Certificado
GP 137-1

Certificado
SC 6593-1

Certificado
CO-SC 6593-1

# ICONTEC

certifica que el sistema de gestión de calidad de:

# FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS FOPAE

es aplicable a las siguientes actividades:
Gestión y ejecución de políticas en materia de conocimiento, prevención, mitigación y recuperación frente a riesgos públicos de origen natural y antrópico no intencional y la coordinación para la atención de emergencias en la ciudad de Bogotá.

# SEDAR

## Sistema de Evaluación de Daños para Análisis de Riesgo

Coordinación de Investigación y Desarrollo
Grupo Escenario de Daños

# Contenido


Introducción

1…… Enfoque Conceptual

2…… Componentes del Sistema

3…… Desarrollo del Sistema

4…… Conclusiones

# INTRODUCCIÓN

**Objetivo**

El objetivo del estudio es diseñar e implementar un sistema dinámico de cálculo que permita evaluar los posibles daños a las edificaciones y líneas vitales y las posibles afectaciones a la población por la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

**Alcance**

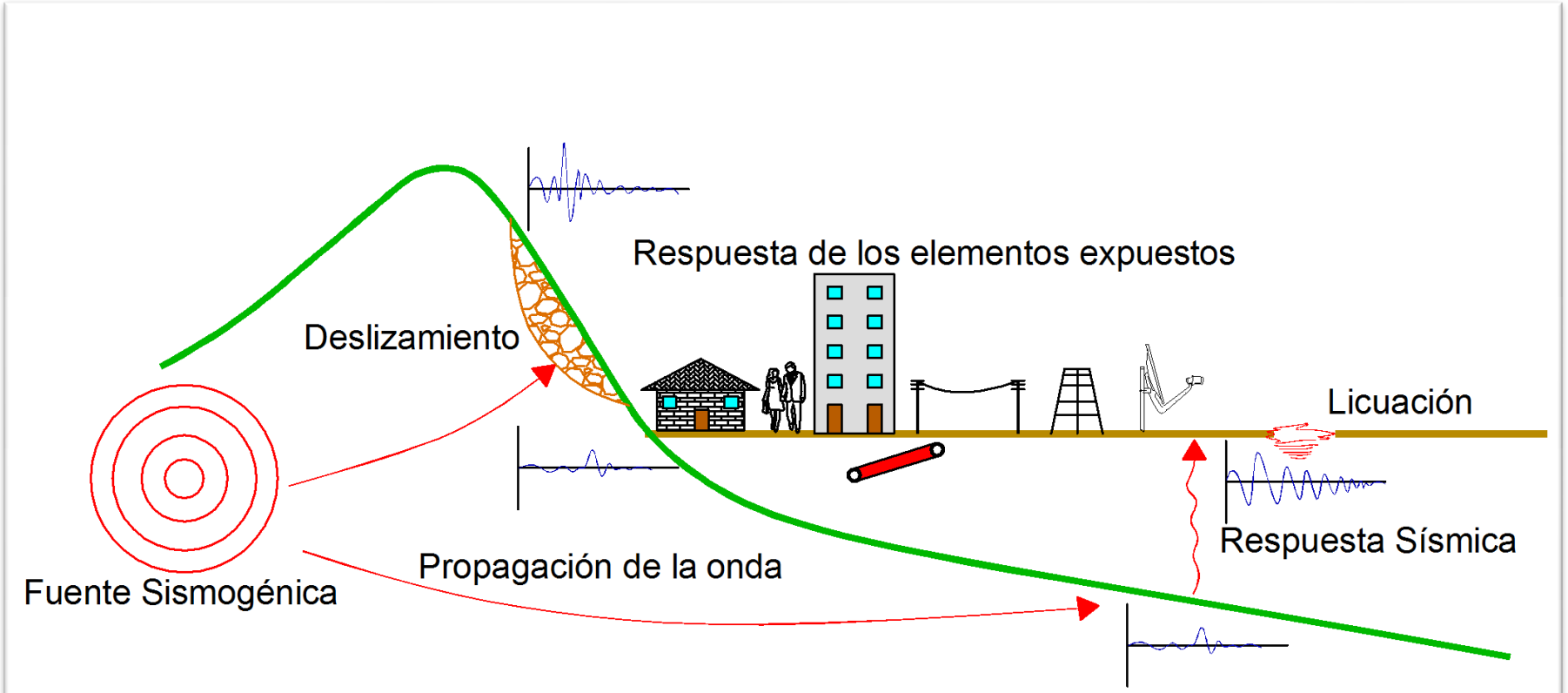
El software desarrollado pretenderá ilustrar la magnitud de los posibles daños del sector urbano y rural de la ciudad que cuente con información suficiente para aplicar los modelos.

Los resultados del proyecto no reemplazan los análisis de vulnerabilidad sísmica y estudios detallados para evaluar el riesgo sísmico de estructuras indispensables y líneas vitales.

# Marco lógico

- Revisión de estudios y metodologías
- Recopilación de información
- Desarrollo de los métodos para la evaluación de vulnerabilidad, daños, efectos colaterales, afectaciones y pérdidas
- Desarrollo del sistema de cálculo
- Análisis de resultados y recomendaciones para futuros desarrollos

# 1. Enfoque Conceptual




Definición del Problema

# Cadena de acontecimientos

- Una fuente sismogénica origina un sismo .

**SISMO**

- Se propaga la onda por el basamento rocoso.

**ATENUACIÓN**

- Se modifica la onda por efecto de los depósitos de suelo y topografía del terreno.

**RESPUESTA SÍSMICA**

- Responden los elementos expuestos y el terreno a las ondas en superficie ocasionando daños iníciales.

**DAÑOS INICIALES** — Daños de elementos expuestos
Deslizamientos, licuación de terrenos

- Los daños de los elementos expuestos, deslizamientos y licuación de terrenos generan daños secundarios.

**DAÑOS SECUNDARIOS** — Daños de elementos expuestos
Afectaciones a la población

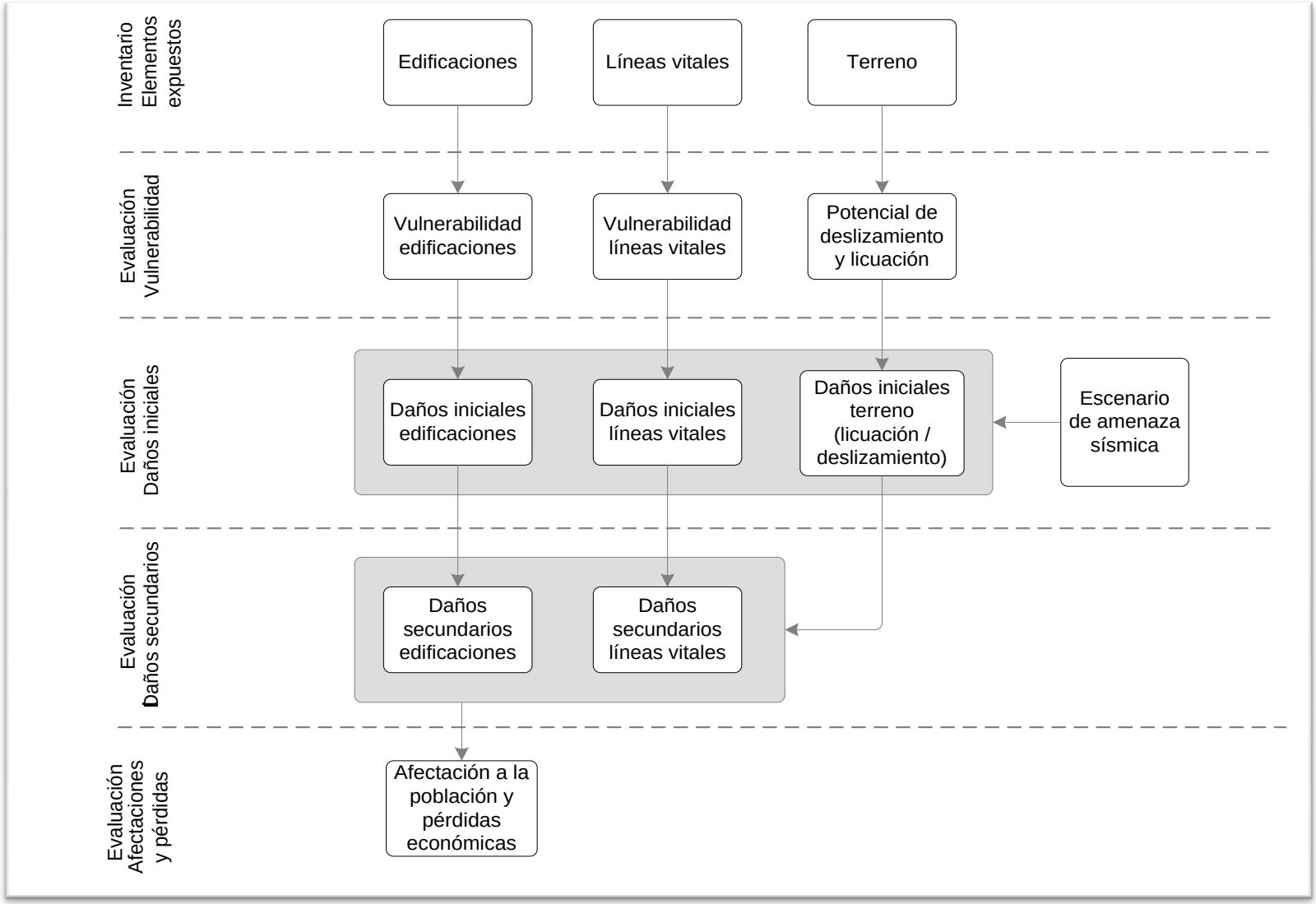
- Los daños secundarios se pueden llegar a propagar aumentando la zona de afectación.

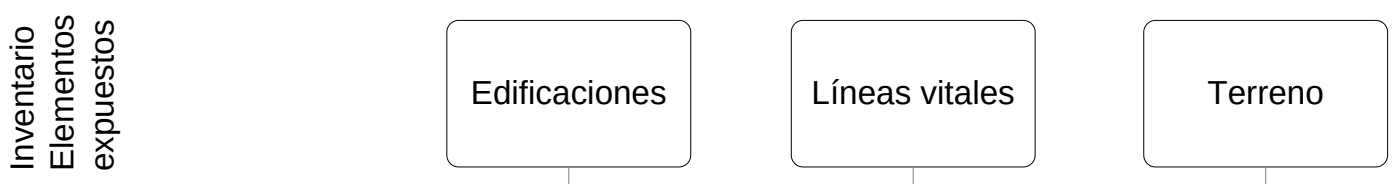
**PROPAGACIÓN**

- La propagación de los daños afecta a más elementos expuestos, de manera tal que se pueden generar nuevamente daños secundarios

**EFECTOS SECUNDARIOS**

# 2. Componentes del sistema

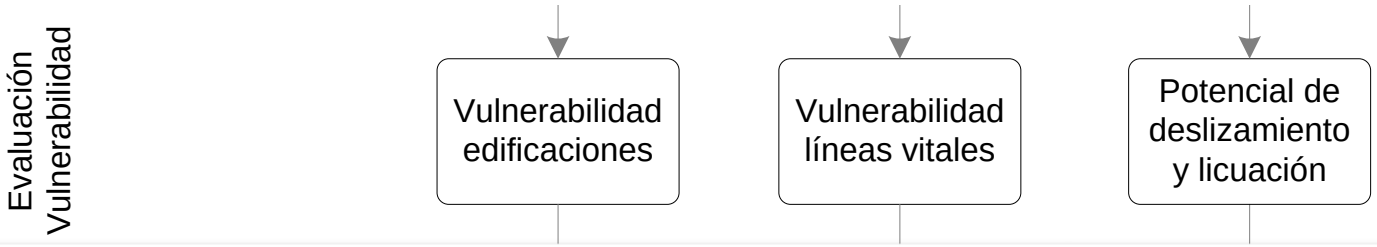





- Edificaciones:
  - Base de datos catastral
  - Recopilación de indispensables
- Líneas vitales
  - Red de acueducto y alcantarillado
  - Tanques de almacenamiento
  - Red de gas natural
  - Red de energía
  - Postes y torres de energía
  - Red de telecomunicaciones
  - Postes de telecomunicaciones
  - Puentes vehiculares y peatonales

Terreno:

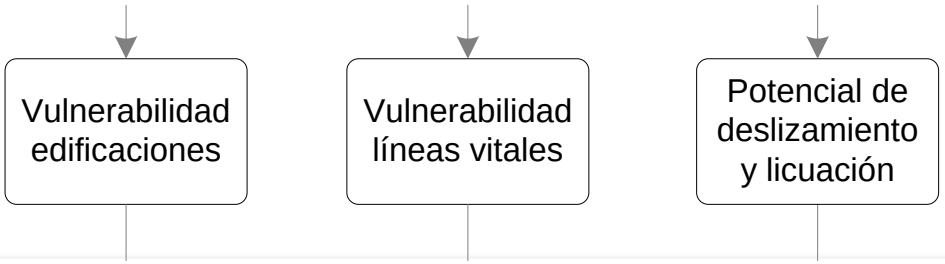
- Zonificación geotécnica de Bogotá.




- Edificaciones: “Índice de Vulnerabilidad”

$$Iv = \sum Ki \cdot Wi \Big/ \sum Ki\max \cdot Wi$$

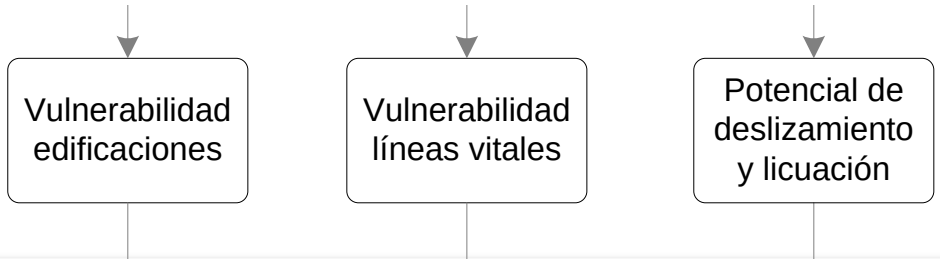
| | |
|---|---|
| 1 | Organización del sistema resistente |
| 2 | Calidad del sistema resistente |
| 3 | Resistencia convencional |
| 4 | Posición del edificio y cimentación |
| 5 | Diafragmas horizontales |
| 6 | Configuración en planta |
| 7 | Configuración en elevación |
| 8 | Separación máxima entre muros |
| 9 | Tipo de cubierta |
| 10 | Elementos no estructurales |
| 11 | Estado de conservación |




- Tuberías: “Factor de Vulnerabilidad”

$$Fv = C_p \cdot C_d \cdot C_g \cdot C_l$$

Cp Material del tubo
Cd Diámetro del tubo
Cg Tipo de terreno
Cl Potencial de licuación del terreno

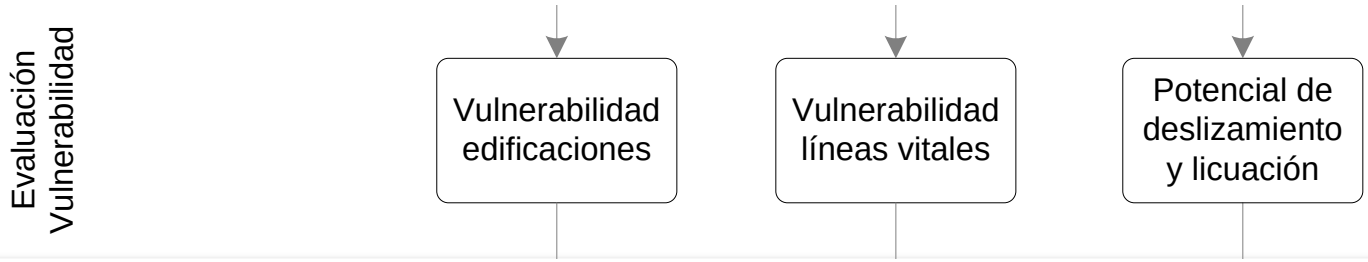



- Deslizamiento: “Aceleración crítica”

$$a_c = (FS - 1) * g * sen\beta$$

$$FS = \frac{c}{\gamma * e - sen\beta} + \frac{\tan(\phi)}{\tan(\beta)} - \frac{m*10*\tan(\phi)}{\gamma * \tan(\beta)}$$

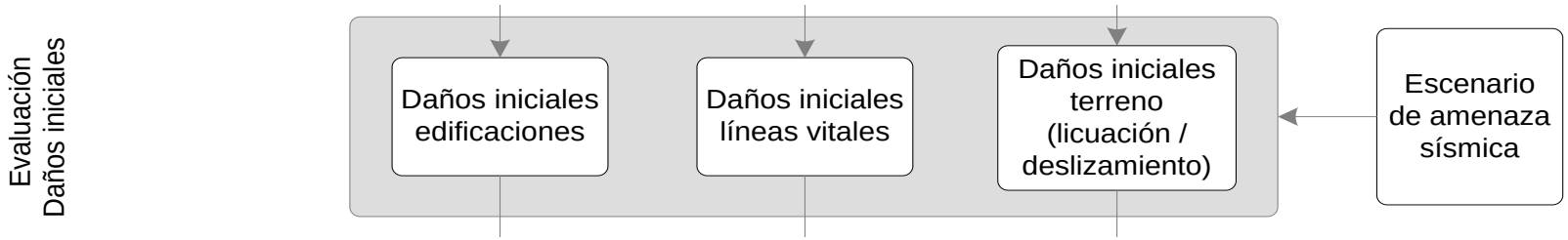
| | |
|---|---|
| $\beta$ | Ángulo de inclinación del terreno |
| $\phi$ | Ángulo de resistencia del terreno |
| m | Factor de saturación de terreno |
| $\gamma$ | Peso unitario del terreno |




- Licuación: “Índice de resistencia cíclica”

$$I_{CRR} = \sum_{i=1}^{n} CRR_i W_i H_i$$

| | |
|---|---|
| CRR | Relación de resistencia cíclica de un estrato |
| Wi | Función de ponderación del estrato |
| Hi | Espesor del estrato |
| n | Número de estratos |



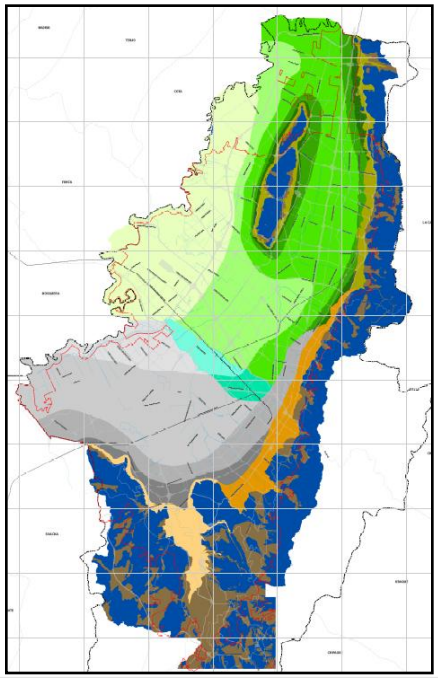

- Escenario de amenaza sísmica

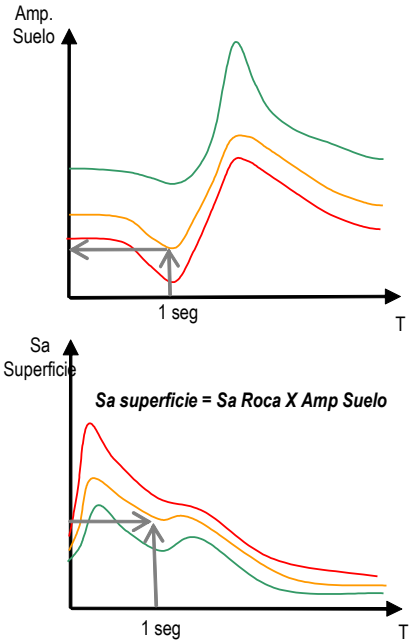
  EA Escenario de amenaza (Magnitud, Distancia)

  ZRS Zona de respuesta sísmica (16 zonas)

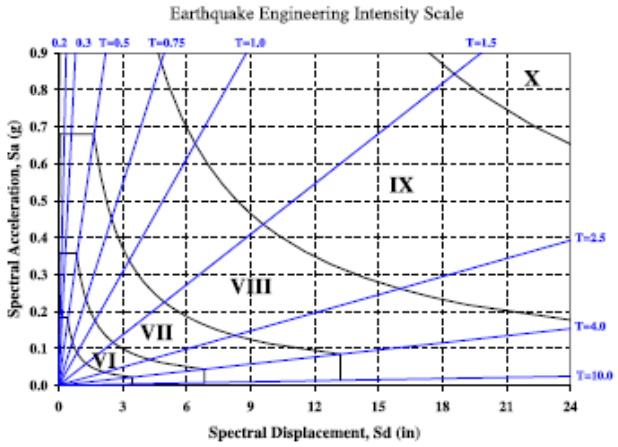
  PIS Parámetros de intensidad sísmica (PGA, PGV, MMI)

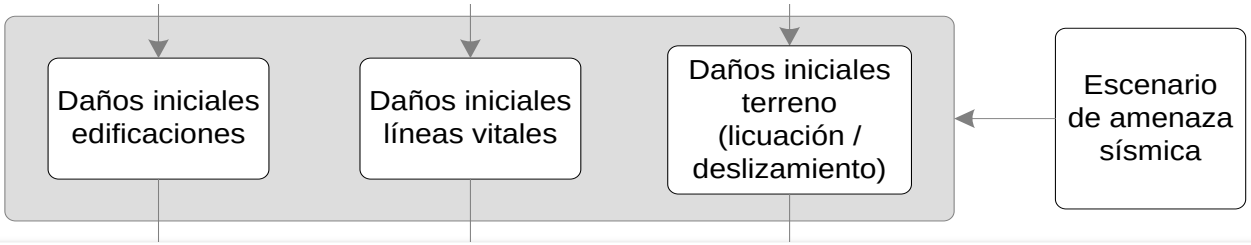
  ES Parámetros espectrales (Sa, Sv, Sd, EEIS)



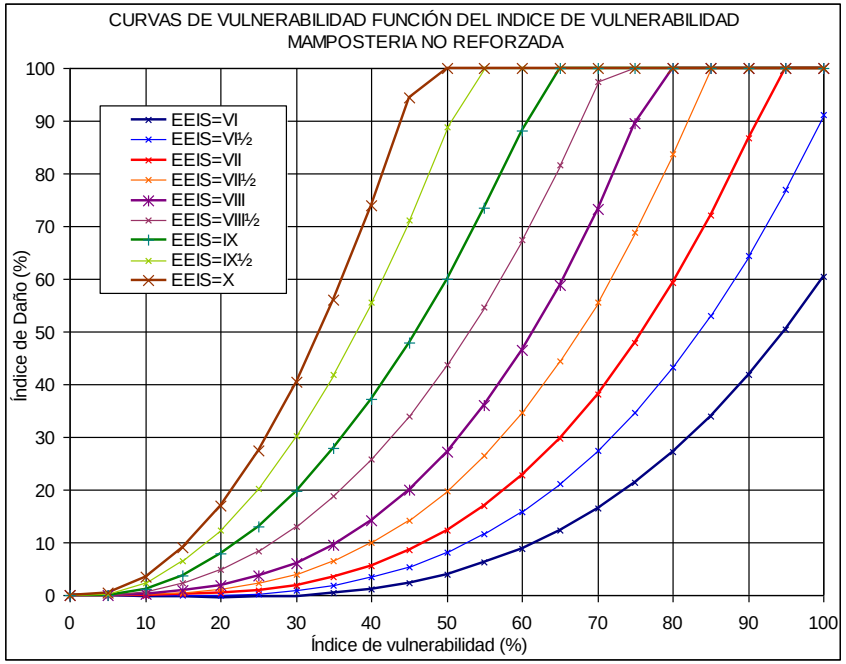


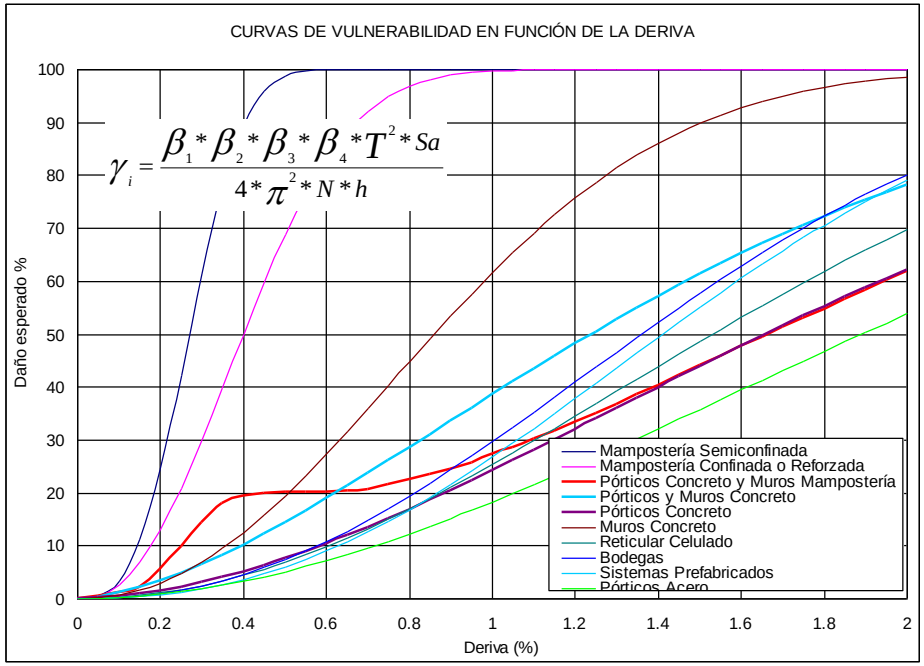

| PERCEIVED SHAKING | Not felt | Weak | Light | Moderate | Strong | Very strong | Severe | Violent | Extreme |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| POTENTIAL DAMAGE | none | none | none | Very light | Light | Moderate | Moderate/Heavy | Heavy | Very Heavy |
| PEAK ACC.(%g) | *<.17* | *.17-14* | *1.4-39* | *3.9-92* | *9.2-18* | 18-34 | 34-65 | 65-124 | >124 |
| PEAK VEL.(cm/s) | <0.1 | 0.1-1.1 | 1.1-3.4 | 3.4-8.1 | 8.1-16 | *16-31* | *31-60* | *60-116* | *>116* |
| INSTRUMENTAL INTENSITY | I | II-III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X+ |

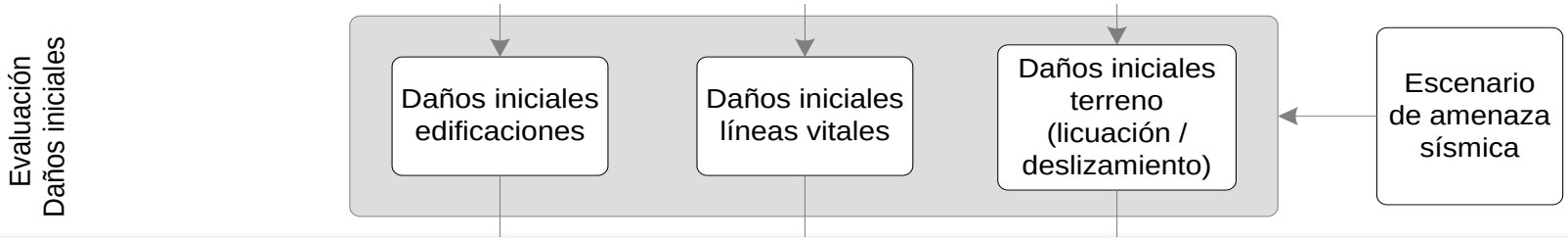




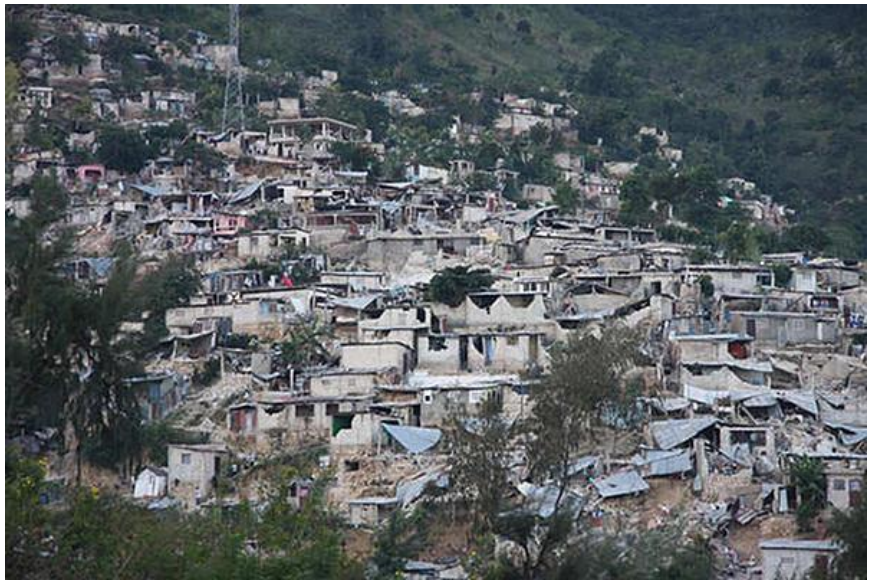

- Daños iniciales edificaciones





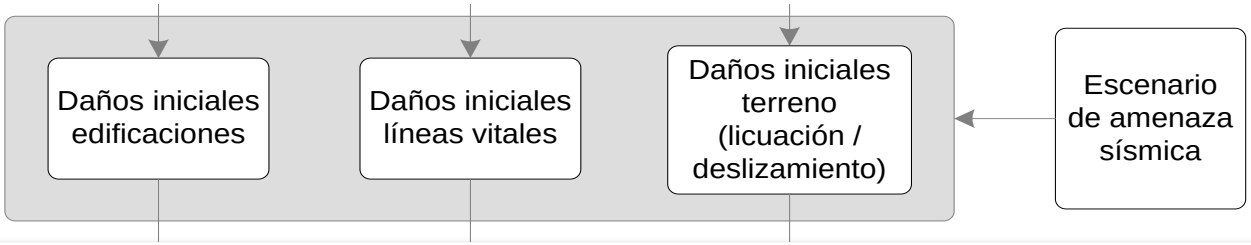

- Daños iniciales edificaciones



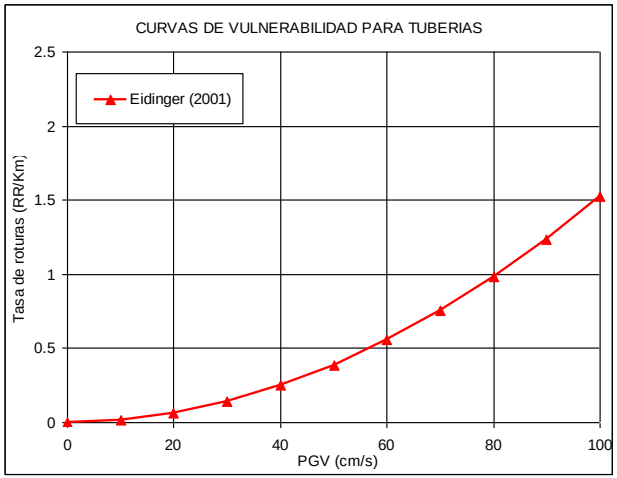
Mampostería. Haití 2010

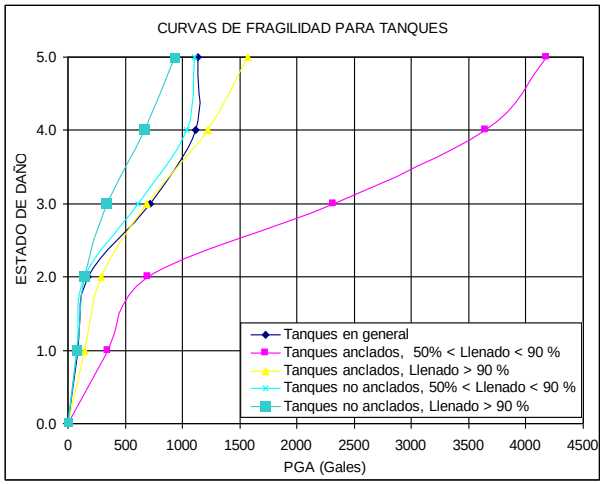
Concreto reforzado. Chile 2010

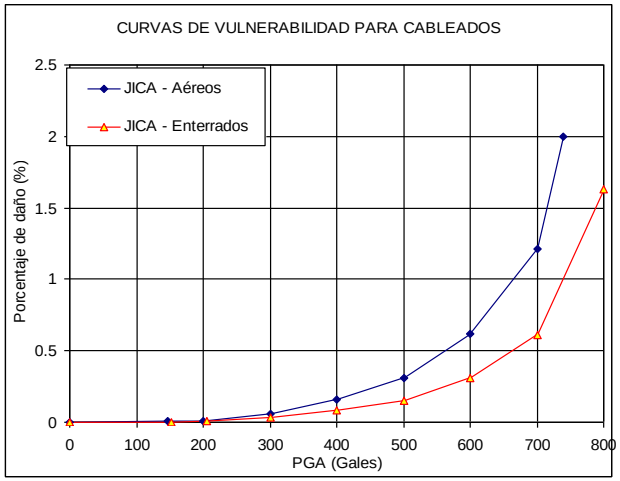


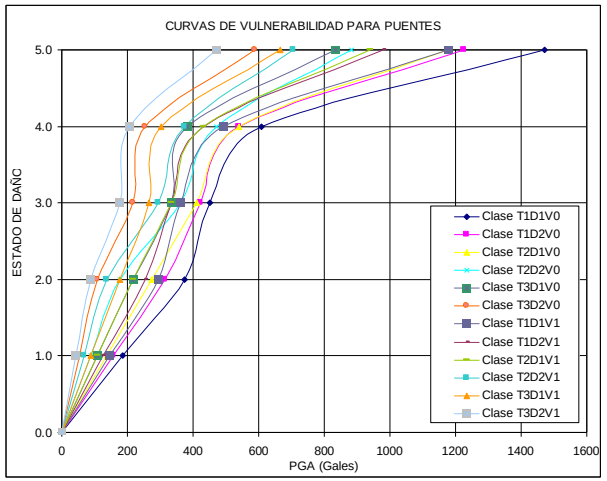


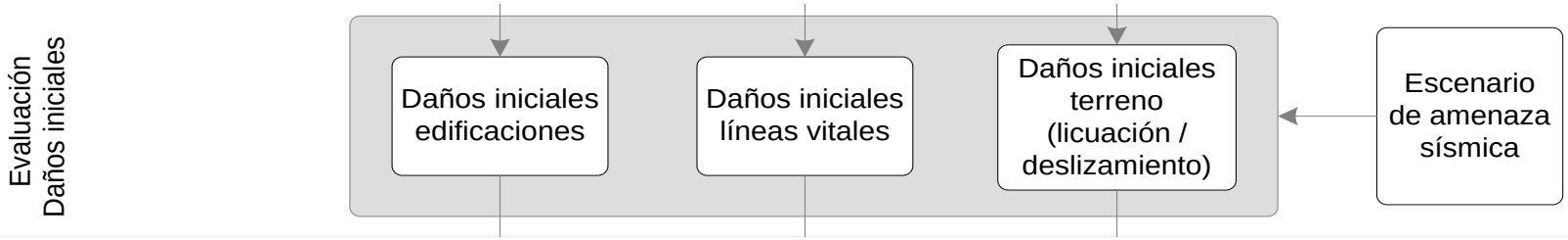

- Daños iniciales líneas vitales



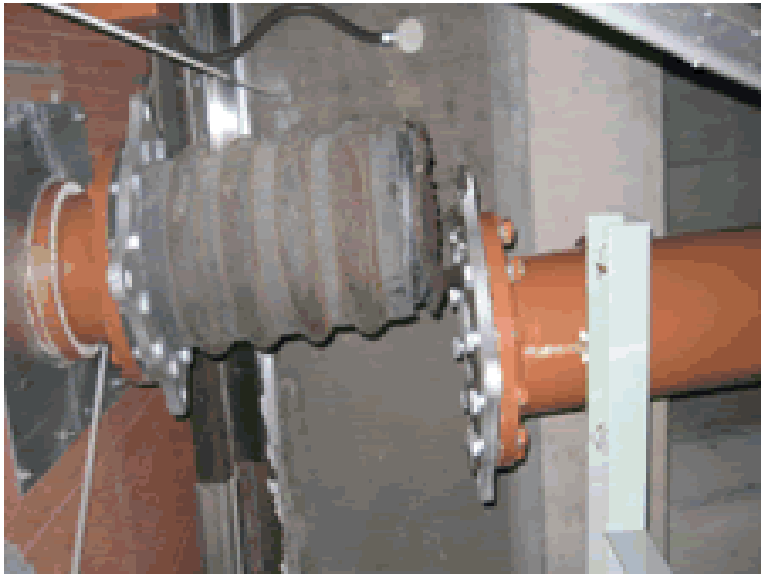






- Daños iniciales líneas vitales

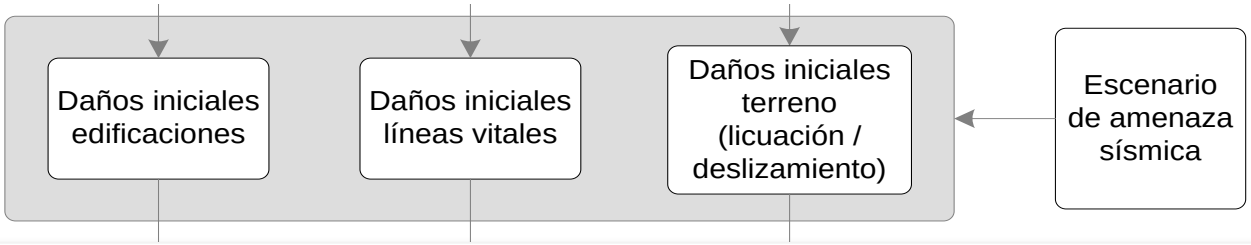


Broken sludge pipe (in WWTP)
(at Niigata-Tyuetu Earthquake in 2007)

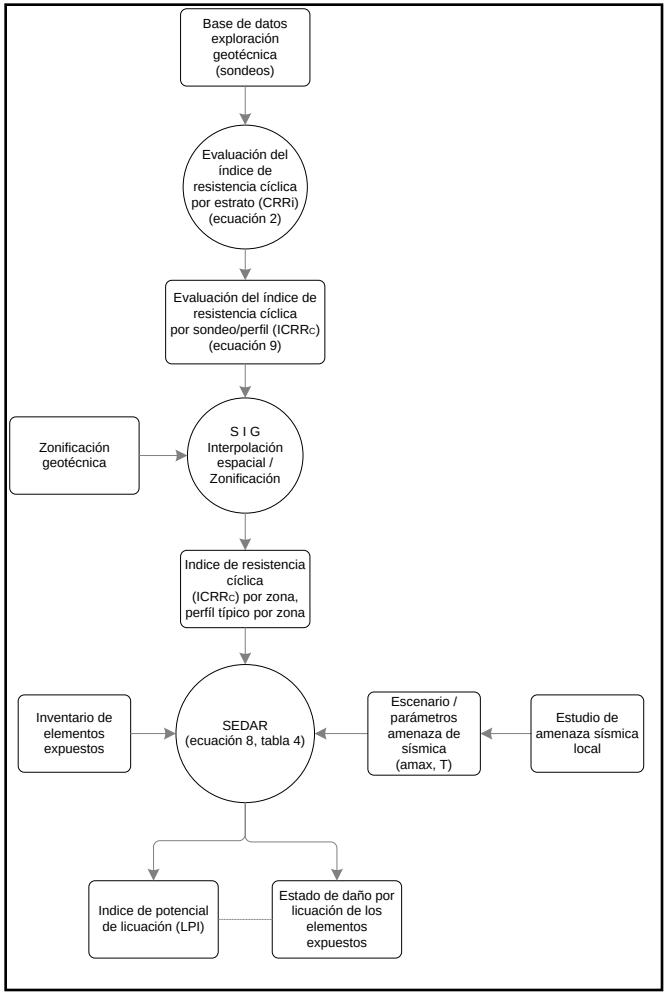
Puentes. Loma Prieta USA 1989

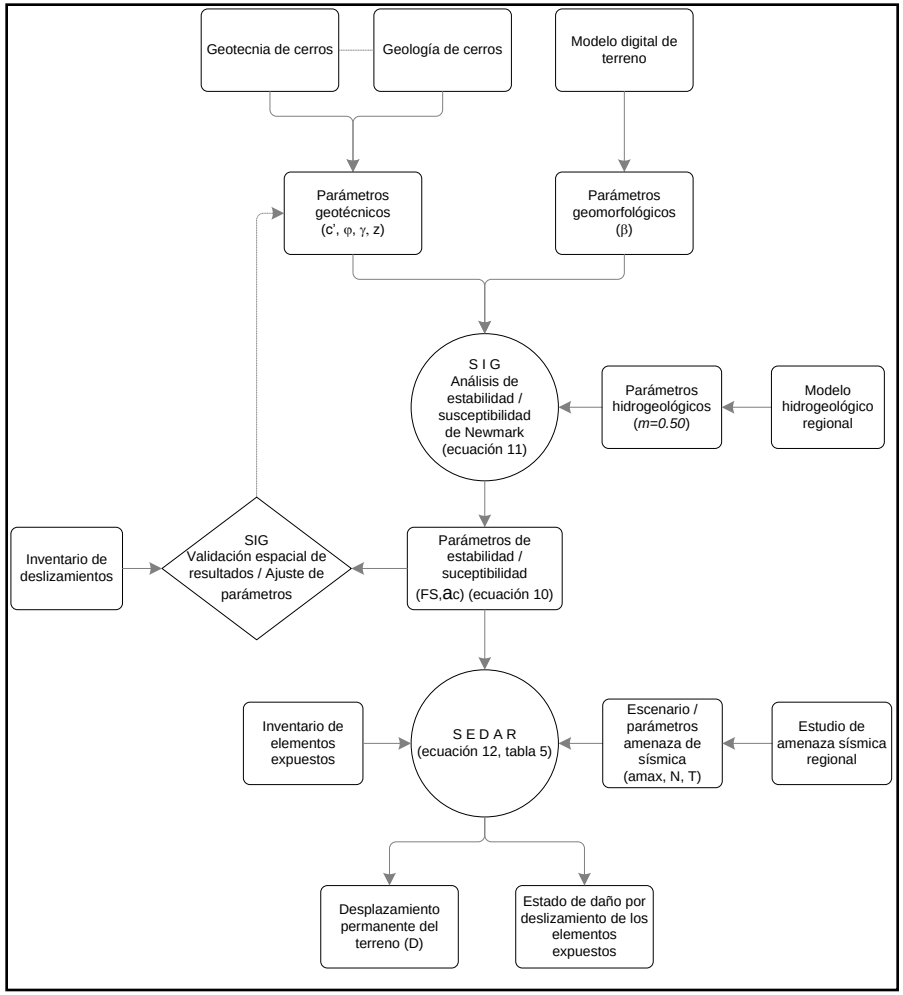


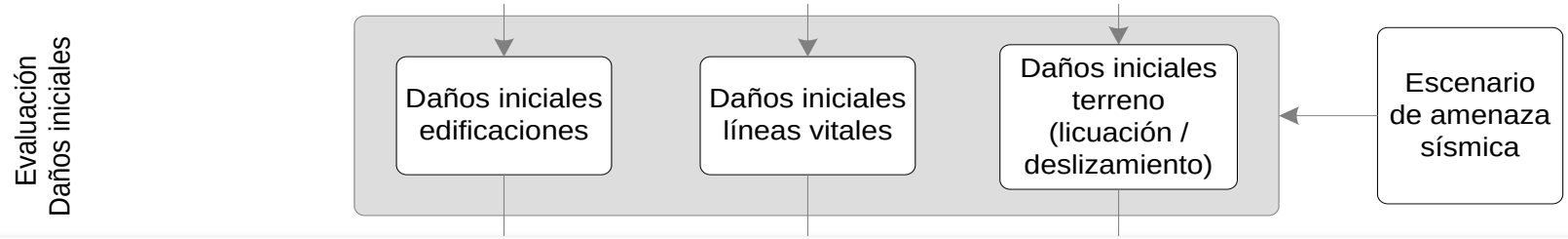
Evaluación Daños iniciales




- Daños iniciales terreno – Licuación y Deslizamientos





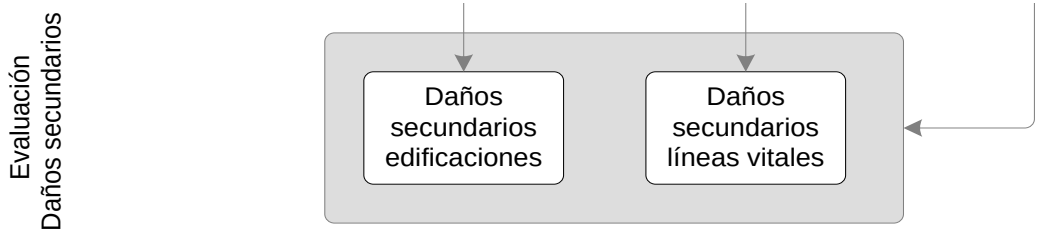

- Daños iniciales terreno – Licuación y Deslizamientos



Licuación. Chile 2010

Deslizamiento. Loma Prieta USA 1989






- Daños secundarios – Edificaciones y Líneas vitales

GDT Grado de Daño Total

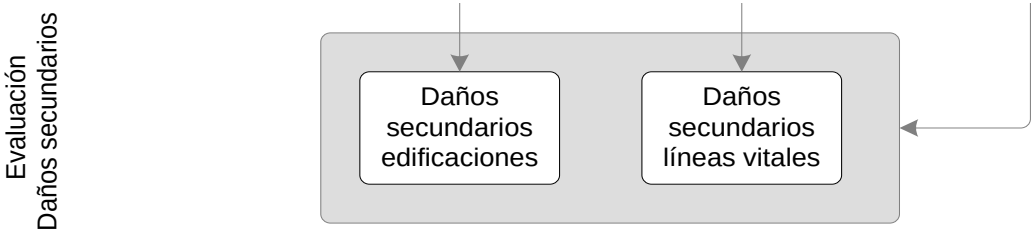
| EDL \ EDD | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 2 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |

Edificaciones $ID_c = ID + GDT * VC$

Tuberías y cableados $RR_c = RR * (1 + GDT * VC)$

Tanques y puentes $ED_c = ED + (GDT * VC)$

Postes y torres $ED_c = GDT$




- Daños secundarios – Edificaciones y Líneas vitales



Stick-out of manhole
(at Niigata-Tyuetu Earthquake in 2004)



Licuación. Chile 2010



Deslizamiento. Haití 2010

- Afectaciones a la población

Ocupación día / noche

$$Nocup(dia) = \frac{\%ocupdia}{100} * \frac{denpob * Fden * Acman}{1*10^6}$$

$$Nocup(noche) = \frac{\%ocupnoche}{100} * hab$$

# Atrapado

$$\#Atrapados = Nocup * \frac{\%atrapados}{100} * Fcps$$

| Ductilidad | % Atrapados |
|---|---|
| Estructura dúctil | 30 |
| Estructura frágil | 5 |

Heridos

$$Heridos_graves = \#atrapados * 0.27 * \left(1 - \frac{\%Fatalidad}{100}\right)$$

| Ductilidad | % Fatalidad |
|---|---|
| Estructura dúctil | 50 |
| Estructura frágil | 15 |

Víctimas

$$Muertos = \#atrapados * \left(\frac{\%Fatalidad}{100}\right)$$

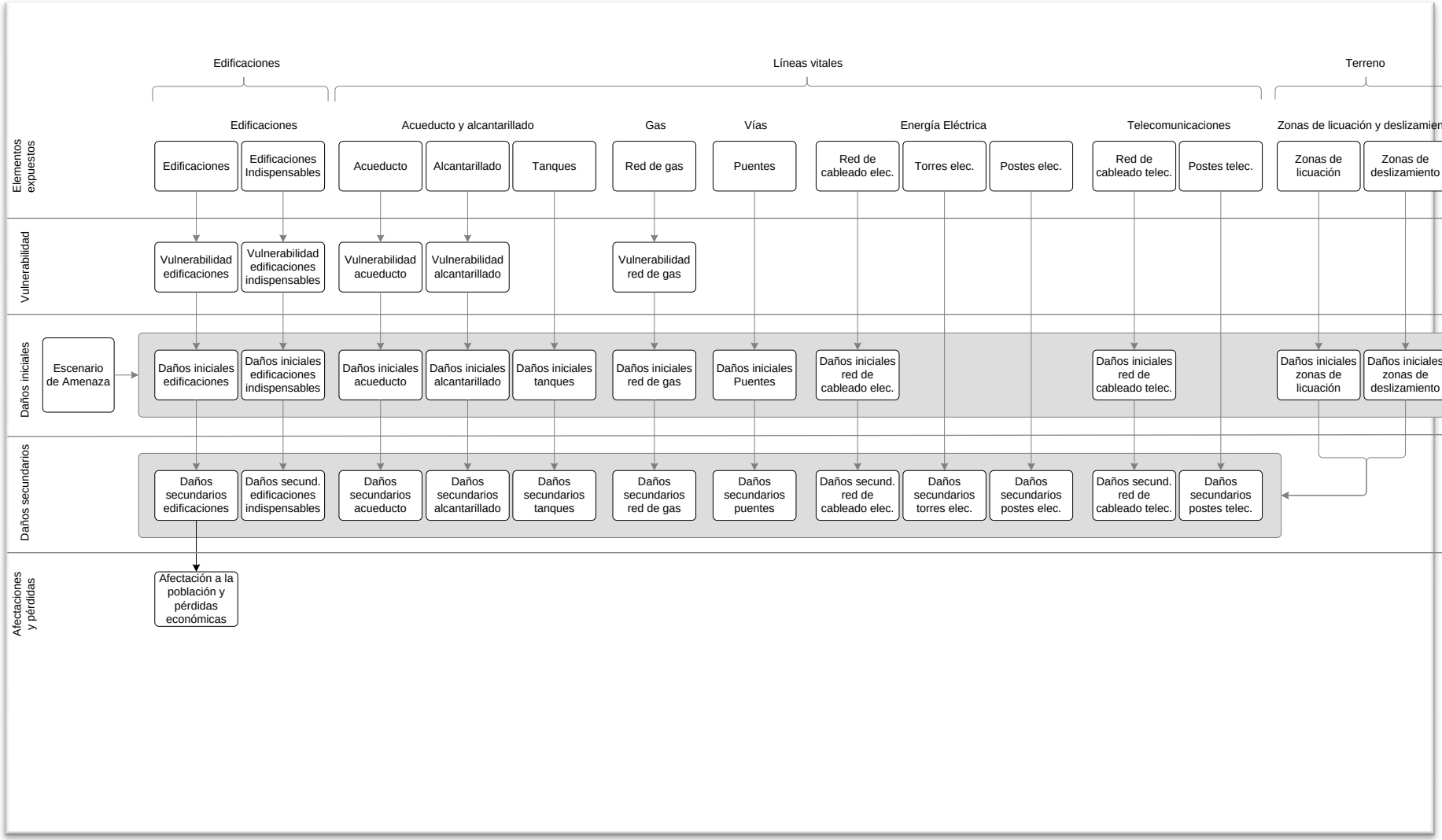
- Pérdidas económicas

$$Perdidas = Indicador_daño * Aconstruida * valor_m^2 construccion$$

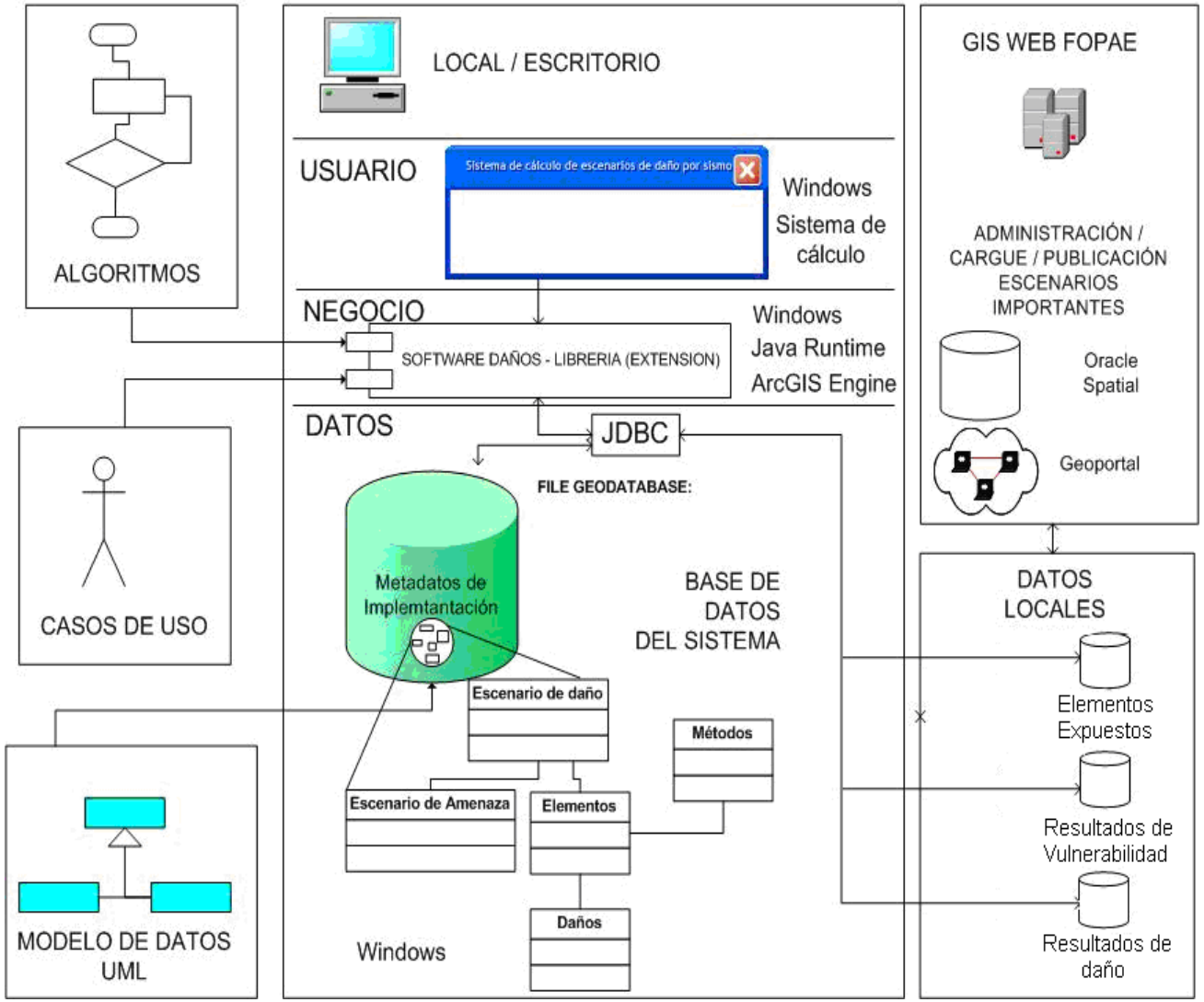
# 3. Desarrollo del Sistema

- Requisitos funcionales
- Arquitectura del sistema
- Modelo de Datos
- Despliegue de la aplicación

# Requisitos Funcionales

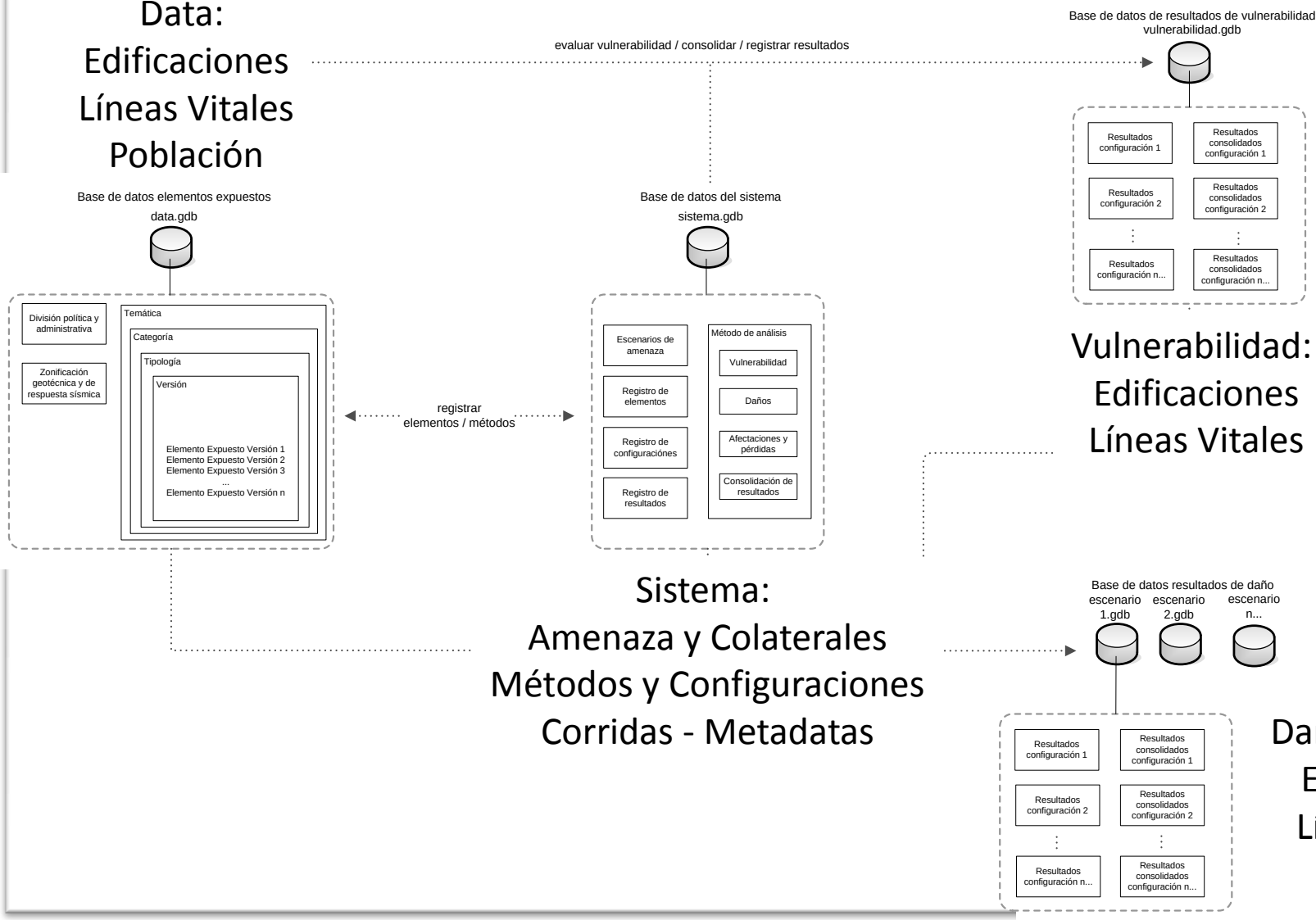


# Arquitectura del sistema



# Modelo de Datos

Data:
Edificaciones
Líneas Vitales
Población



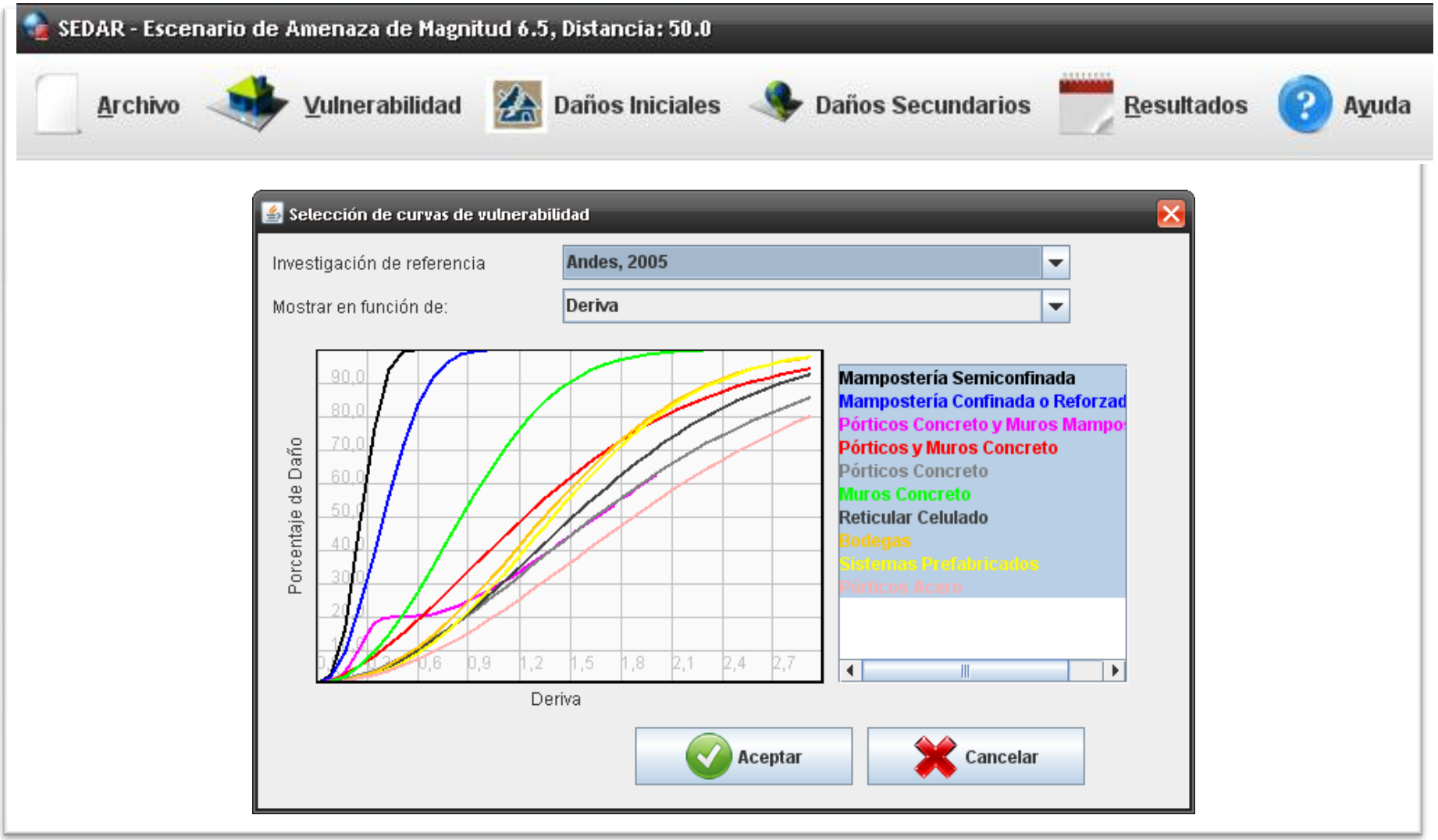

Vulnerabilidad:
Edificaciones
Líneas Vitales

Sistema:
Amenaza y Colaterales
Métodos y Configuraciones
Corridas - Metadatas




Daño EA MX, DY:
Edificaciones
Líneas Vitales
Población

# Despliegue


SEDAR - Escenario de Amenaza de Magnitud 6.5, Distancia: 50.0
Archivo
Vulnerabilidad
Daños Iniciales
Daños Secundarios
Resultados
Ayuda
Selección de curvas de vulnerabilidad
Investigación de referencia
Andes, 2005
Mostrar en función de:
Deriva
Porcentaje de Daño
Deriva
Mampostería Semiconfinada
Mampostería Confinada o Reforzad
Pórticos Concreto y Muros Mampo
Pórticos y Muros Concreto
Pórticos Concreto
Muros Concreto
Reticular Celulado
Bodegas
Sistemas Prefabricados
Pórticos Acero
Aceptar
Cancelar

# 4. Conclusiones

- El punto de partida es definir un enfoque conceptual y metodológico adecuado para el sistema de cálculo de daños por terremoto.

- Se definen los sismos probables y aplicando un modelo sencillo de respuesta sísmica basado en relaciones espectrales se pueden determinar parámetros de intensidad sísmica máximos y espectrales para cada zona de la ciudad.

- Se desarrollaron y/o adaptaron métodos semi-detallados para evaluar la vulnerabilidad sísmica y daños iniciales de edificaciones, tuberías, cableado, tanques y puentes.

- Se desarrolló un método para evaluar el Potencial de Licuación y Deslizamiento por un sismo, con el fin de estimar daños secundarios por estos efectos colaterales.

- Se desarrollo SEDAR, software versátil y compatible con la plataforma tecnológica de la entidad, todos los métodos se implementaron, así como funciones de consolidación y administración de resultados.

# Recomendaciones

- Centralizar la información geográfica en bases de datos geográficas con una estructura geomática definida para que se pueda trabajar en red, esto es diferente al sistema actual para consulta que se realiza por Internet.

- Proponer proyectos de investigación que permitan desarrollar funciones de vulnerabilidad propias para las edificaciones y líneas vitales de la ciudad.

- Continuar con la operación y mantenimiento de SEDAR, realizar las mejoras que sean requeridas a la versión 1.0 e incorporar nuevos métodos que sean investigados.

# FONDO DE PREVENCIÓN
# Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
# FOPAE

www.fopae.gov.co
www.sire.gov.co
www.conlospiesenlatierra.gov.co

Bogotá, Colombia

FOPAE
Fondo de Prevención
y Atención de Emergencias

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

BOG
BOGOTÁ
POSITIVA
GOBIERNO DE LA CIUDAD

GOBIERNO, SEGURIDAD Y COVIVENCIA - FOPAE