

## Capítulo 1

### Descripción del proyecto

#### 1.1 Introducción

El proyecto consiste en llevar a cabo un Análisis de Riesgo Sísmico (ARS) determinístico cuyo resultado sirva como instrumento de apoyo en la toma de decisiones para la planificación de las políticas de reforzamiento estructural de la red vial y de los componentes críticos de la infraestructura regional, así como también para el manejo de la emergencia generada por la ocurrencia del terremoto máximo creíble en la Península de Nicoya. La región de estudio comprende la totalidad de la provincia de Guanacaste y la parte de la provincia de Puntarenas ubicada en la mencionada península.

Un elemento clave para este trabajo es el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica (SIG), compuesto de varios módulos que contienen los datos y los modelos necesarios para implementar cada uno de los pasos del ARS.

Este procedimiento de ARS tiene varias características convenientes. La primera de ellas es que se llevará a cabo dentro del marco de un SIG, lo cual mejorará el manejo de la información, la eficiencia en el análisis y la presentación de resultados. La segunda es que el SIG será modular lo cual facilitará la incorporación de nuevos datos, nuevos procedimientos y nuevos modelos conforme éstos vayan siendo desarrollados en el futuro.

Esta gama de resultados brindaría utilidad al ARS como instrumento para la planificación, la priorización y el establecimiento de criterios, para el reforzamiento sísmico de la infraestructura existente en la región.

#### 1.2 Beneficiarios

Los principales beneficiarios del trabajo propuesto serán la Comisión Nacional de Emergencia, los gobiernos municipales y provinciales de la región Chorotega y los Ministerios de Obras Públicas y Transporte, de Turismo y de Salud. Esto por cuanto el sistema a establecer proveerá los instrumentos necesarios para la planificación y organización de acciones de prevención y mitigación a tomar ante la ocurrencia de un terremoto de magnitud 7,5 en la Península de Nicoya mediante la escenificación del impacto del sismo sobre la infraestructura de la región.

#### 1.3 Objetivos

##### 1.3.1 Objetivo general

Proveer a la CNE y a las autoridades pertinentes de los gobiernos locales, provinciales y el nacional con los instrumentos necesarios para la planificación y organización de acciones de

prevención y mitigación a tomar, ante la ocurrencia de un terremoto de subducción de magnitud 7,5 en la Península de Nicoya mediante la escenificación del impacto del sismo sobre la infraestructura de la región. Este objetivo se logrará mediante la implementación de un sistema computarizado de Análisis de Riesgo Sísmico basado en un Sistema de Información Geográfica.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Estudiar la vulnerabilidad sísmica de la red vial de la región, esto es, las carreteras nacionales y regionales.
- Estudiar el potencial de amenazas colaterales como licuación y fallas del suelo en los principales centros de población.
- Determinar las características sismo-resistentes de los todos los puentes existentes en la región, de acuerdo a su importancia.
- Estudiar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de importancia primaria, tales como hospitales y clínicas; estaciones de policía, bomberos y Cruz Roja; escuelas primarias y secundarias; iglesias; aeropuertos y campos de aterrizaje.
- Estudiar la vulnerabilidad sísmica de líneas vitales tales como represas; canales de riego; líneas de conducción eléctrica de alta tensión y red de subestaciones eléctricas.

### 1.4 Productos

- Simulación del impacto del terremoto máximo creíble a ocurrir en la región de estudio mediante el uso del Sistema de Información Geográfica preparado para tal efecto y con capacidad para realizar el análisis determinístico del riesgo sísmico.
- Base de datos computarizada conteniendo la información ingenieril completa de todos las carreteras y puentes integrados en la red vial de la región de estudio.
- Base de datos computarizada conteniendo la información ingenieril completa de todas las instalaciones determinadas como críticas para la atención de la emergencia sísmica y descritas anteriormente, i.e., hospitales, aeropuertos, escuelas etc.

### 1.5 Esquema organizativo

El patrocinio de la Comisión Nacional de Emergencia está coordinado y dirigido por el Ing. Jorge Arturo Castro; el trabajo del proyecto está coordinado por el Ing. Guillermo Santana, Ph.D., del LANAMME. El esquema organizativo completo se presenta en el cuadro 1.1 . En este se dan los nombres de cada uno de los individuos participantes y sus respectivas funciones. El proyecto se lleva a cabo mediante un convenio entre la Comisión Nacional de Emergencia y la Fundación para la Investigación de la Universidad de Costa Rica (FUNDEVI). Las funciones administrativas se llevan a cabo en el LANAMME y en coordinación con

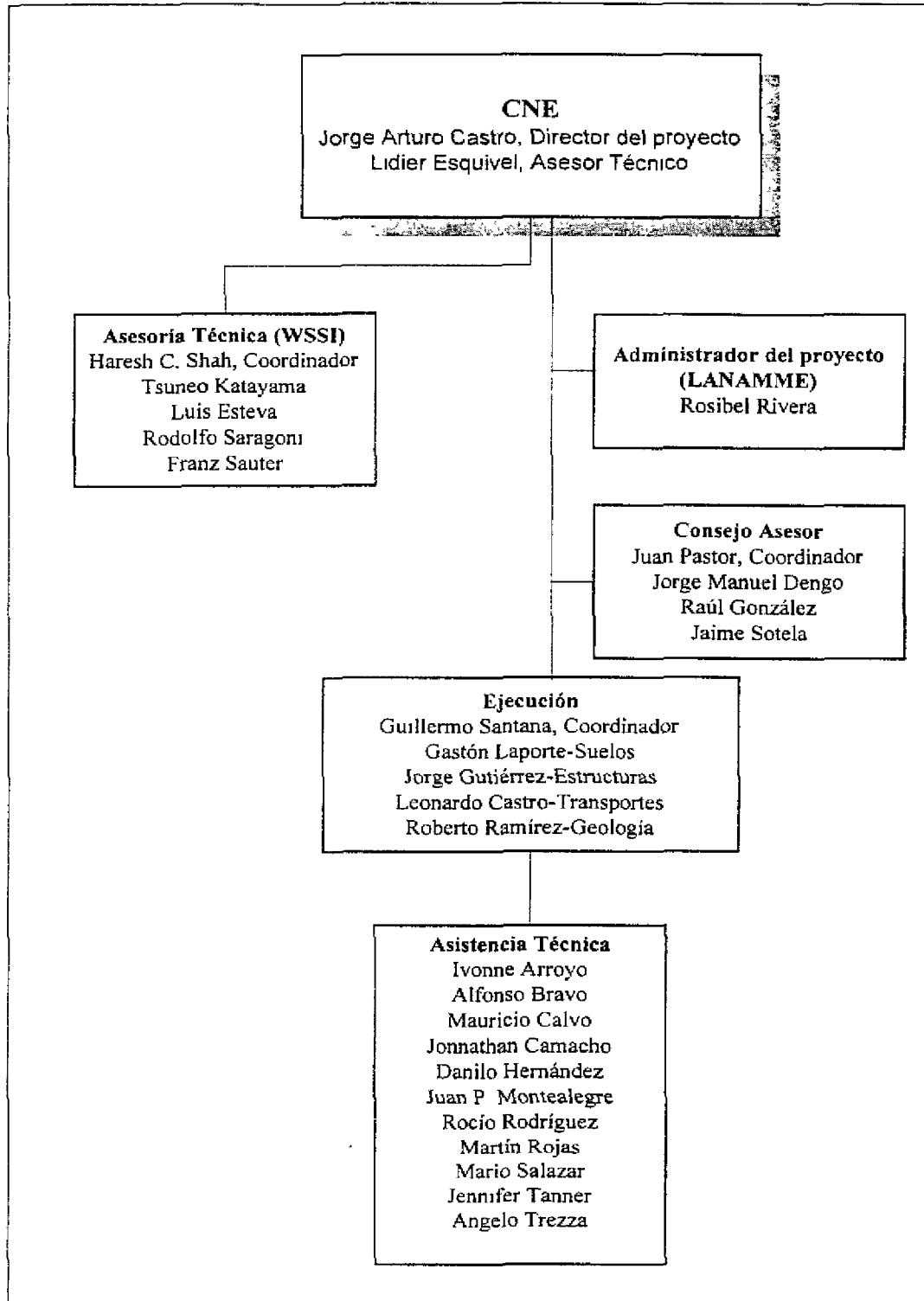
FUNDEVI. Además el proyecto cuenta con una auditoría técnica externa de parte de la Iniciativa Mundial de Seguridad Sísmica, *World Seismic Safety Initiative* (WSSI).

### **1.6 Tareas específicas**

Durante la primera fase del proyecto se han concluido las siguientes tareas: estudio preliminar de la zona; revisión de los estudios existentes; digitalización y clasificación de mapas; inspección de la zona de estudio; recolección de características de puentes y carreteras; creación de la base de datos espacial (SIG); determinación preliminar del riesgo sísmico (ARS); redacción de informes de avance. La creación de la base de datos espacial (SIG) y la determinación preliminar del riesgo sísmico (ARS) conllevó la redacción de un reporte de fondo que se incluye en el presente informe. Este informe representa, a la fecha, la única referencia conocida y escrita en español que incluye tanto los elementos básicos referentes a los sistemas de información geográfica como los elementos básicos de la determinación del riesgo sísmico mediante esta nueva tecnología. En resumen, las tareas específicas son las siguientes:

- Resumir el conocimiento vigente y nuevos conocimientos en la generación de Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Evaluar datos para identificar necesidad de información específica para desarrollar y verificar el SIG.
- Generar la información necesaria a través de investigación de fuentes, visitas de campo, inferencias
- Construcción de bases de datos para el SIG.
- Modelaje del sismo mediante la incorporación de los datos geológicos, sismológicos, etc. en el SIG para generar mapas de intensidades, aceleraciones, etc.

**Cuadro 1.1 : Esquema organizativo del proyecto Impacto Ingenieril de un Terremoto en la Península de Nicoya.**



## 1.7 Instituciones y personas contactadas

Una parte considerable del tiempo utilizado se ha dedicado a la obtención de datos generados por diversas instituciones nacionales e internacionales. Esta tarea ha sido bastante fructífera dado que se han identificado personas interesadas en ayudar a la realización del proyecto.

A continuación se presenta una lista de las instituciones y personas contactadas en cada institución:

### **-Ministerio de Obras Públicas y Transportes**

Dirección General de Planificación

*Ing. María Lorena López, Directora*

*Gerardo Pezoa*

*Miguel Cubero*

*Ana Lorena Segura*

*José Fonseca*

Dirección de Aviación Civil

Departamento de Infraestructura Aeronáutica

*Ing. Enrique Molina, Director*

*Arq. Ana Beatriz López*

*Miguel Ramírez*

Instituto Geográfico Nacional

*Geógrafo Eduardo Bedoya B., Director*

*Geógrafo Cristián Asch*

Departamento Diseño de Puentes

*Ing. José Rivera, Director*

*Ing. María Ramírez*

Departamento de Geotecnia y Materiales

*Geólogo Elmer Jiménez*

### **-Caja Costarricense del Seguro Social**

Proyecto de Modernización, CCSS

*Dr. Luis Bernardo Sáenz, Director*

Departamento de Planificación

*Marielos Benavides*

*Luis Viquez*

### **-Ministerio de Seguridad Pública**

*Lic. Laura Chinchilla, Ministra*

### **-Ing. Jorge Manuel Dengo Obregón**

**Ex Vice Presidente de la República**

### **-Ministerio de Educación Pública**

Centro Nacional de Infraestructura Física Educativa (CENIFE)

*Arq Fernando Ulloa, Director Ejecutivo*  
*Juan de Dios Arce*  
*Roxana Campos*

**- Ministerio de Economía, Industria y Comercio**

Departamento de Estadística y Censos

**-Universidad Nacional**

Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica

*Dr. Jorge Marino Protti*

*Dr. Federico Güendel*

**-Universidad de Costa Rica**

PRODUS

*Dr. Rosendo Pujol Mesalles, Director*

*Ing. Alexander González*

CIEDES

*Dr. Carlos Quesada Mateo, Director*

**-SENARA**

Departamento de Geología

*Geóloga Sandra Arroyo, Directora*

**-Stanford University, California, USA**

Department of Civil Engineering

*Dr. Haresh C. Shah*

*Dra. Stephanie A. King*

*Dra. Anne Kiremidjian*

**-University of California at Berkeley, California, USA**

Earthquake Engineering Research Center

*Prof. Jack P. Moehle, Director*

*Cecily Sobey, Librarian*

**-Risk Management Solutions, Inc. Menlo Park, California, USA**

Government Services Group

*Dr. R. Scott Lawson, Director*

**-Consiglio Nazionale delle Ricerche**

*Dr. Sergio Chiesa*

**-Federal Emergency Management**

*Gil Jamieson, Chief of Risk Assesment at the Mitigation Directorate*

**-Risk Engineering, Inc.**

*Dr. Robin McGuire, President*

El resultado parcial de la colección de información se puede ver a través de la siguiente lista de mapas que han sido digitalizados:

**Curvas de nivel para Costa Rica.** Intervalos de 100 metros. Escala de digitalización 1:200 000. Fuente: *Ministerio de Agricultura y Ganadería con colaboración holandesa.*

**Carreteras Nacionales y Regionales.** Escala de digitalización 1:50 000. Fuente: *Ministerio de Obras Públicas y Transportes con colaboración de la agencia alemana GTZ.*

**Geológico.** Escala de digitalización 1:200 000. Fuente: *PRODUS*

**Ríos.** Escala de digitalización 1:200 000. Fuente: *Agencia alemana de cooperación GTZ*

**Tipos de suelos.** Escala de digitalización 1:200 000. Fuente: *PRODUS*

**Distritos de Costa Rica.** Escala de digitalización 1:50 000. Fuente: *PRODUS*

**Provincias de Costa Rica.** Escala de digitalización 1:50 000. Fuente: *PRODUS*

**Geomorfológico del Pacífico Norte de Costa Rica.** Escala de digitalización 1:100000. Fuente: *Universidad de Costa Rica en colaboración con el Servicio de Cooperación Cultural y Técnica del Gobierno de Francia.*

### **1.8 Programa de giras de comprobación de campo**

A través del Ministerio de Obras Públicas y Transportes y el Ministerio de Educación Pública se han obtenido los bancos de datos de mantenimiento de puentes y ubicación de escuelas y colegios para la región de estudio. Este banco de datos contiene toda la información referente a las características geométricas y de materiales de los puentes. Sin embargo, con el objetivo de verificar el grado de actualización de los datos, se ha procedido a realizar una serie de giras de campo a la Península de Nicoya. Para recabar la información de campo, se diseñaron y calibraron formularios de encuesta que se presentan en el anexo. Además se realizó una gira en helicóptero sobre toda la región, en especial la zona costera de más difícil acceso por vía terrestre.

## 1.9 Evaluación de parte del WSSI

Durante el mes de marzo de 1997, se llevó a cabo la evaluación inicial del proyecto por parte del equipo integrado para tal efecto por la Iniciativa Mundial de Seguridad Sísmica, *World Seismic Safety Initiative* (WSSI). Las reuniones se prolongaron por un lapso de 3 días. Para la reunión inicial se contó con la presencia de todos los participantes del proyecto, quienes dieron valiosos aportes en cuanto a la marcha del proyecto. Se adjunta el resultado de la evaluación como anexo al presente volumen.

## 1.10 Clasificación de instalaciones

Esta clasificación se adaptó de la evaluación de daños por sismo en California según el ATC-13, 1985.

### Edificios

- Madera (bajos)
- Metal liviano (bajos)
- Mampostería sin refuerzo (muro periférico)
  - a. Bajos (uno a tres pisos)
  - b. Medianos (cuatro a siete pisos)
- Mampostería sin reforzar (con muro de carga)
  - a. Bajos
  - b. Medianos
  - c. Altos (más de ocho pisos)
- Muro de corte de concreto reforzado (con marcos rígidos)
  - a. Bajos
  - b. Medianos
  - c. Altos
- Muro de corte de concreto reforzado (sin marcos rígidos)
  - a. Bajos
  - b. Medianos
  - c. Altos
- Muro de corte de mampostería reforzada (con marcos rígidos)
  - a. Bajos
  - b. Medianos
  - c. Altos
- Marcos de acero arriostrados
  - a. Bajos
  - b. Medianos
  - c. Altos
- Marcos rígidos de acero (sistema de marco perimetral)
  - a. Bajos
  - b. Medianos



- c. Altos
- Marcos rígidos de acero (sistema de marco distribuido)
  - a. Bajos
  - b. Medianos
  - c. Altos
- Marcos dúctiles de concreto reforzado (sistema de marco distribuido)
  - a. Bajos
  - b. Medianos
  - c. Altos
- Marcos no-dúctiles de concreto reforzado (sistema de marco distribuido)
  - a. Bajos
  - b. Medianos
  - c. Altos
- Concreto prefabricado (no incluye *tilt up*)
  - a. Bajos
  - b. Medianos
  - c. Altos
- De gran luz (de baja altura)
- *Tilt up* (bajos)
- Casas móviles

### **Puentes**

- Convencionales (menos de 150 m. de claro)
  - a. Claros simples múltiples
  - b. Continuos/monolíticos (incluye los puentes de un solo claro)
- Mayores (mas de 150 m. de claro)

### **Tuberías**

- Subterráneas
- Superficiales

### **Represas**

- Concreto
- Enrocamiento o de tierra

### **Túneles**

- Aluvión
- Roca
- Corte y cobertura

**Tanques de almacenamiento**

- Subterráneos
  - a. Líquido
  - b. Sólido
- Superficiales
  - a. Líquido
  - b. Sólido
- Elevados
  - a. Líquido
  - b. Sólido

**Vías y Pavimentos**

- Ferrocarriles
- Carreteras
- Pistas

**Chimeneas (de orden industrial)**

- Mampostería
- Concreto
- Acero

**Grúas****Fajas de transporte****Torres**

- Líneas de transmisión eléctrica
  - a. Convencionales (menos de 30 m.)
  - b. Mayores (más de 30 m.)
- Comunicaciones
- Observación
- Marítimas

**Otras estructuras**

- Canales
- Retención de tierra
- Obras portuarias

**Equipo**

- Residencial
- Oficina (muebles, computadoras, etc.)
- Eléctrico
- Mecánico
- Laboratorios
- Trenes, camiones, aviones y otros vehículos.

## Capítulo 2

### Sistemas de Información Geográfica (SIG)

#### 2.1 Definición de un SIG

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un paquete informático diseñado para permitir la captura, manejo, modificación, manipulación, análisis, síntesis y despliegue de datos referidos en forma geográfica. Los objetos y características del mundo real son representados como elementos cartográficos con atributos asociados a ellos. El SIG combina las ventajas de los sistemas automatizados de cartografía, sistemas de manejo de bases de datos y sistemas de análisis y simulación.

#### 2.2 Ejemplos de aplicaciones de SIG

- La tecnología SIG es empleada en varios campos con el fin de resolver de manera eficaz, problemas que involucran información distribuida espacialmente
- Algunos ejemplos incluyen:
  - Uso de la tierra
  - Valoraciones impositivas
  - Manejo de instalaciones
  - Estimación de amenazas naturales
  - Manejo de recursos naturales
  - Estimación de impacto ambiental
  - Simulación de flujo de acuíferos
  - Almacenaje y manipulación de información geotécnica de perforaciones
  - Minería
  - Despacho de vehículos de emergencia
  - Ruteo de flujo de tránsito
  - Estudios de población
  - Investigación demográfica y de mercadeo

## 2.3 Paquetes SIG disponibles en el mercado

Actualmente existen alrededor de 100 productos relacionados con los SIG. Estos varían en capacidad, complejidad, habilidad para interactuar con otros paquetes informáticos, precio y requisitos de plataforma computacional y sistema operativo.

Para la realización de este proyecto se utilizó el paquete SIG denominado como ARC/INFO PC Versión 3.5. Algunas de las características de los paquetes disponibles son:

### MapInfo

- Programa de mapeo a base de rastreo y hecho para funcionar bajo el ambiente Windows.
- Cuenta con un sistema completo para la visualización de los datos y con herramientas para el análisis geográfico y permite la elaboración sencilla de mapas sofisticados.
- El lenguaje de programación incluido, MapBasic, puede ser empleado para crear aplicaciones MapInfo o bien para integrar MapInfo con otras aplicaciones como por ejemplo, sistemas de manejo de bases de datos y hojas electrónicas.
- El paquete incluye varios tipos de mapas y datos junto con los programas.

### ARC/INFO

- Desarrollado por Environmental Systems Research Institute (ESRI) en California, U.S.A.
- Reconocido como el estándar mundial para SIG, con más de 30 000 usuarios en unas 7 mil entidades en el mundo.
- Usado para automatizar, manipular, analizar y desplegar datos geográficos mediante cientos de herramientas sofisticadas diseñadas para el cartografiado automático, conversión de datos, manejo de bases de datos, concatenación de mapas y análisis espacial, despliegue e indagación interactivos, edición gráfica y geocodificación de direcciones.
- Puede operar tanto con modelos de datos de rastreo como de vectores e incluye una interface de manejo de base de datos relacional que permite la integración con sistemas comerciales de manejo de bases de datos.
- La versión 3.5 para PC Windows solo puede manejar datos en forma vectorial, la versión para plataforma Windows NT si permite ambos tipos de datos.
- El fabricante también ofrece otros productos relacionados con el SIG, tales como el ArcView, un sistema para computador PC que permite almacenar, indagar, analizar y desplegar información en el ambiente Windows .

## 2.4 Atributos y componentes de un SIG

- Los atributos y componentes de un SIG pueden dividirse en las siguientes categorías (según Arbeit, 1990):
  - Captura de datos
  - Análisis
  - Manipulación
  - Indagación
  - Despliegue/Reporte

### 2.4.1 Captura de datos

- Se refiere a la entrada de datos a un SIG.
- Objetos del mundo real con ubicaciones geográficas deben ser convertidos en elementos cartográficos dentro del SIG.
- Usualmente la parte más cara y que más tiempo consume dentro de un proyecto de SIG.
- Dependiendo de la capacidad del paquete SIG, los datos pueden ser introducidos al SIG mediante lectores ópticos, digitalizadores, archivos ASCII, o por conversión de datos.

#### Lectura óptica

- Usado para datos en forma de mapas publicados
- La calidad de la lectura depende de la resolución del lector óptico y la calidad de la publicación original
- El mapa debe ser geo-referenciado (el SIG debe saber donde se ubica el mapa con respecto al mundo real en términos de coordenadas tales como longitud y latitud)
- Se deben agregar atributos a cada elemento cartográfico

#### Digitalización

- Utilizado también para datos en forma de mapas publicados
- Usualmente más preciso (requiere de menos correcciones) que la lectura óptica, pero consume más tiempo
- Mapa debe ser geo-referenciado en el SIG y se deben agregar atributos a cada elemento digitalizado

#### Archivos ASCII

- El proceso (y el formato de los datos de entrada) cambia dependiendo del SIG utilizado
- Usualmente cada elemento cartográfico es referido en el archivo de texto mediante un número de identificación y la ubicación de coordenadas (e.g., latitud y longitud)

- Es necesario utilizar varias coordenadas para definir elementos línea así como los bordes de elementos área.
- El método más rápido y fácil si los elementos a cartografiar ya han sido ubicados (i.e., asignación de coordenadas de algún tipo) y han sido leídos en formato digital tal como en una base de datos o una hoja electrónica.

### Conversión de datos

- Archivos de datos y mapas pueden ser convertidos de otro paquete SIG o programas similares (e.g., sistemas CAD o programas de procesamiento de imágenes de satélite) o de un archivo digital de formato estándar (e.g, los archivos en formato DLG producidos por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) al SIG seleccionado.
- La capacidad depende de los programas involucrados en la conversión.
- Algunas conversiones pueden ser hechas automáticamente dando como resultado mapas libres de errores, otros requieren de varios comandos y pueden perder información en el proceso de conversión.
- La capacidad de un SIG para leer datos provenientes de otro paquete se vuelve importante conforme aumenta la disponibilidad de datos digitales en diferentes formatos.

### **2.4.2 Análisis**

- Los tipos de análisis que pueden llevarse a cabo con un SIG varían entre los diferentes paquetes disponibles.
- Los siguientes procedimientos de análisis son típicos de un SIG (y ayudan a definir al paquete como un verdadero SIG y no simplemente un programa de cartografiado automático).

#### Superposición e intersección de mapas

-Las superposiciones de diferentes mapas permiten el análisis de las relaciones espaciales entre los diferentes tipos de datos.

-Intersección para la creación de un nuevo mapa a partir de dos o más mapas.

-Existen varios tipos de procedimientos de intersección, pero en el sentido más general, el nuevo mapa contendrá todos los elementos de cada uno de los mapas a partir de los cuales fue creado.

#### Análisis de atributos

- Los atributos asociados a elementos cartográficos pueden ser analizados con funciones tales como expresiones lógicas o matemáticas

- Nuevos atributos son usualmente creados como funciones de atributos existentes, especialmente para un nuevo mapa creado a partir de una intersección de mapas.

### Mediciones

- Ejemplos de mediciones de datos cartografiados incluyen longitud, area, ángulo, pendiente, o distancia entre dos ubicaciones.
- Las mediciones son usualmente dadas en unidades de coordenadas del mapa, de esta forma, mapas referenciados mediante latitud y longitud deben ser proyectados a la superficie de la Tierra para la medición en unidades normales (e.g., metros o pies).

### Análisis de redes

- Usado para resolver problemas que tratan con la conectividad de elementos cartográficos, tales como distribución de tránsito o flujo en tuberías.
- Los esquemas de almacenamiento de datos en la mayoría de los SIG son diseñados para facilitar los análisis de red o de conectividad.

### Análisis de cercanía

- Las relaciones espaciales entre datos cartográficos son analizadas con procedimientos de cercanía o proximidad.
- Se pueden tomar decisiones con base en la cercanía (o lejanía) que un ítem dado tenga con respecto a otros ítems, especialmente en un mapa nuevo creado a partir de una intersección de mapas.

### Interpolación

- Se refiere a la aproximación de información no disponible para una cierta ubicación con base en información disponible en las localidades circunvecinas.
- Existen esquemas de interpolación de varios tipos en un SIG tales como generar contornos o usar promedios de distribuciones espaciales.



### 2.4.3 Manipulación

- Los tipos de manipulación de datos que pueden llevarse a cabo con un SIG varían entre los diferentes paquetes disponibles
- Los siguientes procedimientos de manipulación de datos son típicos de un SIG y ayudan a definir el paquete como un verdadero SIG y no simplemente un programa de cartografiado automático:

#### Fusión de mapas

- Se refiere a la unión de dos mapas, usualmente de regiones diferentes pero adyacentes, para formar un mapa combinado que cubre ambas regiones.

- Los elementos cartográficos y los atributos asociados a ellos generalmente requieren ser del mismo tipo y tener las mismas definiciones para que la fusión sea exitosa.

#### Proyección

- Usado para representar la superficie curva de la Tierra en una superficie bidimensional (i.e., la pantalla de la computadora o los mapas impresos).

- Usado para convertir mapas referenciados mediante latitud y longitud a coordenadas que puedan ser medidas en pies o metros.

- Hay varios esquemas de proyección que usan formas geométricas diferentes para representar la superficie de la Tierra como una superficie plana; la mayoría de los paquetes SIG respaldan varios de los tipos más comunes.

- Un cuadro o ventana de recorte es definido usualmente de acuerdo a las coordenadas de sus vértices y las porciones del mapa matriz ubicadas dentro de la ventana son copiadas al nuevo mapa.

#### Actualización

- Los elementos cartográficos y los atributos asociados a ellos deben ser mantenidos al día con respecto a su ubicación y a sus datos descriptivos.

- Procedimientos de actualización de los mapas y sus atributos varían entre los diferentes paquetes SIG, pero la mayoría permiten la actualización de elementos y registros individuales así como también procesamiento en grupo.

### Generalización

- Usado para eliminar elementos cartográficos que podrían ser innecesarios o que podrían estar añadiendo confusión o error a un mapa.
- Usualmente usado para suavizar líneas dentadas mediante la eliminación de vértices intermedios.

### Agregación

- Usado para combinar datos de varias maneras dependiendo de la capacidad del paquete SIG utilizado.
- Varios elementos cartográficos con sus atributos asociados pueden ser combinados y representados como un solo elemento con nuevos atributos que representen el tipo de combinación utilizado (e.g., suma, producto, promedio, maximización).

#### **2.4.4 Indagación**

- Una pregunta que es usada para facilitar el acceso a, y el análisis de, un conjunto de atributos.
- Usada para identificar un conjunto específico de elementos cartográficos sobre los cuales se puede hacer un análisis o una manipulación.
- Los lenguajes de indagación varían entre los diferentes paquetes SIG y de acuerdo con los tipos de modelos de datos que se involucren, pero en la mayoría de los casos se usa el SQL, *Standard Query Language*, o bien, algún derivado de éste.
- Por ejemplo, un comando SQL con la siguiente sintáxis:

```
SELECT id FROM edificios WHERE pérdida>10000
```

dará como resultado los números de identificación de todos los edificios en el archivo de datos denominado "edificios" que tengan pérdidas mayores a 10 000.

- Algunos paquetes SIG pueden interactuar con programas comerciales de manejo de bases de datos y requieren de comandos específicos del programa para realizar operaciones de indagación.

- Las indagaciones con SIG son usualmente de los siguientes dos tipos:

#### Indagación Espacial

- Usado para preguntas relativas a la ubicación de los elementos cartográficos, así como también entre los elementos mismos.
- Un ejemplo es la selección de todos los edificios que estén ubicados a menos de 5 Km de distancia de una falla activa.

#### Indagación de Atributos

- Usado para indagaciones relativas a los atributos asociados con los elementos cartográficos.
- El ejemplo del comando SQL presentado anteriormente es una indagación de atributo; otro ejemplo es la selección de todos los edificios construidos con mampostería no reforzada.

### **2.4.5 Despliegue y reporte**

- Uno de los aspectos más importantes de un SIG es su habilidad para desplegar y reportar información tal como datos almacenados, superposición de mapas y análisis de resultados.
- Usado para facilitar la transferencia de información de los analistas a los ejecutores de una manera clara y eficaz.
- La mayoría de los paquetes SIG pueden desplegar y reportar información en los siguientes formatos:

#### Tablas

- Usado para reportar atributos, tanto de todos los registros como de aquellos resultantes de una indagación.
- Los atributos a incluir y el formato de la lista son usualmente establecidos por el usuario.
- Puede ser mostrado en el monitor de la computadora o impreso en papel.

### Despliegue de mapas

- Permite la comunicación rápida y clara de la información cartografiada (e.g., datos de entrada y resultados).
- Varios mapas pueden ser superpuestos en el monitor para mostrar las relaciones espaciales entre los datos o los resultados.
- La adición de anotaciones, leyendas y otros ítemes ayudan a aclarar la información del mapa.
- Los mapas pueden ser mostrados en pantalla de computador o impresos en papel.

### Despliegue en Terminales

- Tablas y mapas son usualmente desplegados en terminales de computador.
- Un monitor de alta resolución y pantalla grande mejora la calidad del despliegue.

### Archivos de datos

- Tablas generadas por reportes de datos y resultados son desplegados en terminales, impresos en papel o guardados en archivos de datos de salida.
- Dependiendo de la capacidad del paquete SIG, los archivos de datos de salida pueden ser escritos en varios formatos, tales como formato de hojas electrónicas, archivos de texto ASCII, formatos de bases de datos y otros relacionados con paquetes SIG.

## **2.5 Características de los datos de un SIG**

- Los datos asociados con un SIG pueden ser divididos en los siguientes dos tipos:

### **Datos Espaciales (Gráficos)**

- Representación digital (con elementos cartográficos) de objetos del mundo real.

La representación de los datos espaciales dentro del SIG es hecha con el modelo de rastreo o con el modelo vectorial (adaptado de Frost & Chameau, 1993) o una variación de alguno de estos dos modelos.

### Modelo de Rastreo

- El área de interés es dividida en celdas y el valor correspondiente a cada celda indica el tipo de objeto o característica de la localidad.
- Si el área es dividida en celdas de 5m por 5m, entonces la ubicación del objeto puede ser determinada únicamente con precisión de 5m de las direcciones principales.

- Usualmente las celdas no corresponden a la característica que éstas representan en el mundo real (e.g., se requiere de un grupo de celdas para representar un elemento tal como un lago).
- Ventajas del modelo de rastreo incluyen:
  - Operaciones sencillas de estructura de datos y superposición de mapas son implementadas eficazmente.
  - Alta variabilidad espacial es representada eficazmente con el formato de rastreo.
  - Formato de rastreo es requisito típico para el trabajo con imágenes digitales.
- Desventajas del modelo de rastreo incluyen:
  - Menos compacto, usualmente requiere de compresión de datos.
  - Relaciones topológicas son más difíciles de representar.
  - Bordes de los mapas tienden a tener apariencia dentada o escalonada.

### Modelo vectorial

- Objetos o características del mundo real son representados como puntos, líneas o polígonos que definen sus bordes.
- Ventajas del modelo vectorial incluyen:
  - Estructura de datos mas compacta.
  - Codificación eficiente de la topología e implementación más eficaz de las operaciones que requieren información topológica, tal como análisis de redes.
  - Resultado gráfico se compara bien con los mapas dibujados a mano.
- Desventajas del modelo vectorial incluyen:
  - Operaciones complejas de estructuras de datos y de superposición de mapas son más difíciles de llevar a cabo.
  - Representación de variabilidad espacial alta es ineficiente.
  - El trabajo con imágenes digitales no es hecho en forma efectiva.

### **Datos Tabulares (No Gráficos)**

- Atributos están asociados con datos espaciales.
- Son almacenados en formato alfanumérico y son representaciones de las características, cualidades y relaciones entre elementos cartográficos y localidades geográficas.
- Pueden ser almacenados en la base de datos interna del paquete SIG, aún cuando estas bases son usualmente limitadas en cuanto a su capacidad para almacenar grandes cantidades de datos y en cuanto a su capacidad funcional.
- Algunos paquetes SIG tienen la capacidad de enlazar datos espaciales y tabulares con tablas de atributos en un sistema de manejo de bases de datos externo y de alto nivel mediante el uso de una interface.

La figura 1.1 muestra un ejemplo de enlaces de datos (espacial, tabular, sistema de manejo de base de datos externo) dentro del SIG.

## 2.6 Estructura de base de datos

- Un sistema de manejo de bases de datos es un paquete que provee un medio sistemático para almacenar, actualizar y recuperar información almacenada como datos, usualmente en forma de registros en un archivo.
- El manejo de bases de datos de datos espaciales y tabulares constituyen una parte integral de un SIG.
- La mayoría de los paquetes SIG tienen incorporado un sistema de manejo de bases de datos que varía en cuanto a capacidad y tipo de lenguaje interno de comandos utilizado.
- Algunos paquetes SIG tienen la capacidad de interactuar con sistemas de manejo de bases de datos externos, lo cual es usualmente necesario cuando los requisitos de capacidad del manejador superan al sistema incluido en el SIG.
- Los tres tipos mas comunes de estructuras de base de datos se muestran en la figura 1.2 e incluyen lo siguiente (adaptado de Frost & Chameau, 1993):

### Estructura Jerárquica

- La información se dispone en forma de conjuntos y subconjuntos, estructurada en formato de árbol o de ramificación.
- El acceso a una pieza específica de información debe hacerse a través de un camino único, usualmente una búsqueda de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba.
- Para obtener información se usa generalmente un lenguaje de indagación por procedimiento, en el cual se adjuntan enlaces adicionales a los registros de datos mientras se construyen las bases de datos que luego son usados como una guía durante las búsquedas.

### Estructura de Red

- Los registros son agrupados en jerarquías de dos niveles denominados conjuntos, sin embargo, una porción de los datos puede pertenecer a más de un conjunto
- Información de un mismo conjunto es almacenada muy cerca y puede ser obtenida al mismo tiempo
- También usa un lenguaje de indagación por procedimiento para obtener información.

### **Estructura Relacional**

- La base de datos consiste en archivos con datos dispuestos en arreglos bidimensionales, usualmente como tablas con registros.
- Permite recombinar los datos individuales para formar relaciones diferentes resultando en mayor flexibilidad en el uso de la información.
- Usa un lenguaje de indagación, no por procedimiento (usualmente SQL), sino más bien independiente de la estructura de base de datos permitiendo un medio mas flexible para la obtención de la información.
- Es la estructura primaria usada en la mayoría de paquetes SIG, pero algunos paquetes tienen la capacidad de interactuar con sistemas de manejo de bases de datos externos que usan estructuras de datos jerárquicos o de red.