas cerradas. Si por el contrario, se ve

una separación de la roca por el plano de la diaclasa, sin golpe, se trata de diaclasa abierta o *fisura*.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

# Apéndice B - Lenguaje de Modelado Unificado UML

---

## Diagrama de estructura estática

Un diagrama de estructura estática muestra el conjunto de clases y objetos importantes que hacen parte de un sistema, junto con las relaciones existentes entre estas clases y objetos. Muestra de una manera estática la estructura de información del sistema y la visibilidad que tiene cada una de las clases, dada por sus relaciones con las demás en el modelo.

### Clase

Una clase es representada por un rectángulo con tres divisiones internas, son los elementos fundamentales del diagrama. Una clase describe un conjunto de objetos con características y comportamiento idéntico. Los tres compartimientos estándares alojan el nombre de la clase, sus atributos y sus operaciones, respectivamente.

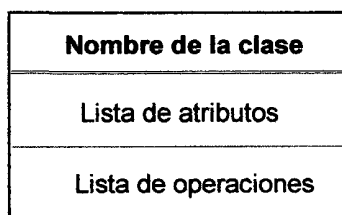


Figura B.1: Representación de una clase

### Atributo

Identifican las características propias de cada clase. Generalmente son de tipos simples, ya que los atributos de tipos compuestos se representan

mediante asociaciones de composición con otras clases. La sintáxis de un atributo es:

*visibilidad <nombre> : tipo-expresión = valor inicial*

Donde *visibility* es uno de los siguientes:

*+ visibilidad pública*

*# visibilidad protegida*

*- visibilidad privada*

*tipo-expresión* es el tipo del atributo con nombre *<nombre>*. Puede especificarse como se ve un valor inicial y un conjunto de propiedades del atributo.

## Operación

El conjunto de operaciones describen el comportamiento de los objetos de una clase. La sintáxis de una operación en UML es

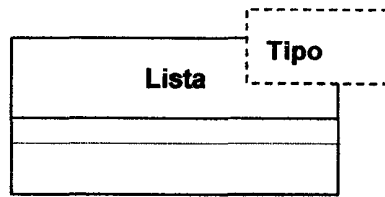
*visibilidad <nombre> (parámetros) : tipo-expresión de retorno*

Cada uno de los parámetros se denotan igual que un atributo. Los demás elementos son los mismos encontrados en la notación de un atributo.

## Clase paramétrica

Una clase paramétrica representa el concepto de clase genérica en los conceptos básicos OO. Se dibuja como una clase acompañada de un rectángulo en la esquina superior derecha, con los parámetros del caso.

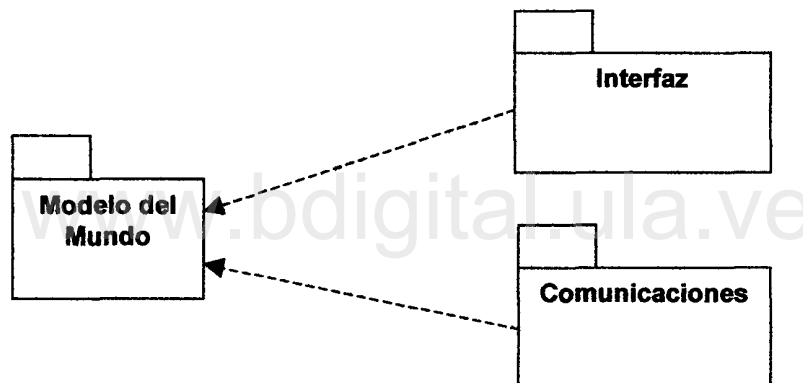
Por ejemplo, la clase Lista que utiliza un parámetro formal *Tipo* se vería de la siguiente manera:



**Figura B.2: Representación de clase paramétrica**

### Paquete

Un paquete es una forma de agrupar clases (u otros elementos en otro tipo de diagramas) en modelos grandes. Pueden tener asociaciones de dependencia o de generalización entre ellos.



**Figura B.3: Representación de paquete**

En este caso existen tres paquetes (que se muestran vacíos en este caso, con su contenido encapsulado), con dos de ellos dependiendo del Modelo del Mundo

### Dependencia

Denota una relación semántica entre dos elementos (clases o paquetes) del modelo. Indica que cambiar el elemento independiente puede requerir cambios en los dependientes. Se muestra como una línea punteada direccional, indicando el sentido de la dependencia. Puede tener por medio de estereotipos una explicación del tipo de dependencia presentada.

En el ejemplo anterior pueden verse dos relaciones de dependencia hacia el paquete Modelo del Mundo.

### **Nota**

Es un comentario dentro de un diagrama. Puede estar relacionado con uno o más elementos en el diagrama mediante líneas punteadas. Pueden representar aclaraciones al diagrama o restricciones sobre los elementos relacionados (cuando el texto se encuentra entre '['y ']'). Se representa mediante un rectángulo con su borde superior derecho doblado.

Los conceptos que a continuación se presentan muestran posibilidades adicionales de descripción en un modelo orientado por objetos. Aunque los conceptos fundamentales y más frecuentemente usados se describieron en los conceptos básicos, éstos completan el poder de expresión.

### **Asociación (rol, multiplicidad, cualificador)**

Una asociación en general es una línea que une dos o más símbolos. Pueden tener varios tipos de adornos, que definen su semántica y características. Los tipos de asociaciones entre clases presentes en un diagrama estático son:

1. Asociación binaria
2. Asociación n-aria
3. Composición
4. Generalización

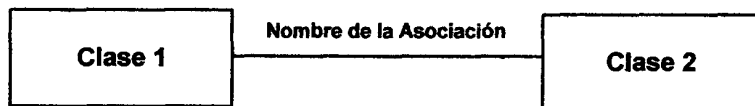
Cada asociación puede presentar algunos elementos adicionales que dan detalle a la relación, como son:

**Rol:** Identificado como un nombre al final de la línea, describe la semántica de la relación en el sentido indicado.

**Multiplicidad:** Describe la cardinalidad de la relación.

### Asociación binaria

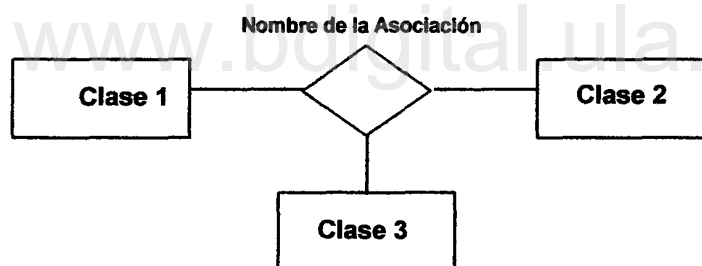
Se identifica como una línea sólida que une dos clases. Representa una relación de algún tipo entre las dos clases, no muy fuerte (es decir, no se exige dependencia existencial ni encapsulamiento).



**Figura B.4: Representación de asociación binaria**

### Asociación n-aria

Es una forma de expresar una relación entre tres o más clases. Se representa como un diamante del cual salen líneas de asociación a las clases.



**Figura B.5: Representación de asociación n-aria**

En este caso se tiene una relación ternaria entre las clases Year, Team y Player. A cada terna de objetos <año, equipo, jugador> corresponde un objeto de tipo Record (clase de asociación).

### Composición

Es una asociación fuerte, que implica tres cosas:

- **Dependencia existencial.** El elemento dependiente desaparece al destruirse el que lo contiene y, si es de cardinalidad 1, es creado al mismo tiempo.
- **Hay una pertenencia fuerte.** Se puede decir que el objeto contenido es parte constitutiva y vital del que lo contiene
- **Los objetos contenidos no son compartidos,** esto es, no hacen parte del estado de otro objeto.

Se denota dibujando un rombo relleno del lado de la clase que contiene a la otra en la relación.

Existe también una relación de composición menos fuerte (no se exige dependencia existencial) que es denotada por una un rombo sin rellenar en uno de los extremos.

### **Generalización**

La relación de generalización denota una relación de herencia entre clases. Se representa dibujando un triángulo sin rellenar en el lado de la superclase. La subclase hereda todos los atributos y mensajes descritos en la superclase.

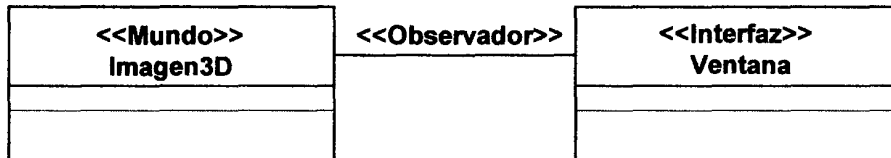
### **Conceptos avanzados en un Diagrama de estructuras estática**

Los conceptos que a continuación se presentan muestran posibilidades adicionales de descripción en un modelo orientado por objetos. Aunque los conceptos fundamentales y más frecuentemente usados se describieron en los conceptos básicos, éstos completan el poder de expresión.

### **Estereotipo**

Las clases (y demás elementos notacionales en los diagramas) pueden estar clasificados de acuerdo a varios criterios, como por ejemplo su objetivo dentro

de un programa. Esta clasificación adicional se expresa mediante un estereotipo.

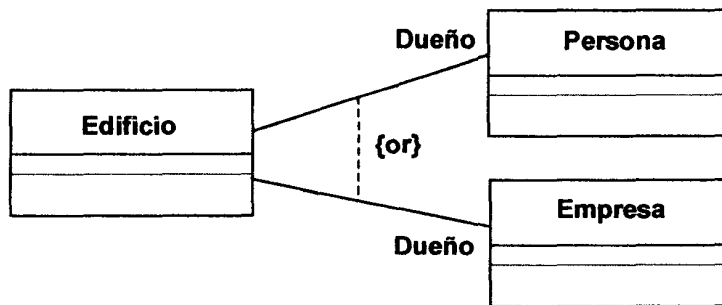


**Figura B.6: Representación de estereotipo**

En el ejemplo anterior *Imagen3D* está clasificado con el estereotipo *Mundo*, y la clase *Ventana* con el de *interfaz*. Nótese que las relaciones pueden tener esta clasificación también. En este caso la relación se identifica como *Observador*.

### Asociación “or”

En algunas ocasiones es necesario describir que una clase esta relacionada con un objeto de una u otra clase. Esto se denota por medio de una relación or exclusiva. Su representación es una línea punteada que une dos asociaciones, junto con la aclaración (por medio de una propiedad) del tipo de asociación.

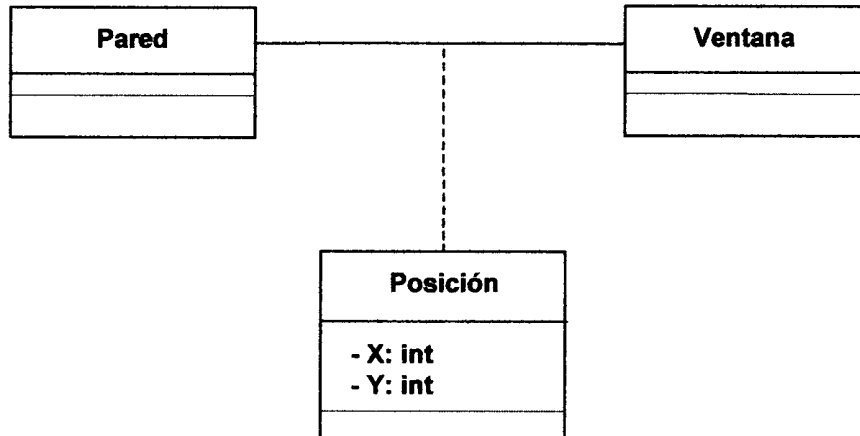


**Figura B.7: Representación de asociación OR**

En el ejemplo anterior un automovil puede tener como dueño una persona natural o una empresa (pero no ambos).

### Clase de asociación

Una clase de asociación es información de detalle. Se denota como una clase relacionada por una línea punteada a una asociación.



**Figura B.8: Representación de clase de asociación**

En este caso existe una relación entre Muro y Ventana, la cual tiene como detalle un objeto de la clase Posición. Cabe notar que este objeto no podría tomarse como atributo de Muro o Ventana, ya que el contexto de su existencia está dado precisamente por la relación entre las dos clases.

### Conceptos de un diagrama de Casos de Uso

Un diagrama de Casos de Uso muestra las distintas operaciones que se esperan de una aplicación o sistema y cómo se relaciona con su entorno (usuarios u otras aplicaciones).

#### Caso de uso

Se representa en el diagrama por una elipse, denota un requerimiento solucionado por el sistema. Cada caso de uso es una operación completa desarrollada por los actores y por el sistema en un diálogo. El conjunto de casos de uso representa la totalidad de operaciones desarrolladas por el sistema. Va acompañado de un nombre significativo.

## Actor

Es un usuario del sistema, que necesita o usa algunos de los casos de uso. Se representa mediante un,



acompañado de un nombre significativo, si es necesario.

## Relaciones en un diagrama de casos de uso

Entre los elementos de un diagrama de Casos de uso se pueden presentar tres tipos de relaciones, representadas por líneas dirigidas entre ellos (del elemento dependiente al independiente)

- **Comunica (communicates).** Relación entre un actor y un caso de uso, denota la participación del actor en el caso de uso determinado. En un diagrama todas las líneas que salen del actor denotan este tipo de relación.
- **Usa (uses).** Relación entre dos casos de uso, denota la inclusión del comportamiento de un escenario en otro.
- **Extiende (extends).** Relación entre dos casos de uso, denota cuando un caso de uso es una especialización de otro.

## Conceptos básicos en un Diagrama de Secuencia

Un diagrama de secuencia muestra la interacción de un conjunto de objetos en una aplicación a través del tiempo. Esta descripción es importante porque puede dar detalle a los casos de uso, aclarándolos al nivel de mensajes de los objetos existentes, como también muestra el uso de los mensajes de las clases diseñadas en el contexto de una operación.

### **Línea de vida de un objeto**

Un objeto se representa como una línea vertical punteada con un rectángulo de encabezado y con rectángulos a través de la línea principal que denotan la ejecución de métodos. El rectángulo de encabezado contiene el nombre del objeto y el de su clase, en un formato *nombreObjeto: nombreClase*.

### **Activación**

Muestra el periodo de tiempo en el cual el objeto se encuentra desarrollando alguna operación, bien sea por sí mismo o por medio de delegación a alguno de sus atributos. Se denota como un rectángulo delgado sobre la línea de vida del objeto.

### **Mensaje**

El envío de mensajes entre objetos se denota mediante una línea sólida dirigida, desde el objeto que emite el mensaje hacia el objeto que lo ejecuta.

## **Conceptos avanzados en un Diagrama de Secuencia**

### **Tiempos de transición**

En un ambiente de objetos concurrentes o de demoras en la recepción de mensajes, es útil agregar nombres a los tiempos de salida y llegada de mensajes. Analizando la recepción de una llamada telefónica puede tenerse un diagrama como el siguiente:

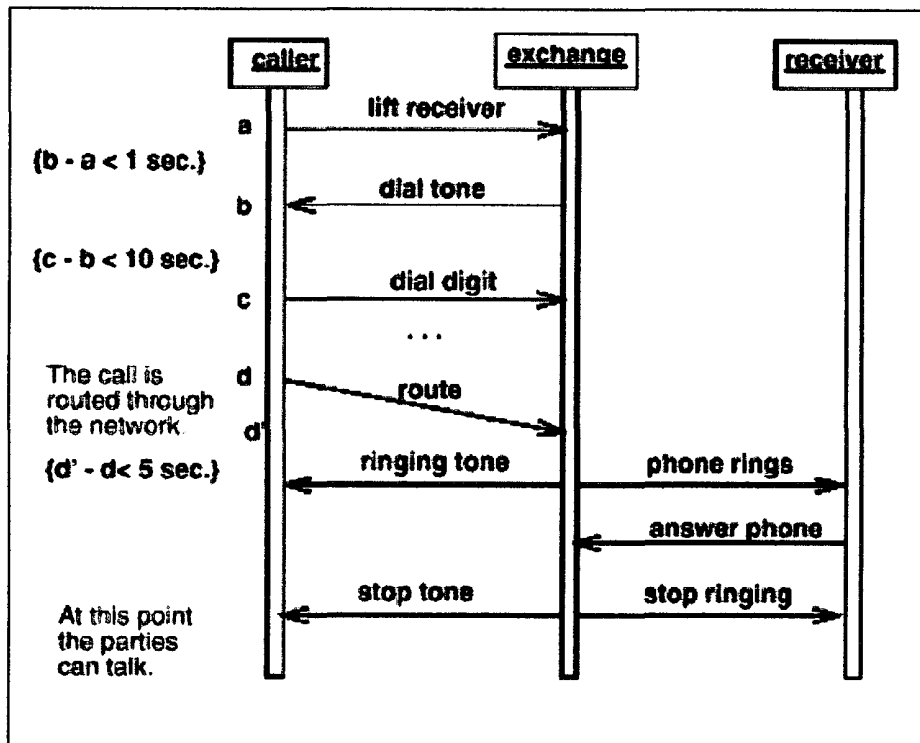


Figura B.9: Representación de tiempo de transición. Tomado de [UML1]

En este diagrama se tienen tres objetos concurrentes, el que hace la llamada, la central telefónica y el que recibe la llamada. se nombran los tiempos de los mensajes que envía o recibe el caller (**a** para descolgar, **b** para el tono de la llamada, **c** para la marcación, **d** para el inicio del enrutamiento de la llamada, **d'** para la finalización del enrutamiento). Estos nombres o tiempos de transición permiten describir restricciones de tiempo (por ejemplo  $b - a < 1 \text{ sec.}$ ) o demoras entre el envío y la recepción (entre **d** y **d'**).

### Condiciones caminos alternativos de ejecución. Concurrencia

En algunos casos sencillos pueden expresarse en un diagrama de secuencia alternativas de ejecución. Estas alternativas pueden representar condiciones en la ejecución o diferentes hilos de ejecución (threads).

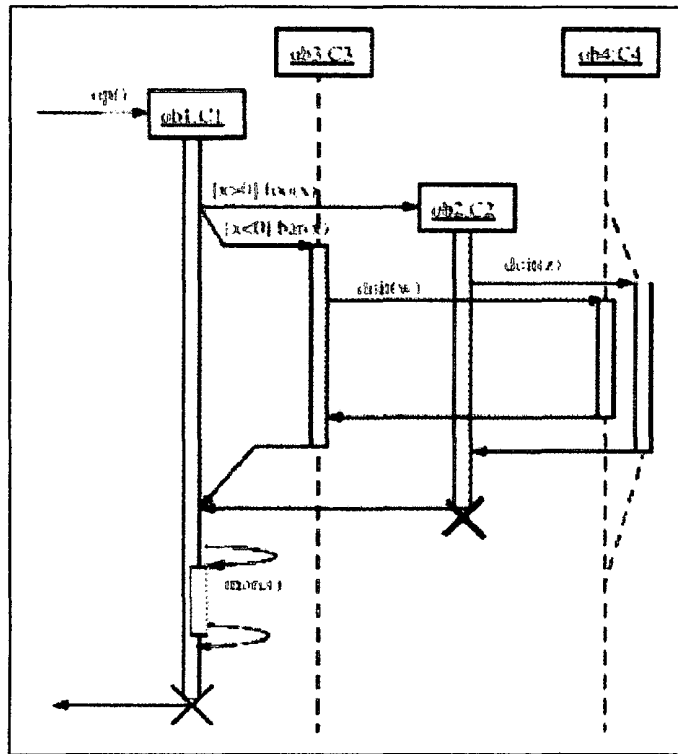


Figura B.10: Representación de concurrencia. Tomado de [UML1]

En el diagrama anterior se muestran dos casos. **ob1** muestra una condición al enviar un mensaje a **ob3** o a **ob2**, dependiendo de si  $x > 0$  o  $x < 0$ . Estas dos líneas de ejecución se vuelven a unir más adelante, indicando el fin del condicional. Por otra parte **ob4** muestra dos posibles operaciones dependiendo de si se siguió la condición  $x > 0$  o  $x < 0$ . Ya que se presentan en el mismo instante de tiempo, se requiere dividir la línea del objeto en dos (esta misma representación se utiliza para el caso de dos hilos de ejecución).

### Dstrucción de un objeto

Se representa como una X al final de la línea de ejecución del objeto. Por ejemplo, en el diagrama anterior se muestra el final de **ob2** y de **ob1**.

## Métodos recursivos

Un ejemplo de un método recursivo es el método **more** en **ob1**. Es un rectángulo un poco salido de la activación principal y con líneas de llamado de mensajes, que indican la entrada y salida de la recursión.

## Conceptos básicos en un Diagrama de Colaboración

Un diagrama de colaboración es una forma de representar interacción entre objetos, alterna al diagrama de secuencia. A diferencia de los diagramas de secuencia, pueden mostrar el contexto de la operación (cuáles objetos son atributos, cuáles temporales, ... ) y ciclos en la ejecución.

## Objeto

Un objeto se representa con un rectángulo, que contiene el nombre y la clase del objeto en un formato *nombreObjeto: nombreClase*.

## Enlaces

Un enlace es una instancia de una asociación en un diagrama de clases. Se representa como una línea continua que une a dos objetos. Esta acompañada por un número que indica el orden dentro de la interacción y por un estereotipo que indica que tipo de objeto recibe el mensaje. Pueden darse varios niveles de subíndices para indicar anidamiento de operaciones. Los estereotipos indican si el objeto que recibe el mensaje es un atributo (*association* y se asume por defecto), un parámetro de un mensaje anterior, si es un objeto local o global.

## Flujo de mensajes

Expresa el envío de un mensaje. Se representa mediante una flecha dirigida cercana a un enlace.

### Marcadores de creación y destrucción de objetos

Puede mostrarse en la gráfica cuáles objetos son creados y destruidos, agregando una restricción con la palabra *new* o *delete*, respectivamente, cercana al rectángulo del objeto.

### Objeto compuesto

Es una representación alternativa de un objeto y sus atributos. En esta representación se muestran los objetos contenidos dentro del rectángulo que representa al objeto que los contiene. Un ejemplo es el siguiente objeto ventana

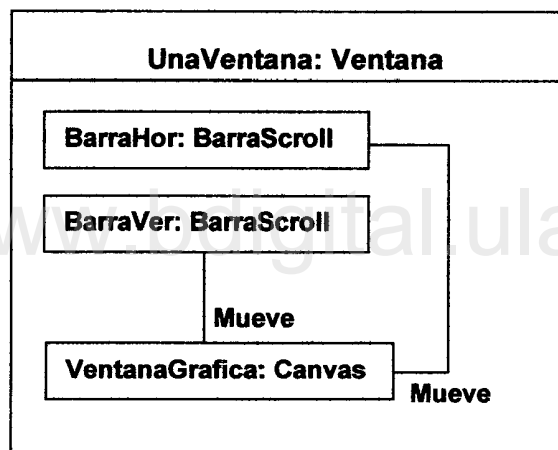


Figura B.11: Representación de objeto compuesto

### Conceptos avanzados en un Diagrama de Colaboración

#### Patrón de diseño

Un diagrama de colaboración puede especificar un contrato entre objetos, parte esencial para la descripción de un patrón de diseño. Este diagrama contiene todos los elementos citados de un diagrama de colaboración, dejándolo libres posiblemente los tipos exactos de algunos objetos o con nombres genéricos para los mensajes. Una "instanciación" del patrón se representa

como una elipse unida mediante flechas puenteadas a los objetos o clases que participan realmente en el patrón. Estas flechas pueden tener roles, indicando cuál es el papel de cada elemento dentro del patrón. Por ejemplo, una instancia del patrón de observador puede verse como

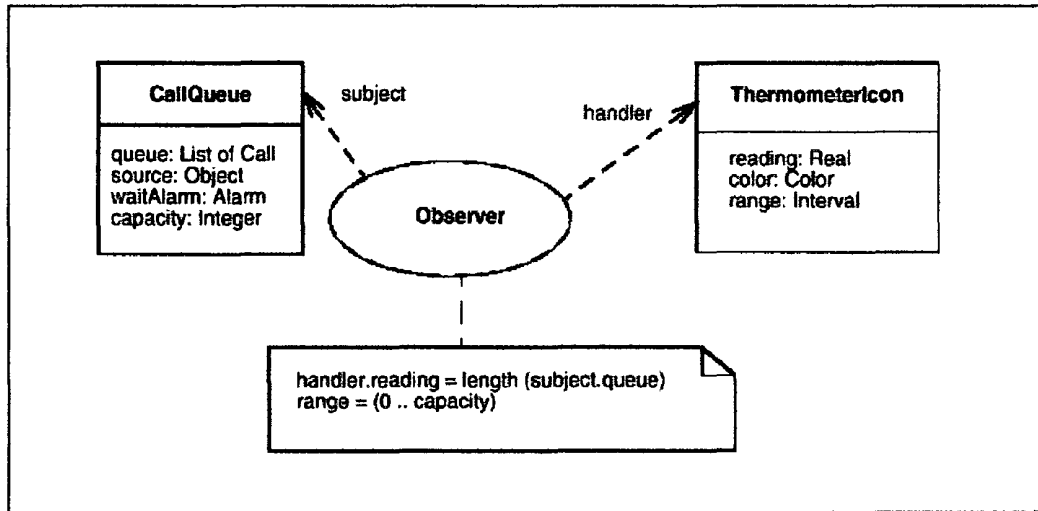


Figura B.12: Patrón de diseño

### Contexto

Un contexto es una vista de uno o más elementos dentro del modelo que colaboran en el desarrollo de una acción. Se usa para separar los demás elementos en el modelo de este problema en particular y darle énfasis. Puede mostrar solo los detalles relevantes de las clases u objetos que contiene, para resaltar su utilidad.

### Objeto activo

Un objeto activo es el que contiene su propio flujo de control, a diferencia de un objeto pasivo que encapsula datos y solo reacciona al enviarle mensajes. Un objeto activo se representa con un rectángulo de bordes gruesos. Puede contener otros objetos pasivos o activos.

## Conceptos básicos en un Diagrama de Estados

Muestra el conjunto de estados por los cuales pasa un objeto durante su vida en una aplicación, junto con los cambios que permiten pasar de un estado a otro.

### Estado

Identifica un periodo de tiempo del objeto (no instantáneo) en el cual el objeto esta esperando alguna operación, tiene cierto estado característico o puede recibir cierto tipo de estímulos. Se representa mediante un rectángulo con los bordes redondeados, que puede tener tres compartimientos: uno para el nombre, otro para el valor característico de los atributos del objeto en ese estado y otro para las acciones que se realizan al entrar, salir o estar en un estado (*entry*, *exit* o *do*, respectivamente).

### Eventos

Es una ocurrencia que puede causar la transición de un estado a otro de un objeto. Esta ocurrencia puede ser una de varias cosas:

- Condición que toma el valor de verdadero o falso
- Recepción de una señal de otro objeto en el modelo
- Recepción de un mensaje
- Paso de cierto período de tiempo, después de entrar al estado o de cierta hora y fecha particular

El nombre de un evento tiene alcance dentro del paquete en el cual está definido, no es local a la clase que lo nombre.

### Envío de mensajes

Además de mostrar y transición de estados por medio de eventos, puede representarse el momento en el cual se envían mensajes a otros objetos. Esto se realiza mediante una línea punteada dirigida al diagrama de estados del objeto receptor del mensaje. Si tomamos como ejemplo un control remoto que puede enviar órdenes de encender o apagar al televisor o a la videograbadora se puede obtener un diagrama de estados como el siguiente:

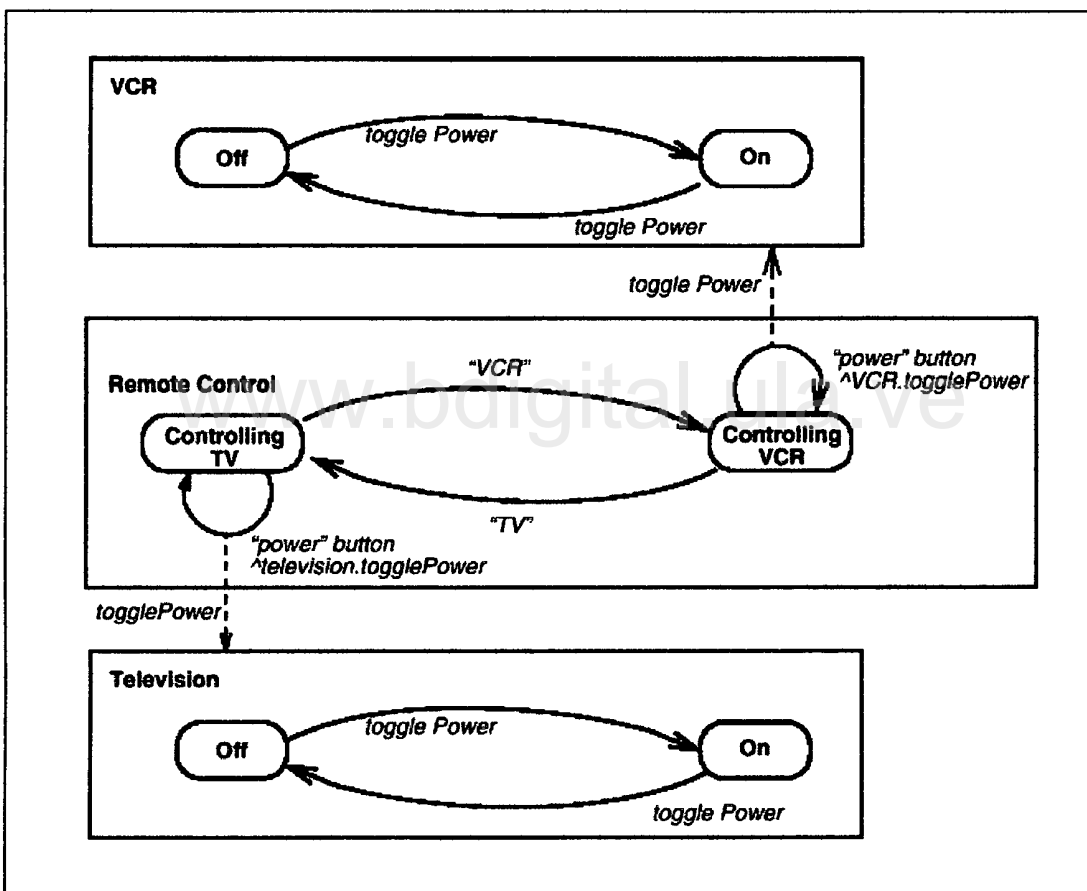


Figura B.13: Proceso de envío de mensajes. Tomado de [UML1]

Los tres aparatos tienen diagramas de estados separados y algunas de las transiciones del control remoto causan el envío de mensajes (*togglePower*) a los otros aparatos.

### Transición simple

Una transición simple es una relación entre dos estados que indica que un objeto en el primer estado puede entrar al segundo estado y ejecutar ciertas operaciones, cuando un evento ocurre y si ciertas condiciones son satisfechas. Se representa como una línea sólida entre dos estados, que puede venir acompañada de un texto con el siguiente formato:

*event-signature* [*guard-condition*] *'/'* *action-expression* *'^'* *send-clause*

*event-signature* es la descripción del evento que da a lugar la transición, *guard-condition* son las condiciones adicionales al evento necesarias para que la transición ocurra, *action-expression* es un mensaje al objeto o a otro objeto que se ejecuta como resultado de la transición y el cambio de estado y *send-clause* son acciones adicionales que se ejecutan con el cambio de estado, por ejemplo, el envío de eventos a otros paquetes o clases.

### Transición interna

Es una transición que permanece en el mismo estado, en vez de involucrar dos estados distintos. Representa un evento que no causa cambio de estado. Se denota como una cadena adicional en el compartimiento de acciones del estado.

## Conceptos avanzados en un Diagrama de Estados

### Subestados

Un estado puede descomponerse en subestados, con transiciones entre ellos y conexiones al nivel superior. Las conexiones se ven al nivel inferior como estados de inicio o fin, los cuales se suponen conectados a las entradas y salidas del nivel inmediatamente superior. Un ejemplo es el estado *marcando* de un teléfono puede descomponerse en *Inicio* y *marcado parcial*, como lo muestra la siguiente figura.

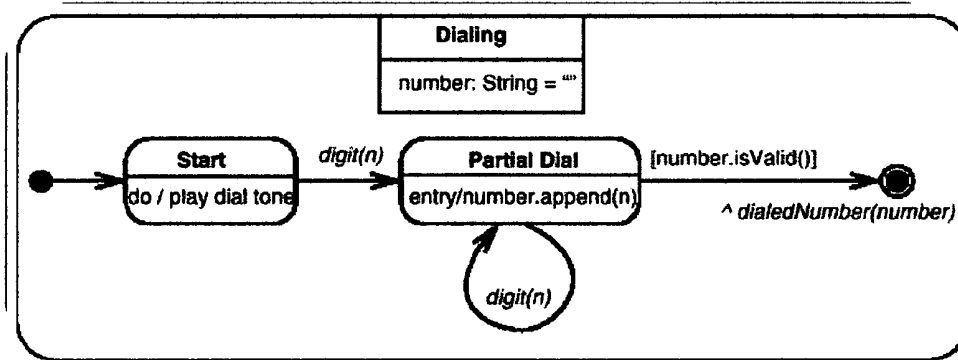


Figura B.14: Diagrama de subestados

### Transición compleja

Una transición compleja relaciona tres o más estados en una transición de múltiples fuentes y/o múltiples destinos. Representa la subdivisión en threads del control del objeto o una sincronización. Se representa como una línea vertical del cual salen o entran varias líneas de transición de estado. En el ejemplo que sigue se muestra una transición a dos threads concurrentes que luego se sincronizan.

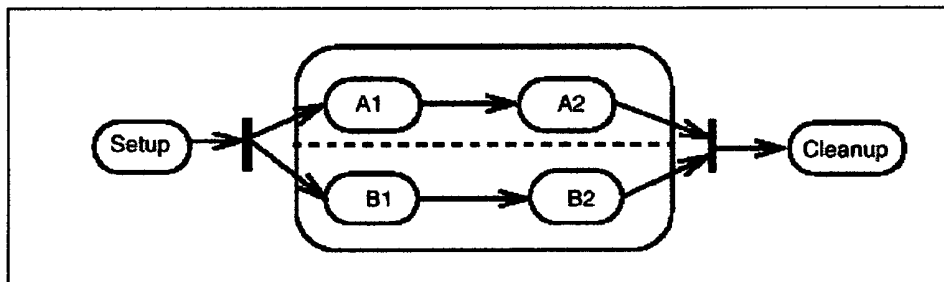


Figura B.15: Transición de estados compleja. Tomado de [UML1]

### Transición a estados anidados

Una transición de hacia un estado complejo (descrito mediante estados anidados) significa la entrada al estado inicial del subdiagrama. Las transiciones que salen del estado complejo se entienden como transiciones desde cada uno de los subestados hacia afuera (a cualquier nivel de profundidad).

## **Conceptos de un Diagrama de Actividades**

Un diagrama de actividades es un caso especial de un diagrama de estados en el cual casi todos los estados son estados de acción (identifican que acción se ejecuta al estar en él) y casi todas las transiciones son enviadas al terminar la acción ejecutada en el estado anterior. Puede dar detalle a un caso de uso, un objeto o un mensaje en un objeto. Sirven para representar transiciones internas, sin hacer mucho énfasis en transiciones o eventos externos. Generalmente modelan los pasos de un algoritmo.

### **Estado de acción**

Representa un estado con acción interna, con por lo menos una transición que identifica la culminación de la acción (por medio de un evento implícito). No deben tener transiciones internas ni transiciones basadas en eventos (si este es el caso, represéntelo en un diagrama de estados). Permite modelar un paso dentro del algoritmo. Se representan por un rectángulo con bordes redondeados.

### **Transiciones**

Las flechas entre estados representan transiciones con evento implícito. Pueden tener una condición en el caso de decisiones.

### **Decisiones**

Se representa mediante una transición múltiple que sale de un estado, donde cada camino tiene una etiqueta distinta. Se representa mediante un diamante al cual, llega la transición del estado inicial y del cual salen las múltiples transiciones de los estados finales.

## Conceptos de un Diagrama de Implementación

Un diagrama de implementación muestra la estructura del código (Diagrama de componentes) y la estructura del sistema en ejecución (Diagrama de ejecución).

### Diagrama de Componentes

Un diagrama de componentes muestra las dependencias lógicas entre componentes *software*, sean éstos componentes fuentes, binarios o ejecutables. Los componentes *software* tienen tipo, que indica si son útiles en tiempo de compilación, enlace o ejecución. Se consideran en este tipo de diagramas solo tipos de componentes. Instancias específicas se encuentran en el diagrama de ejecución.

Se representa como un grafo de componentes software unidos por medio de relaciones de dependencia (generalmente de compilación). Puede mostrar también contención de entre componentes software e interfaces soportadas. Un ejemplo es el siguiente:

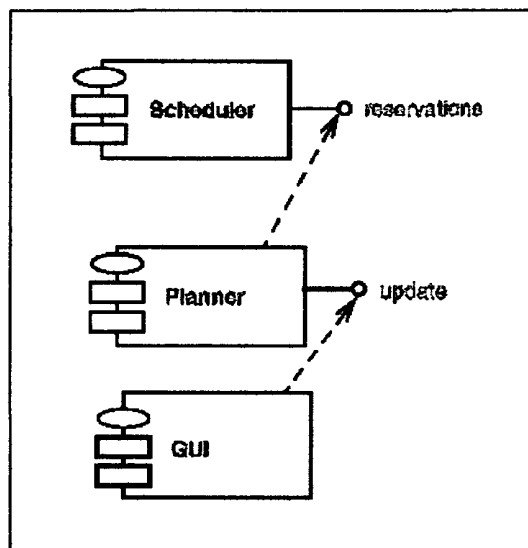


Figura B.16: Diagrama de componentes de implementación

En este caso tenemos tres componentes, GUI dependiendo de la interfaz *update* provista por *Planner*, *Planner* dependiendo de la interfaz *reservations* provista por *Scheduler*.

### Diagrama de Ejecución

Un diagrama de ejecución muestra la configuración de los elementos de procesamiento en tiempo de ejecución y los componentes *software*, procesos y objetos que se ejecutan en ellos. Instancias de los componentes *software* representan manifestaciones en tiempo de ejecución del código. Componentes que solo sean utilizados en tiempo de compilación deben mostrarse en el diagrama de componentes.

Un diagrama de ejecución es un grafo de nodos conectados por asociaciones de comunicación. Un nodo puede contener instancias de componentes *software*, objetos, procesos (un caso particular de un objeto). Las instancias de componentes *software* pueden estar unidos por relaciones de dependencia, posiblemente a interfaces.

Un ejemplo de diagrama de ejecución es el siguiente:

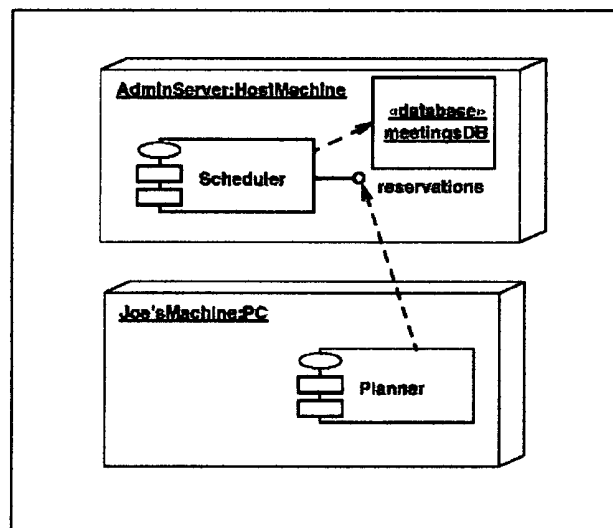


Figura B.17: Diagrama de ejecución

En este caso se tienen dos nodos, *AdminServer* y *Joe'sMachine*. *AdminServer* contiene la instancia del componente *Scheduler* y un objeto activo (proceso) denominado *meetingsDB*. En *Joe'sMachine* se encuentra la instancia del componente software *Planner*, que depende de la interfaz *reservations*, definida por *Scheduler*.

## Nodos

Un nodo es un objeto físico en tiempo de ejecución que representa un recurso computacional, generalmente con memoria y capacidad de procesamiento. Pueden representarse instancias o tipos de nodos. Se representa como un cubo 3D en los diagramas de implementación.

## Componentes

Un componente representa una unidad de código (fuente, binario o ejecutable) que permite mostrar las dependencias en tiempo de compilación y ejecución. Las instancias de componentes de *software* muestran unidades de *software* en tiempo de ejecución y generalmente ayudan a identificar sus dependencias y su localización en nodos. Pueden mostrar también que interfaces implementan y qué objetos contienen. Su representación es un rectángulo atravesado por una elipse y dos rectángulos más pequeños. Un ejemplo de componente que implementa dos interfaces es mostrado en la figura siguiente:

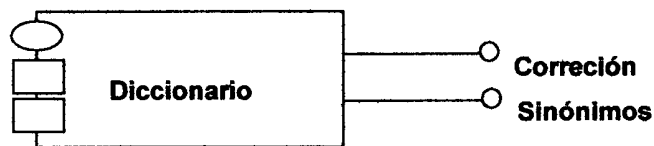


Figura B.18: Ejemplo de componente de implementación

## **Apéndice C: Descripción de FUNDEM**

---

### **C.1. Funciones Generales**

1. Implementar y mantener sistemas adecuados para la ejecución de acciones necesarias tendientes a **PREVENIR, REDUCIR Y ATENDER** las emergencias y los daños derivados de situaciones de desastres de origen antrópico, natural, social, tecnológico o conflictual.
2. Definir y establecer las responsabilidades y atribuciones de los organismos tanto públicos como privados que tengan relación con los aspectos concernientes a la **PREVENCION, PREPARACION, RESPUESTA y RECUPERACION** ante situaciones de emergencias y desastres que pudiesen presentarse dentro de la jurisdicción del estado Mérida.
3. Orientar, integrar y coordinar los esfuerzos individuales de los organismos públicos y privados, a fin de garantizar el manejo adecuado y oportuno de los **RECURSOS DISPONIBLES** para el cumplimiento de la misión y objetivos establecidos.
4. Establecer las **NORMAS Y SISTEMAS** para el funcionamiento del sistema y de las unidades que la integran.
5. Establecer el **PLAN GENERAL DE CONTINGENCIA** en caso de emergencias y desastres naturales del estado Mérida, así como los **PLANES SECTORIALES** definidos para cada una de las áreas específicas que se consideren necesarias.

6. Promover **ACTIVIDADES DE INVESTIGACION Y DIVULGACION** en el área de emergencias, desastres naturales y en accidentes antrópicos concernientes al estado Mérida.
7. Diseñar e implementar **PROGRAMAS DE INSTRUCCION, CAPACITACION Y ADIESTRAMIENTO** tanto para el personal operativo y funcionarios como para el voluntariado.
8. Establecer la coordinación y comunicación eficiente con todos los cuerpos de seguridad del estado Mérida en los servicios de **PROTECCION SOCIAL**.
9. Establecer un sistema automático de **ATENCION VECINAL** para la utilización de la información y seguimiento en el procesamiento de denuncias, reclamos y necesidades de las comunidades del estado Mérida que deben ser ejecutadas por los organismos correspondientes con el fin de establecer **COMUNIDADES COMPETITIVAS**.
10. Realizar **OPERATIVOS MEDICO-ODONTOLOGICOS** tanto en comunidades urbanas como rurales.
11. Mantener un sistema informático de **ESTADISTICAS E INFORMACION** para desarrollar la capacidad de medir impactos de los eventos acontecidos que permitan determinar **ACCIONES ESTRATEGICAS CUANTITATIVAS**.

## **C.2. Organización: Sistema Integrado Inteligente**

Este sistema establece la estructura y funciones de FUNDEM basado específicamente en el concepto de **RESPONSABILIDAD**:

1. **PRESIDENCIA:** Garantiza el establecimiento y la difusión de las responsabilidades específicas de cada uno de los organismos nacionales, estatales y municipales con competencia legal en el manejo de emergencias, desastres naturales, protección social y atención vecinal.
2. **OPERACIONES:** Permite la utilización eficaz de los recursos humanos, materiales y tecnológicos ante cualquier situación de emergencia, desastre natural o accidente antrópico que pudiera ocurrir en el estado Mérida.
3. **PLANIFICACION:** De los recursos humanos, materiales y tecnológicos en el manejo de emergencias, desastres naturales, accidentes antrópicos, protección social y atención vecinal del personal operativo de FUNDEM, de los funcionarios de los organismos responsables de estas actividades en el estado Mérida y del voluntariado que colabora en situaciones especiales.
4. **ADMINISTRACION:** Del patrimonio de la Institución, entre los que se encuentran los recursos económicos asignados por la Gobernación del Estado Mérida, los aportes asignados por Organismos Municipales, Nacionales, Internacionales y los obtenidos por ingresos propios del Instituto.

### **C.3. Estructura interna**

#### **Presidencia**

#### **Ing. Reina Carnevalli de Sarmiento – Directora presidenta**

Coordina la interacción de los entes integrantes del Instituto para la toma de decisiones de alto nivel y propicia las mejores relaciones entre esta dependencia y demás entes gubernamentales y no gubernamentales, tanto regionales como nacionales e internacionales para cumplir con metas y objetivos específicos.

Departamentos que la conforman:

- **Coordinación de Relaciones Interinstitucionales:** Tramita y coordina todas las relaciones con otros organismos y personas que permitan el intercambio de información en relación a las actividades entre la Institución y demás entes gubernamentales.
- **Prensa:** Cubre y publica todas las informaciones que tengan relación con las actividades que realice la Institución.
- **Contralor Interno:** Controla todas las transacciones de FUNDEM de acuerdo con las leyes nacionales y estatales.
- **Asesor Jurídico:** Vela por todo lo relacionado con el aspecto legal del Instituto.
- **Coordinación de Recursos Humanos:** Se encarga de la selección curricular del personal que se va a incorporar a la institución, además de seleccionar el personal que requiere de capacitación y adiestramiento.

## **Operaciones**

### **Ing. Rodulfo Chávez – Director de Operaciones**

Establece un sistema operativo en el área de atención y recuperación en situaciones de emergencias, desastres naturales o antrópicos y funciones propias de protección civil, coordinando la utilización eficaz de los recursos humanos, materiales y tecnológicos, con la finalidad de prestar mayor asistencia a la comunidad en general.

Coordinaciones que la conforman:

- **Coordinación de Emergencias Médicas:** Encargada de la atención médica prehospitalaria y de la distribución de los recursos para este fin, permitiendo una atención inmediata de las emergencias que requieren de este servicio.
- **Coordinación de Servicios Operacionales:** Conformada por cuatro áreas:
- **Unidad de Técnicos Evaluadores:** Su labor está basada en evaluar situaciones de emergencias y establecer las necesidades para solventar los daños ocasionados.
- **Unidad Técnica de Atención Integral:** Su función primordial es la de atención de accidentes de tránsito, rescates, incendios, derrames de productos químicos e hidrocarburos y servir como personal de apoyo a los técnicos Evaluadores.
- **Voluntariado:** Tiene como objetivo principal mantener la operatividad de todas las organizaciones voluntarias que colaboran en las situaciones de emergencias.
- **Radio Operadores:** Reciben y procesan las solicitudes de atención de emergencias.

- **Coordinación Sectorial:** Dirige, supervisa y controla los planes y programas a desarrollarse en los sectores en que se encuentra dividido el territorio estatal, los cuales son:
  - Zona Metropolitana
  - Zona Panamericana
  - Zona Mocotíes
  - Zona Pueblos del Sur
  - Zona Páramo
- **Coordinación Fundem-Comunidad:** Planifica y ejecuta los planes de proyección e integración de FUNDEM con la población merideña. Además, analiza los factores que comprometan el bienestar bio-psico-social de las comunidades y población escolar.

## Planificación

### Dr. Francisco Puleo – Director de Planificación

Organiza los recursos humanos y tecnológicos necesarios para el logro de los objetivos del Instituto y elaborar los planes de ejecución de las actividades implícitas en el cumplimiento de las funciones de la organización.

Programas que la integran :

- **Informática:** Es el centro de procesamiento automatizado de la información requerida para el logro eficiente de los objetivos de FUNDEM. Está estructurada en dos áreas:
- **Logística:** Planifica, elabora y coordina estrategias para la automatización del sistema de recepción de llamadas a través del 171.

- **Estadística:** Maneja información para la elaboración de reportes estadísticos: semanales, mensuales, anuales y durante operativos que desarrolle la Dirección Técnica de Operaciones en coordinación con la Dirección Nacional de Defensa Civil.

Unidades Operativas que la conforman:

– *Planicontrol*

- **Redes:** Realiza tareas de interconexión de equipos de computación para optimizar la utilización de los mismos, permitiendo de esta manera que el flujo de información del Centro de Comunicaciones alcance los objetivos previstos. Para esto la Coordinación proveerá servicios de Correo, Pizarra Electrónica, conexión a Internet y World Wide Web e instalación de aplicaciones y colaboración con la Coordinación de Comunicaciones, estableciendo la Intranet de FUNDEM, la Extranet de RETIEM y la conexión a Internet.

Unidades Operativas que la conforman:

– *Redes*

– *Teleservicios y*

– *Telemática*

- **Comunicaciones:** Mantiene y coordina la operatividad de los sistemas de comunicaciones, cumpliendo con las siguientes funciones: 1- Operación y mantenimiento del Sistema de Localización Automática de Vehículos (AVL) y del Sistema Troncalizado de Comunicaciones (STC). 2-Planificación y coordinación todo lo referente al mantenimiento del sistema de telecomunicaciones del Instituto, que tiene como soporte las repetidoras ubicadas en los diferentes puntos geografía estatal. 3- Planificación, conjuntamente con la Coordinación de Redes, de las labores de comunicaciones de datos, voz y vídeo.

Unidades Operativas que la conforman:

- *Comunicaciones*
- *Taller de Comunicaciones*
- **Edumática:** La necesidad del mejoramiento de la educación implica la creación de programas de Instrucción, Capacitación y Adiestramiento para el personal operativo, voluntariado y colectividad en general, así como también el manejo de programas de prevención y preparación ante situaciones de emergencias, desastres naturales, accidentes antrópicos y protección civil.

Unidades Operativas que la conforman:

- **Tecnomática**
- **Tecnocon**
- **Asecom**
- **Politeca**
- **Infografía**
- **Labcom**
- **Eventos**
- **Geomática:** Es un conjunto de técnicas que involucran conocimiento de informática para la realización de análisis ambiental y edición cartográfica.

Esta integrada por tres Unidades Operativas:

- **Ingeniería de Riesgos**
- **Sistema de Information Geográfico (SIG)**
- **Catastro Virtual**

## **Administración**

### **Lic. Nieves Díaz – Directora de Administración**

Supervisa el manejo y control del patrimonio de la institución entre los que se encuentran los recursos económicos asignados por la Gobernación del Estado Mérida, los aportes asignados por Organismos Nacionales, Municipales, Instituciones Internacionales y todos los obtenidos por actividades propias de la Fundación.

Está compuesta por las siguientes áreas de Servicios Administrativos:

- **Presupuesto:** Se encarga de la formulación, ejecución y control del presupuesto asignado a la Fundación.
- **Contabilidad:** Se encarga de llevar todos los registros contables de las transacciones que se realicen en la Fundación.
- **Caja y Banco:** Esta oficina está encargada de hacer efectiva todas las operaciones relacionadas con la tramitación de fondos.
- **Compras:** Se encarga de todo el proceso de adquisición de insumos para la Fundación.
- **Bienes:** Lleva el registro y control del mobiliario, equipos y parque automotor de la Fundación y la supervisión de la Central de Suministros.
- **Coordinación de Servicios Generales** se encarga de coordinar las siguientes áreas:
  - Mantenimiento Electromecánico.
  - Mantenimiento Automotriz.
  - Mantenimiento General.

## C.4. Soportes

### Comunicaciones

Está constituido por una red de telecomunicaciones y radiocomunicaciones con cobertura del 70% del territorio estatal, permitiendo la integración de todos los organismos involucrados en materia de seguridad y prevención.

Está conformado por:

- **Sistema Troncalizado de Comunicaciones (STC)** con repetidores colocados en La Aguada, El Aguila y el Páramo El Mariño.
- **Sistema de Localización Automática de Vehículos (AVL)** con suministro de información en tiempo real mediante monitoreo vía satélite denominado GPS (Global Position System).
- **Sistema de Emergencia 171** que permite el acceso telefónico de los usuarios de todo el Estado Mérida como medio de comunicación para someter sus requerimientos de servicios o de ayuda.
- **Sistema de comunicación en VHF y HF** al sistema de emergencias para comunidades cuyo acceso es difícil debido a estructuras topográficas.

### Retiem – Red Teleinformática del Estado Mérida

Plataforma de comunicaciones para datos, voz y vídeo utilizando sistemas de radio enlace a alta velocidad (10 Mbps) y grandes anchos de banda que permiten la conexión de Organismos Estatales y particulares. De está forma, se pretende solventar las dificultades de almacenamiento y recuperación que

retardan la respuesta de los organismos gubernamentales frente a las demandas comunitarias.

Permite también la conexión de Escuelas, Centros de Salud, Centros Culturales, Parroquias, etc. de cada comunidad utilizando como enlace la correspondiente Prefectura.

### **SIGFUNDEM – Sistema de Información Geográfica**

Sistema que ofrece información espacial (mapas vectoriales, ortofotomapas y fotografías aéreas) e información descriptiva correspondiente a recursos naturales, económicos y sociales a objeto de optimizar el manejo y gestión del territorio.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## **C.5. Servicios**

### **SAEM – Servicio de Atención de Emergencias Médicas**

Responsable de la atención Médica Pre-hospitalaria, para lo cual cuenta con personal médico y paramédico, dotado con equipos médicos avanzados así como también con unidades de ambulancias y motos para soporte básico y avanzado a nivel de todo el Estado Mérida.

### **SAED – Servicio de Atención de Emergencias y Desastres**

Responsable de las emergencias de las comunidades, con capacidad para ejecutar las acciones necesarias para prevenir, reducir y atender las emergencias y los daños derivados de situaciones de desastres de origen antrópico, natural, social, tecnológico o conflictual.

### **SAVE – Servicio de Atención Vecinal**

Responsable de un sistema automático de información y seguimiento para procesar las denuncias, reclamos y necesidades de las comunidades y enviarlas a los organismos competentes para su solución. Utiliza los CONSEJOS PARROQUIALES que se han organizado en cada comunidad con el fin de establecer las prioridades en lo que se llama el PLAN DE GESTION PARROQUIAL en coordinación con los Prefectos de cada Parroquia para establecer COMUNIDADES COMPETITIVAS.

### **SEIN – Servicio de Estadística e Información**

Responsable de llevar las estadísticas debido a las emergencias ocurridas en el Estado Mérida y de establecer la adecuada base de datos para mantener un sistema informático de ESTADISTICAS E INFORMACION, para desarrollar

la capacidad de medir impactos de los eventos acontecidos que permitan determinar ACCIONES ESTRATEGICAS CUANTITATIVAS.

### **SIR – Servicio de Ingeniería de Riesgos**

Responsable de asesorar a los Organismos Gubernamentales y No Gubernamentales de la vulnerabilidad de las áreas y establecer conjuntamente las medidas necesarias de prevención y reconstrucción de los sitios atendidos.

### **SICA – Servicio de Instrucción, Capacitación y Adiestramiento**

Responsable de planificar, coordinar y elaborar PROGRAMAS EDUCATIVOS tanto para el personal de FUNDEM como para grupos organizados de las comunidades que lo requieran.

En sus actividades se incluyen las SIMULACIONES y/o SIMULACROS de situaciones de emergencias que requieran la coordinación de organismos de seguridad y prevención.

### **SISCO – Servicio Itinerante de Salud Comunitaria**

Responsable de la atención médico-odontológica mediante unidades automotrices equipadas con todo lo necesario para prever y coordinar las acciones asistenciales en materia de saneamiento en las comunidades urbanas y rurales, tanto en situaciones de emergencias epidemiológicas, como en servicios a comunidades de escasos recursos sanitarios.

### **Teleservicios**

Responsable de la gestión de servicios aportados por el Proyectos de la Red Teleinformática del Estado Mérida.

## Apéndice D: Escenario Sísmico

---

Jaime Laffaille en sus estudios de 1995, según [LANNUZZI97], 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.

Según lo anterior, es necesario definir un *escenario sísmico de la ciudad*, entendiéndose por esto la distribución geográfica probable 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.

En 1996 Laffaille, según [LANNUZZI97], expone la construcción de un escenario suponiendo que cada una de las obras y estructuras construídas por el hombre en una ciudad tiene asociada un cierto valor, generalmente mayor que cero de subsistir, en caso de ocurrir un evento sísmico con determinada característica. Este valor, fue denominado *probabilidad de subsistencia* y su fue cambiado a *índices de subsistencia* para no confundirlo con valores probabilísticos. Este valor está determinado por dos factores principales:

- *Relacionados a la infraestructura*, entre los que se pueden mencionar el tipo de estructura (tipología constructiva), ubicación geográfica, uso, interacción con otras estructuras, interacción con el suelo (pendiente, composición, consolidación y profundidad d sedimentos, distancia al talud, etc.), y
- *Relacionados con las características del evento sísmico*, como su tamaño, profundidad focal, epicentro, etc.

La elaboración de un escenario sísmico permite visualizar y efectuar una estimación aproximada de cual sería la distribución probable de daños en una ciudad, en términos de la intensidad sísmica y/o índice de subsistencia de las edificaciones de dicha ciudad [LANNUZZI97].

## VARIABLES RELEVANTES

En relación a la ciudad de Mérida, Laffaille según [LANNUZZI97], indica que la intensidad del movimiento del suelo que sacudirá una localidad estará 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 edificaciones que se encuentren en el sitio. De tal manera que los factores que determinan las diferencias entre los grados de daños que se observan en cada sitio será la tipología constructiva y el tipo de suelo del lugar.

## VARIABLES RELATIVAS AL SITIO

Las condiciones locales del suelo evaluadas para la elaboración del escenario sísmico de la ciudad de Mérida fueron las siguientes:

- **Distancia al talud:** La importancia de esta variable se fundamenta en experiencias de terremotos ocurridos en diferentes lugares del mundo, donde se han observados daños significativos en edificaciones ubicadas muy cerca del borde de un talud. Esto se debe al efecto de ampliación de la onda sísmica en las zonas del borde del talud, la cual decrece linealmente a medida que aumenta la distancia al borde, hasta hacerse despreciable. Para Mérida se consideran 3 rangos de valores: [0, 20 mts.] ; [20 mts., 40 mts.] y [40 mts., 60 mts.] y para valores mayores se considera despreciable.

- **Profundidad de los sedimentos:** Para el caso de Mérida donde se tienen diversas áreas con sedimentos no bien consolidados, la profundidad de los mismos tiene una influencia notable. Por esta razón se consideran tres rangos: [0, 50 mts.] ; [50 mts., 100 mts.] y [100 mts., 150 mts.].
- **Consolidación del suelo:** Esta variable es de suma importancia ya que el daño causado por terremotos a edificaciones, depende en gran medida del grado de consolidación del suelo, puesto que las condiciones estructurales del suelo 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 rocoso.
- **Composición del suelo:** Para considerar el comportamiento sísmico de los suelos en función de su composición, hay investigaciones que 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 el evento sísmico. En base a esto Laffaille según [LANNUZZI97], hizo una clasificación de suelo de acuerdo a su composición y le asignó a cada tipo su respectivo índice de comportamiento sísmico C que oscila entre 0 y 8, donde la mejor composición es donde se presenta lecho rocoso con índice C = 8 y la peor composición donde sólo hay arena con índice C = 0.
- **Pendiente:** Para la ciudad de Mérida es importante tomar en cuenta la pendiente ya que cuando una edificación se encuentra ubicada en un terreno inclinado aparece una condición que la diferencia si estuviera ubicada en un plano horizontal. De los estudios realizados por Laffaille, según [LANNUZZI97], se concluye que las edificaciones ubicadas en planos inclinados tienen mayor riesgo sísmicos que los que se encuentran ubicados en planos horizontales o casi horizontales.

## Variable relativa a la estructura

Al ocurrir un terremoto, las edificaciones se ven sometidas a cierto movimiento dependiendo de la intensidad del sismo; y dependiendo del tipo de construcción se manifiestan diferentes tipos y niveles de daños.

- **Tipología constructiva:** El estudio de esta variable la realizó Laffaille, según [LANNUZZI97], basándose en las escalas de intensidad sísmica. Ellas establecen una clasificación que toma como características distintiva la calidad de su comportamiento ante la acción del sismo. Las tipologías constructivas usadas para el escenario sísmico de la ciudad de Mérida fueron los tipos básicos siguientes:
  - **Tipo A:** viviendas de tierra apisonada, ladrillo sin coser (adobe), viviendas rurales, construcciones de piedra ordinaria. Paredes de carga (cumplen una función estructural, por ejemplo, sostienen el techo de la edificación) y no tienen una estructura diseñada.
  - **Tipo B:** construcciones de ladrillo, bloques de hormigón, construcciones mixtas de albañilería y madera, construcciones en piedra tallada, construcciones de mampostería con elementos de concreto armado.
  - **Tipo C:** construcciones antisísmicas. Estas construcciones han sido diseñadas respetando normas de construcción que han adquirido un carácter de obligatoriedad a partir de 1983, de tal forma que la mayoría de las edificaciones de Mérida no están diseñadas de acuerdo a estas normas. Existen subtipos de esta clase:
    - **Tipo C3:** Edificaciones de concreto reforzado, de paredes exteriores de concreto, pisos y techos de concreto (uno o varios pisos). Muy poco comunes.

- **Tipo C5:** Edificios de uno o varios pisos, con estructuras de acero, paredes exteriores de mampostería no reforzada, pisos y techos de concreto. Este tipo sólo existe en versiones de uno o dos pisos, principalmente en modalidades de galpones.
- **Tipo C6:** Edificios de uno o varios pisos, con estructuras de concreto armado, paredes exteriores de mampostería no reforzada, pisos y techos de concreto. En Mérida se puede considerar este tipo de edificación “moderna” más común, en versiones de estructura aporricada de concreto armado, con paredes de bloques de arcilla o cemento.
- **Tipo C7:** Construcciones de concreto armado, del tipo de losas celulares, sin vigas (muy comunes en Mérida en instalaciones universitarias, bancos y obras institucionales).
- **Tipo C8:** Construcciones con paredes estructurales que soportan pisos y techos de cualquier material. Construcciones con muros de concreto armado (obras prefabricadas). Construcciones con detalles técnicos de construcción (unión de los elementos prefabricados) por falta de conocimiento y escasa difusión que las hace vulnerables.

## Indices de subsistencia

Como se indicó en el capítulo 5, las probabilidades de subsistencias que aquí se mencionan no son valores calculados probabilísticamente, sino son valores de referencia para la toma de decisión de evaluar o no una variable determinada, y es por esta razón que su autor cambió el nombre a índices de subsistencia.

Jaime Laffaille en 1996, según [LANNUZZI97], determinó los índices de subsistencia, de cada una de las variables importantes de evaluar al momento de ocurrir un terremoto en la ciudad de Mérida. Ya que el interés de esta tesis

está centrado en la tipología constructiva, a continuación se especifica como se calculan los índices de subsistencia para cada tipo de básico de construcción.

• **Tipología A:**

$$P_A = \begin{cases} 1 & \text{si } I < 6.207 \\ 2.34 - 0.217I & \text{si } 6.207 \leq I \leq 10.807 \\ 0 & \text{si } I > 10.807 \end{cases}$$

• **Tipología B:**

$$P_B = \begin{cases} 1 & \text{si } I < 7.207 \\ 2.57 - 0.217I & \text{si } 7.207 \leq I \leq 11.807 \\ 0 & \text{si } I > 11.807 \end{cases}$$

• **Tipología C3:**

$$P_{C3} = \begin{cases} 1 & \text{si } I < 8.607 \\ 2.87 - 0.217I & \text{si } 8.607 \leq I \leq 13.207 \\ 0 & \text{si } I > 13.207 \end{cases}$$

• **Tipología C5:**

$$P_{C5} = \begin{cases} 1 & \text{si } I < 8.407 \\ 2.83 - 0.217I & \text{si } 8.407 \leq I \leq 13.007 \\ 0 & \text{si } I > 13.007 \end{cases}$$

• **Tipología C6:**

$$P_{C6} = \begin{cases} 1 & \text{si } I < 8.207 \\ 2.78 - 0.217I & \text{si } 8.207 \leq I \leq 12.807 \\ 0 & \text{si } I > 12.807 \end{cases}$$

• **Tipología C7:**

$$P_{C7} = \begin{cases} 1 & \text{si } I < 8.007 \\ 2.74 - 0.217I & \text{si } 8.007 \leq I \leq 12.807 \\ 0 & \text{si } I > 12.807 \end{cases}$$

• **Tipología C8:**

$$P_{C8} = \begin{cases} 1 & \text{si } I < 7.807 \\ 2.70 - 0.217I & \text{si } 7.807 \leq I \leq 12.407 \\ 0 & \text{si } I > 12.407 \end{cases}$$

En todos los casos,  $I$  es la Intensidad del sismo.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## Apéndice E: Código de programa

---

```
' ***** Seleccionar la cobertura de tipologias
Sector = av.GetActiveDoc
Tipologia = Sector.FindTheme("Tlc5")
TablaTipologias = av.GetProject.FindDoc("tipologia.dbf")
Simbolos = Tipologia.GetLegend

' ***** modificar la leyenda y volver a dibujar
Tipologia.UpdateLegend

' ***** modificar el campo vulnerabilidad de cada tipologia
Tabla = Tipologia.GetFTab
Vulnerabilidad = Tabla.FindField("Vulne")
Tipo = Tabla.FindField("Tipologia")

Tabla.SetEditable(true)

GradoIntensidad = self.GetText
listaSimbolos = Simbolos.GetSymbols
ValorIntensidad = GradoIntensidad.AsNumber

for each rec in Tabla
  if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) <> "") then
    Tabla.SetValue(Vulnerabilidad, rec, "")
  end
end

if (ValorIntensidad < 6.207) then
  for each rec in Tabla
    Tabla.SetValue(Vulnerabilidad, rec, "Baja")
  end

  for each i in 0 .. 6
    listaSimbolos.Get(i).setColor(color.getYellow)
  end
else
  if (ValorIntensidad > 13.207) then
```

```
for each rec in Tabla
  Tabla.SetValue(Vulnerabilidad, rec, "Alta")
end

for each i in 0 .. 6
  listaSimbolos.Get(i).setColor(color.getRed)
end
else

IntensidadMin = Tabla.FindField("InMin")
IntensidadMax = Tabla.FindField("InMax")
PintaColor = Tabla.FindField("Color")

for each rec in Tabla
  if ((ValorIntensidad >= Tabla.ReturnValue(IntensidadMin, rec)) and
      (ValorIntensidad <= Tabla.ReturnValue(IntensidadMax, rec))) then
    Tabla.SetValue(Vulnerabilidad, rec, "Media")
  else
    if (ValorIntensidad > Tabla.ReturnValue(IntensidadMax, rec)) then
      Tabla.SetValue(Vulnerabilidad, rec, "Alta")
    else
      if (ValorIntensidad < Tabla.ReturnValue(IntensidadMin, rec)) then
        Tabla.SetValue(Vulnerabilidad, rec, "Baja")
      end
    end
  end
end
end
for each rec in Tabla
  if (Tabla.ReturnValue(Tipo, rec) = "A") then
    if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Baja") then
      listaSimbolos.Get(0).setColor(color.getYellow)
    end
    if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Media") then
      listaSimbolos.Get(0).setColor(color.getBlue)
    end
    if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Alta") then
      listaSimbolos.Get(0).setColor(color.getRed)
    end
    break
  end
end
for each rec in Tabla
  if (Tabla.ReturnValue(Tipo, rec) = "B") then
    if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Baja") then
```

```
        listaSimbolos.Get(1).setColor(color.getYellow)
    end
    if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Media") then
        listaSimbolos.Get(1).setColor(color.getBlue)
    end
    if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Alta") then
        listaSimbolos.Get(1).setColor(color.getRed)
    end
    break
end
end
for each rec in Tabla
    if (Tabla.ReturnValue(Tipo, rec) = "C3") then
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Baja") then
            listaSimbolos.Get(2).setColor(color.getYellow)
        end
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Media") then
            listaSimbolos.Get(2).setColor(color.getBlue)
        end
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Alta") then
            listaSimbolos.Get(2).setColor(color.getRed)
        end
        break
    end
end
for each rec in Tabla
    if (Tabla.ReturnValue(Tipo, rec) = "C5") then
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Baja") then
            listaSimbolos.Get(3).setColor(color.getYellow)
        end
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Media") then
            listaSimbolos.Get(3).setColor(color.getBlue)
        end
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Alta") then
            listaSimbolos.Get(3).setColor(color.getRed)
        end
        break
    end
end
for each rec in Tabla
    if (Tabla.ReturnValue(Tipo, rec) = "C6") then
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Baja") then
            listaSimbolos.Get(4).setColor(color.getYellow)
        end
    end
end
```

```

    if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Media") then
        listaSimbolos.Get(4).setColor(color.getBlue)
    end
    if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Alta") then
        listaSimbolos.Get(4).setColor(color.getRed)
    end
    break
end
end
for each rec in Tabla
    if (Tabla.ReturnValue(Tipo, rec) = "C7") then
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Baja") then
            listaSimbolos.Get(5).setColor(color.getYellow)
        end
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Media") then
            listaSimbolos.Get(5).setColor(color.getBlue)
        end
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Alta") then
            listaSimbolos.Get(5).setColor(color.getRed)
        end
        break
    end
end
for each rec in Tabla
    if (Tabla.ReturnValue(Tipo, rec) = "C8") then
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Baja") then
            listaSimbolos.Get(6).setColor(color.getYellow)
        end
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Media") then
            listaSimbolos.Get(6).setColor(color.getBlue)
        end
        if (Tabla.ReturnValue(Vulnerabilidad, rec) = "Alta") then
            listaSimbolos.Get(6).setColor(color.getRed)
        end
        break
    end
end
end
end
end
Tabla.Refresh
Tabla.SetEditable(false)
Tipologia.UpdateLegend

```