

## Introducción a la evaluación de la amenaza sísmica



Cees van Westen  
Tshehai Woldai  
Siefko Slob  
Ruben Vargas  
International Institute  
for Geo-Information Science and Earth  
Observation  
(ITC), Enschede, The Netherlands.  
E-mail: [westen@itc.nl](mailto:westen@itc.nl)  
[Woldai@itc.nl](mailto:Woldai@itc.nl)  
[Slob@itc.nl](mailto:Slob@itc.nl)  
[vargasfranco@itc.nl](mailto:vargasfranco@itc.nl)

UNESCO RAPCA



## Contenido del curso (1)

- **Introducción:** sismos y sus efectos
- **Sismos:** Conceptos básicos, términos de uso común, evaluación del impacto, clasificación
- **Tipos de amenazas asociadas con sismos**

UNESCO RAPCA



## Contenido del curso(2)

- Evaluación de la amenaza, principios generales
  - Metodología Radius
  - Metodología HAZUS
- Ejercicios utilizando SIG

## Objetivos del curso

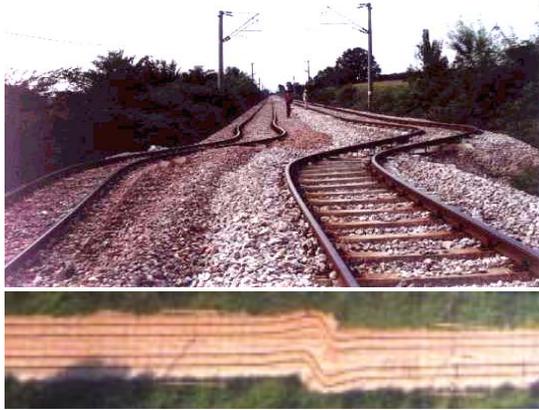
Al finalizar la sesión los participantes podrán:

- Definir el concepto de amenaza sísmica
- Explicar los principales tipos de amenaza
- Describir los conceptos de macro y microzonificación sísmica

# TERREMOTOS!!!

**Movimiento de la tierra**  
**Repentino**  
**Brusco**  
**Rápida liberación de energía**  
**Fractura o movimiento al interior de la corteza terrestre**

**DAÑOS MATERIALES**  
**Infraestructura productiva**  
**Residencias**  
**El paisaje**



UNESCO RAPCA

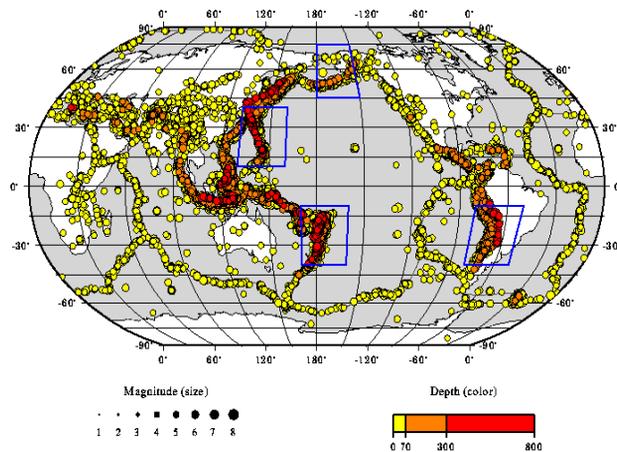


## Donde ocurren los terremotos?

### Mapa de distribución de sismos

<http://www.neic.cr.usgs.gov/neis/current/world.html>

01/01/1991 - 12/31/1996 M > 4.5

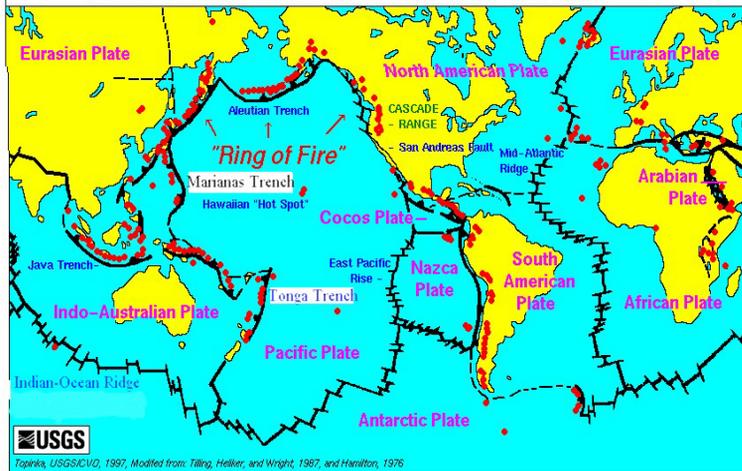


UNESCO RAPCA

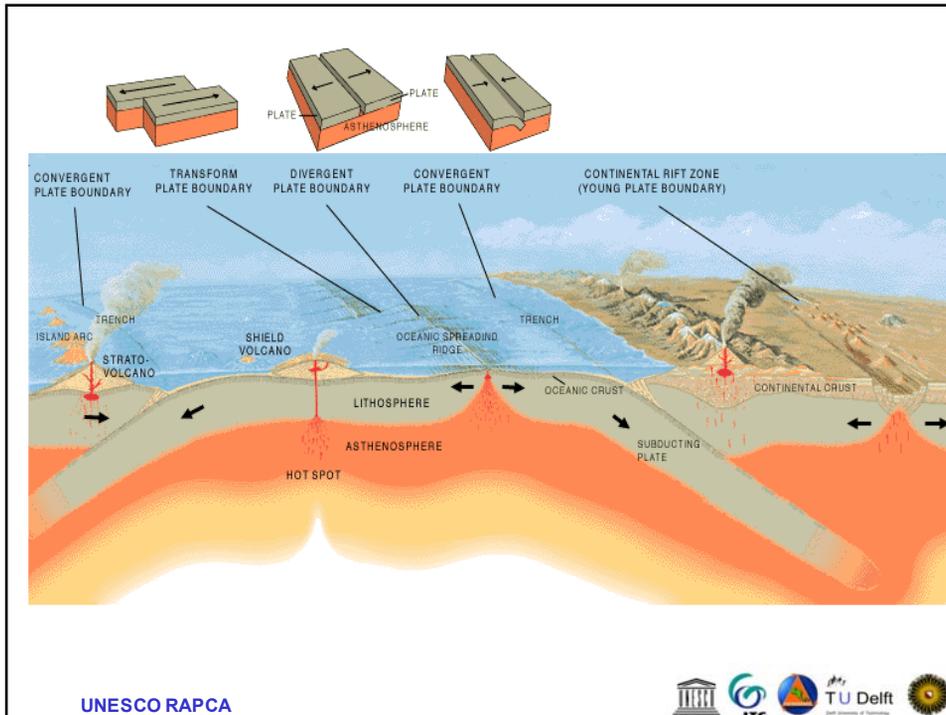


## Distribución Geográfica

Volcanes activos, Placas tectónicas, Cinturón de fuego del pacífico

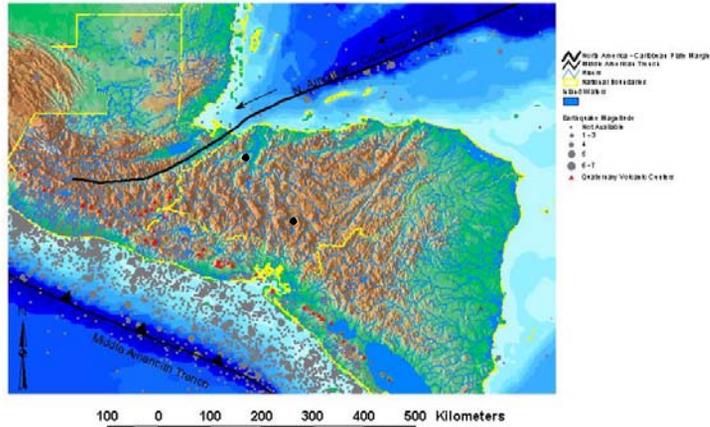


UNESCO RAPCA



# Situación local Honduras

Northern Central America - Physical Setting

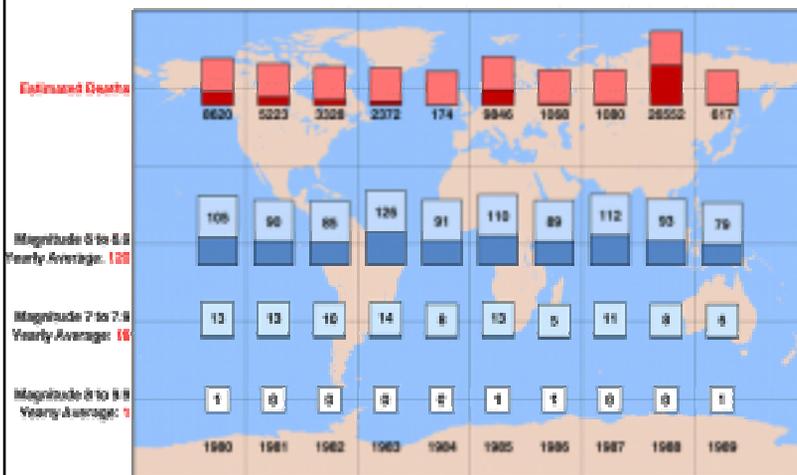


Fuente imágenes: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/americas/1117095.stm>

[http://www.ig.utexas.edu/who/we\\_ame/index.htm](http://www.ig.utexas.edu/who/we_ame/index.htm)



## Distribución de sismos a nivel global 1980-89

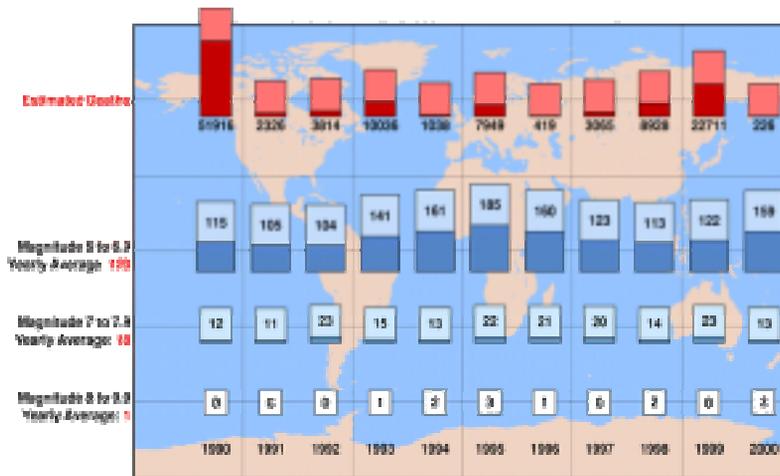


<http://www.neic.cr.usgs.gov/neis/eqlists/graphs.html>

UNESCO RAPCA



## Distribución de sismos a nivel global 1990-2000



<http://www.neic.cr.usgs.gov/neis/eqlists/graphs.html>

Facilitado por el USGS National Earthquake Information Center

UNESCO RAPCA



## Registro histórico

### Frecuencia de ocurrencia de sismos basado en los registros históricos desde 1900

(<http://www.neic.cr.usgs.gov/neis/eqlists/eqstats.html>)

<u>Descriptor</u>	<u>Magnitud</u>	<u>Promedio anual</u>
<b>Great</b>	<b>8 y mayor</b>	<b>1</b>
<b>Mayor</b>	<b>7 - 7.9</b>	<b>18</b>
<b>Fuerte</b>	<b>6 - 6.9</b>	<b>120</b>
<b>Moderado</b>	<b>5 - 5.9</b>	<b>800</b>
<b>Suave</b>	<b>4 - 4.9</b>	<b>6,200 (estimado)</b>
<b>Menor</b>	<b>3 - 3.9</b>	<b>49,000 (estimado)</b>
<b>Leves</b>	<b>&lt; 3.0</b>	Magnitud 2 - 3: cerca de 1,000 diarios Magnitud 1 - 2: cerca de 8,000 diarios

UNESCO RAPCA



## Daños asociados con sismos

Directos, relacionados la movimiento del suelo

(approx.. 20%)

1. Vibración del suelo
2. Rompimiento superficial, ruptura de falla

Indirectos

(approx.. 80%)

3. Tsunamis & Seiches

UNESCO RAPCA



## Daños asociados con sismos

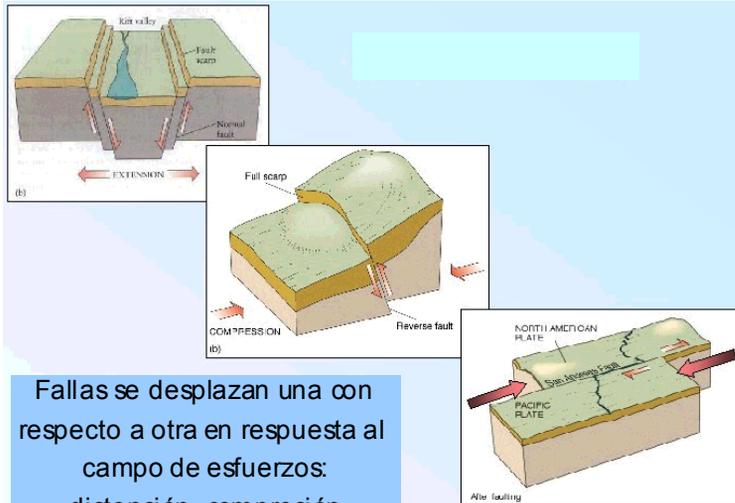
4. Amenazas Secundarias

- a) **Avalanchas,**
- b) **Flujos de tierra y lodo,**
- c) **Ase ntamiento diferencial del suelo,**
- d) **Liquefacción,**
- e) **Deslizamientos.**
- f) **Inundaciones debido a rompimiento de presas y diques naturales.**
- g) **Incendios, etc.**

UNESCO RAPCA



## Una mirada en detalle



Fallas se desplazan una con respecto a otra en respuesta al campo de esfuerzos: distensión, compresión

UNESCO RAPCA



## Tipos de Sismos Según origen

### **TECTONICO –**

- ✓ Liberación rápida de energía en movimientos que ocurren en la corteza terrestre. Es el tipo más común.

### **VOLCANICO –**

- ✓ Asociados a actividad volcánica.

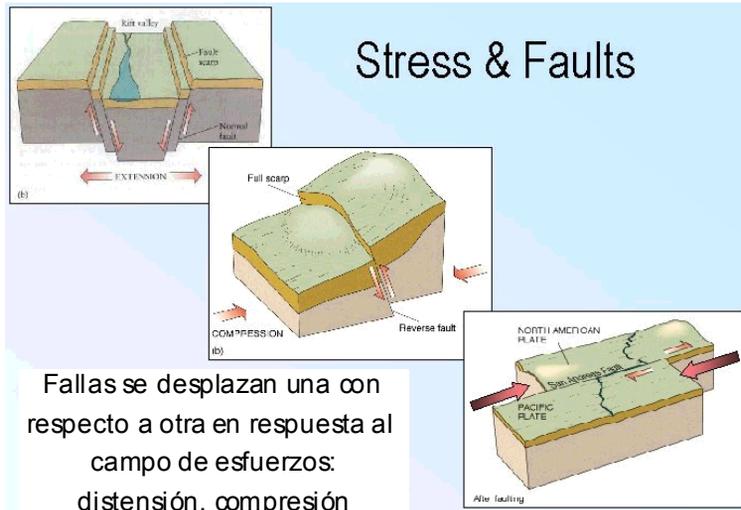
### **Otros tipos menos comunes -**

- ✓ Colapso de cavernas subterráneas y minas
- ✓ Deslizamientos masivos
- ✓ Explosión de armas químicas o nucleares.

UNESCO RAPCA



## Campo de esfuerzos – Principios básicos

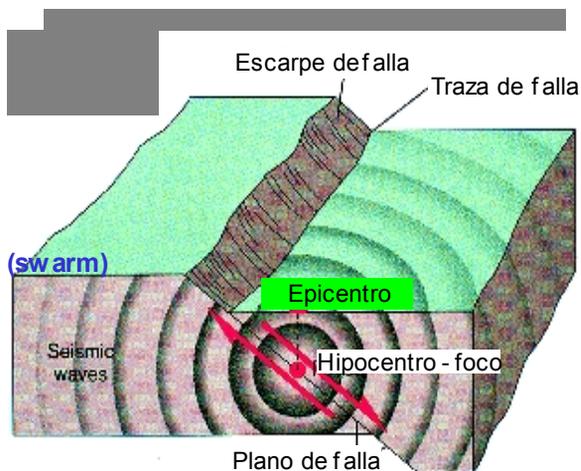


UNESCO RAPCA



## Términos de uso común

- EPICENTRO
- HYPOCENTRO
  - Terremoto
  - Replica
  - Sismo Premonitorio
  - Enjambre o anidado (swarm)

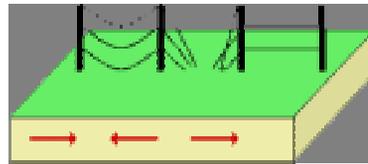
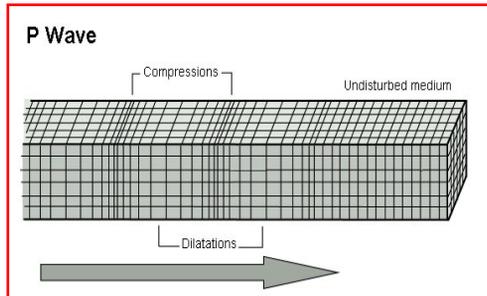


UNESCO RAPCA



## Tipos de ondas sísmicas

- Primarias o ondas tipo 'P'



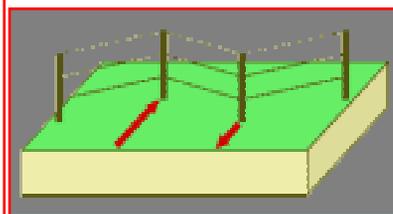
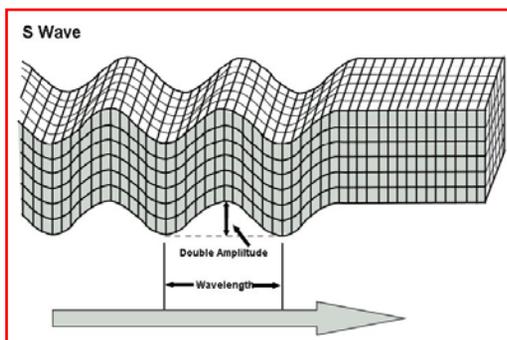
Ondas P – Los materiales se mueven paralelamente a la dirección de las ondas

UNESCO RAPCA



## Tipos de ondas sísmicas

- Secundarias o ondas tipo 'S'



Ondas S- Movimiento perpendicular a la dirección de la onda

UNESCO RAPCA



## Tipos de ondas sísmicas

- Superficiales, ondas tipo L
- **Ocurren únicamente en la superficie de la corteza terrestre.**
- **Tienen longitudes de onda larga y baja frecuencia**
- **Son las mas destructivas.**

- Mas lentas que ondas tipo P-y S
- Amplitud > ondas P- y S
- Vibración se reduce con profundidad
- Periodo largo, causa ppal de daño

Hay dos tipos de ondas L :

- **Ondas “Love” (Ondas Q)**
- **Ondas Rayleigh (Ondas R)**

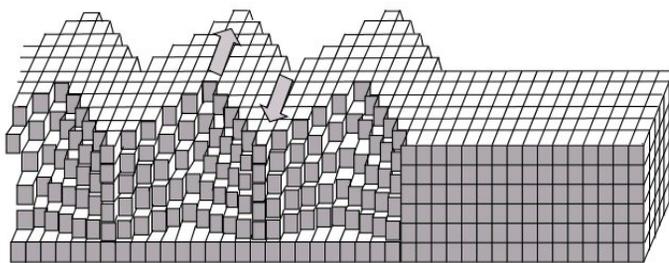
UNESCO RAPCA



## Tipos de ondas sísmicas

- Ondas “Love” (Ondas Q)

Love Wave



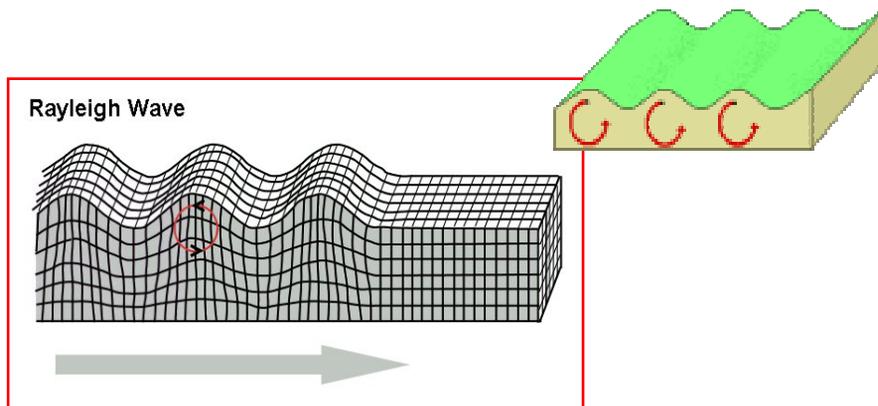
Movimiento horizontal fuerte, perpendicular a la dirección de la onda

UNESCO RAPCA



## Tipos de ondas sísmicas

- -Ondas Rayleigh (Ondas R)



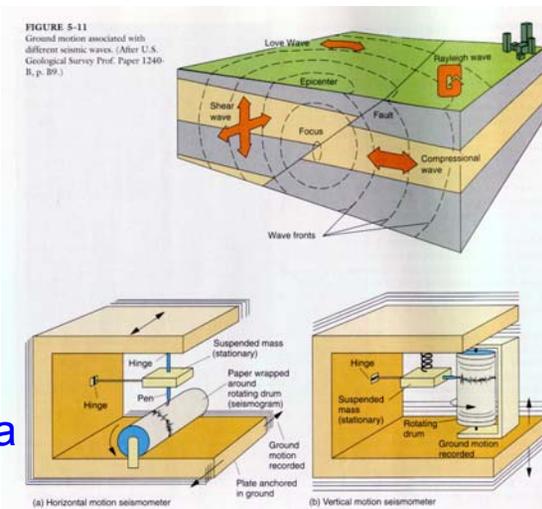
Movimiento arribay abajo, lado a lado, en la dirección de la onda

UNESCO RAPCA



## Localización de terremotos

- Foco
  - Superficial
  - Intermedio
  - Profundo
- Epicentro
- Traza de falla
- Escarpe de falla



UNESCO RAPCA



# Como se evalúa el tamaño de un sismo?

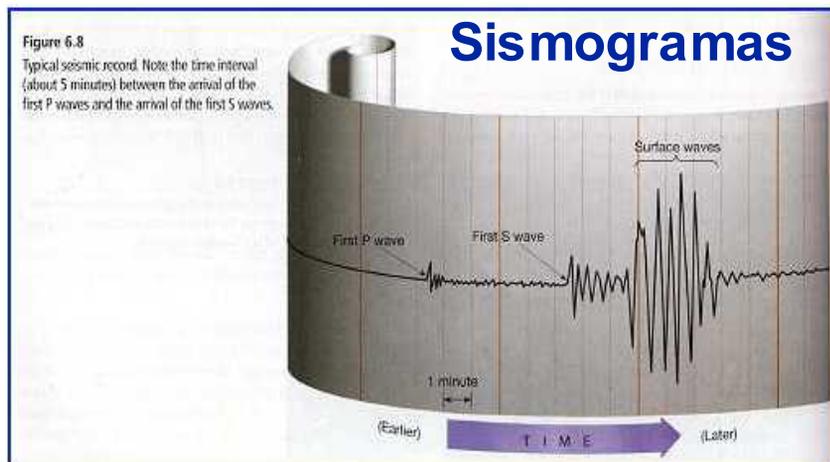


Sismógrafo  
Acelerógrafo

UNESCO RAPCA



# Como se evalúa el tamaño de un sismo?

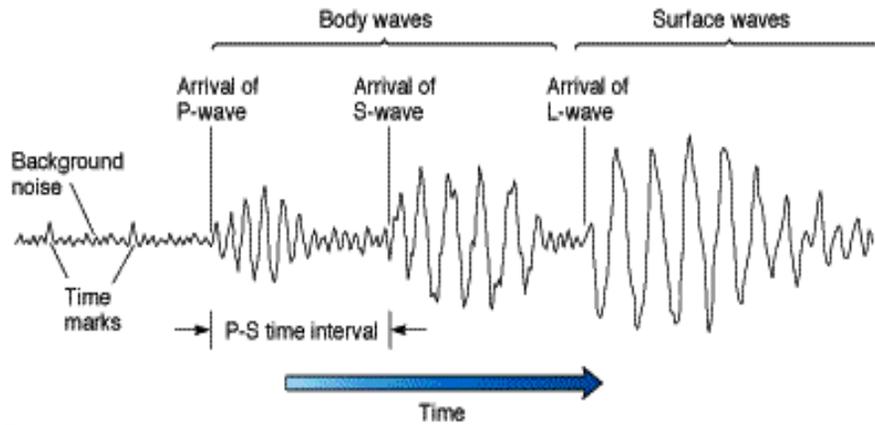


Sismogramas

UNESCO RAPCA



## Tiempo de Llegada

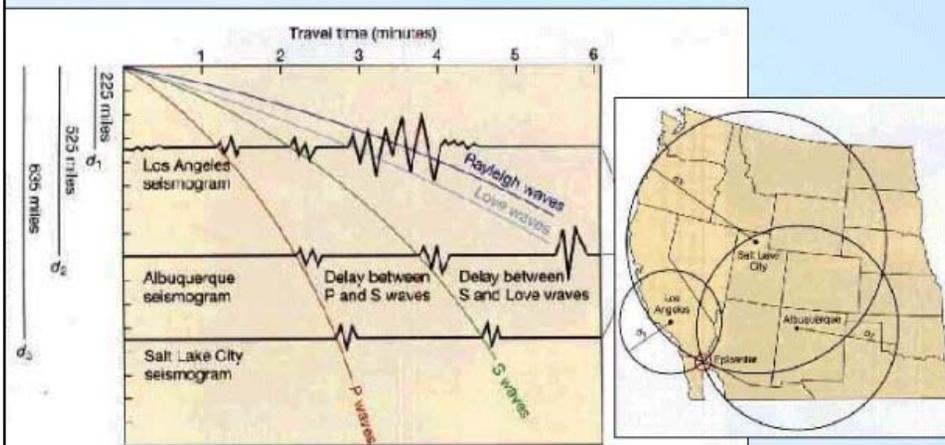


© 1998 Wadsworth Publishing Company/ITP

UNESCO RAPCA

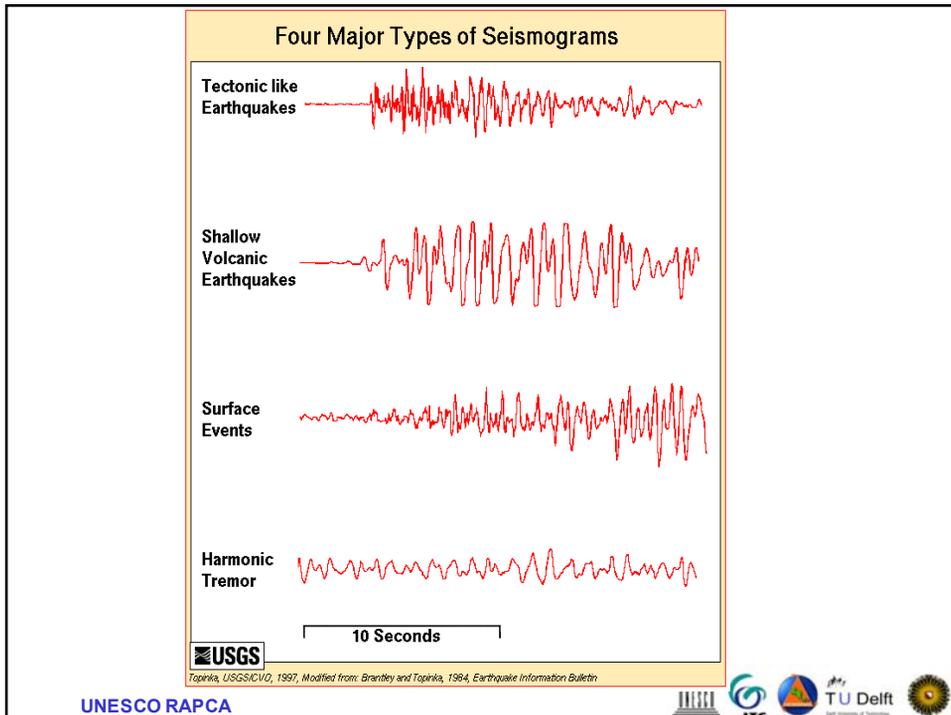


## Tiempo de Llegada



UNESCO RAPCA





## El tamaño de un sismo

- **Magnitud : expresa la cantidad de energía liberada (cantidad de movimiento vertical).**
  - Es confrecuencia reportada utilizando la escala de **Richter**
  - **Tamaño y potencia de un terremoto**
    - $M = \mu L S$
    - Donde  $\mu$  - rigidez del material
    - L – desplazamiento de la falla
    - S – Fault area
- **Intensidad : Expresa la severidad de los daños causados (vidas, infraestructura, naturaleza).**
  - Es una medida subjetiva, imprecisa.

## Escalas de Richter y Mercalli

- Escala de Richter
- Escala logarítmica
- Diseñada en 1935 para determinar la magnitud de un sismo.
- Originalmente diseñada para comparar magnitud de sismos en California, ha sido adoptada mundialmente.
- **El valor calculado indica la cantidad de energía liberada durante el sismo.**
- Los valores en la escala varían **de 0 (cero) a 8.9** (El mas grande en el registro histórico, Chile 1960).

UNESCO RAPCA



## Escalas de Richter y Mercalli

- Escala de Mercalli
- Diseñada para estimar la intensidad de un sismo
- Describe la severidad de los daños
- Es menos precisa
  - debido a su carácter subjetivo
  - Daños no necesariamente proporcionales a la severidad del sismo (vulnerabilidad)

UNESCO RAPCA



# Escala de Richter

## Magnitud (escala log)    Posibles Efectos

- 0
- 1
- 2    Usualmente solo detectado por instrumentos
- 3
- 4    Temblor debil causa poco daño
- 5    Daño estructural
- 6    Vibración es clara, Edificios con deficiencias estructurales colapsan
- 7    Daños intensos: puentes, muros fracturados; Edificios en concreto colapsan
- 8    Destrucción intensa generalizada,
- 9    Sacudida intensa del terreno

escala logarítmica, un sismo de magnitud 6.0 es 10 veces mas severo que uno de magnitud 5.0. En forma similar, uno de magnitud 7.0 es 100 veces mas severo que uno de 5.0

UNESCO RAPCA



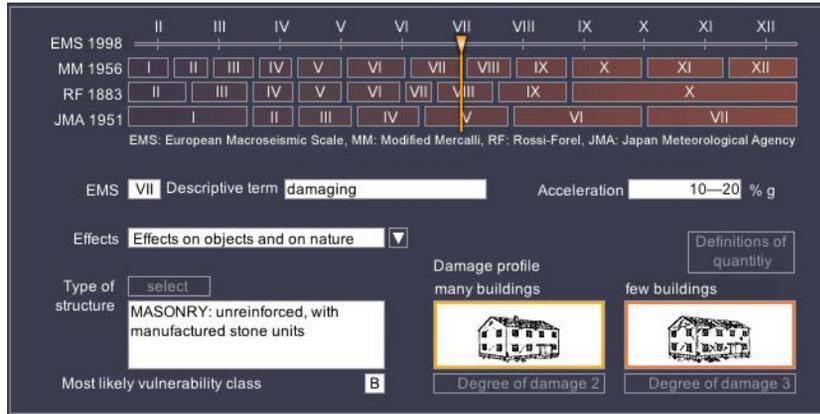
# Escala Modificada de Mercalli

- I.        Instrumental        Detectado solo por sísmógrafos
- II.        Debil                    Percibido por muy pocos.
- III.        Leve                     Semejante a las vibraciones causadas por tráfico pesado.
- IV.        Moderado                Percibido por caminantes; Balanceo de objetos.
- V.        Algo fuerte              Personas son despertadas, campanas vibran.
- VI.        Fuerte                  Arboles oscilan, daños menores (objetos que caen).
- VII.        Muy fuerte              Alarma general, Fractura de muros.
- VIII.        Destructivo             Chimneys fall and there is some damage to buildings.
- IX.        Ruinous                 Ground begins to crack, houses begin to collapse and pipes break.
- X.        Desastroso              Ground badly cracked and many buildings are destroyed. There are some landslides.
- XI.        Muy Desastrosos        Few buildings remain standing; bridges and railways destroyed; water, gas, electricity and telephones out of action.
- XII.        Catastrofico            Total destruction; objects are thrown into the air, much heaving, shaking and distortion of the ground.

UNESCO RAPCA



## Escalas de intensidad



UNESCO RAPCA



## Como interactúan las ondas sísmicas y el suelo? (1)

- Suelos (blandos) recubriendo el basamento rocoso amplifican la vibración sísmica en la mayoría de los casos
- La magnitud de la amplificación depende de
  - Espesor de la cobertura de suelos (geología)
  - Propiedades del suelo (rigidez, peso unitario)
  - Tipo de sismo (magnitud, distancia hipocentro)

UNESCO RAPCA



## Como interactúan las ondas sísmicas y el suelo? (2)

- La mayor amplificación ocurre cuando el suelo empieza a resonar bajo la influencia de la onda sísmica

UNESCO RAPCA



## Como interactúan las ondas sísmicas y el suelo? (3)

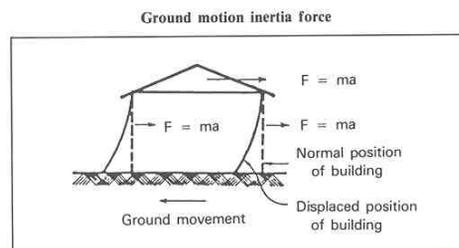
- Efectos asociados a la Topografía :
  - Una topografía pronunciada puede incrementar el efecto de amplificación: efecto “jelly-pudding”
  - La vibración en la cima de una colina podría ser mayor que la que ocurre en la base

UNESCO RAPCA



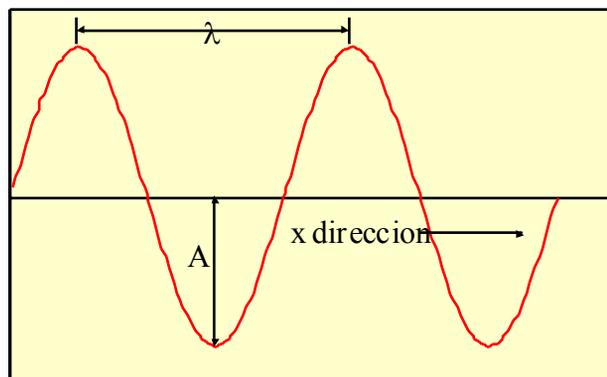
## Como afectan las ondas sísmicas los edificios y las estructuras?

- Movimientos horizontales (aceleración) de la superficie del suelo son transferidos al edificio
- La aceleración horizontal crea fuerzas que actúan sobre la edificación o estructura
- Aceleración es mayor cuando la estructura empieza a resonar



UNESCO RAPCA

## Propiedades de las ondas(1)



UNESCO RAPCA



## Propiedades de las ondas (2)

- Frecuencia y Periodo

$$\text{Periodo} = \frac{1}{\text{Frecuencia}} \quad ; \quad T = \frac{1}{f}$$

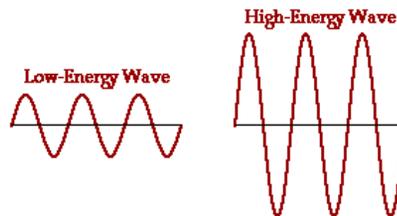
–  $f = [s^{-1}]$  or [Hz] (cyclos/segundo)

–  $T = [s]$

## Propiedades de las ondas(3)

- Transporte de energía y Amplitud

$$E \propto A^2$$



The amplitude of a wave is related to the energy which it transports.

## Propiedades de las ondas(4)

- Velocidad de la onda
  - Independiente de la longitud de onda y amplitud!
  - Característica del medio
- Velocidad = Longitud de onda/ Periodo:

$$c = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow$$

$$c = \lambda * f$$

UNESCO RAPCA



## Resonancia (Parcial)

- Estructuras tienen una gran probabilidad de alcanzar resonancia parcial, cuando:
  - La frecuencia natural del movimiento del suelo coincide con la frecuencia natural de la estructura
- Resonancia trae como resultado:
  - Incremento en la oscilación de la estructura
  - Dada una suficiente duración, el efecto de resonancia puede resultar en daño parcial o total

UNESCO RAPCA



## Periodo Fundamental / frecuencia natural

- Todos los objetos o estructuras poseen una tendencia natural a vibrar
- El concepto de periodo fundamental (frecuencia natural) es una medida de dicha tendencia a vibrar

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

K= Rigidez  
M = Masa

UNESCO RAPCA



## Periodo Característico local

- El periodo de vibración correspondiente a la frecuencia fundamental frecuencia se denomina periodo característico local:

$$T_S = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{4H}{V_S}$$

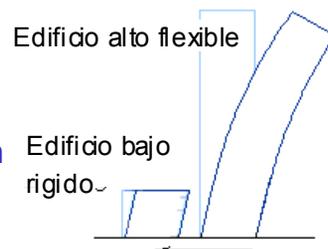
- El periodo característico local, el cual solo depende del espesor del suelo y la velocidad de la onda cortante, es una indicación valiosa acerca del periodo de vibración para el cual se puede esperar el mayor nivel de amplificación

UNESCO RAPCA



## Frecuencia natural de edificios

- Edificios tienden a tener una menor frecuencia natural cuando son:
  - O mas pesados (mas masa)
  - O mas flexibles (menos rígido).
- Una de los principales aspectos que afecta la rigidez de un edificio es su altura.
  - Edificios altos tienden a ser más flexibles, y por lo tanto presentan en general frecuencias naturales bajas comparados con edificios de poca altura.



UNESCO RAPCA



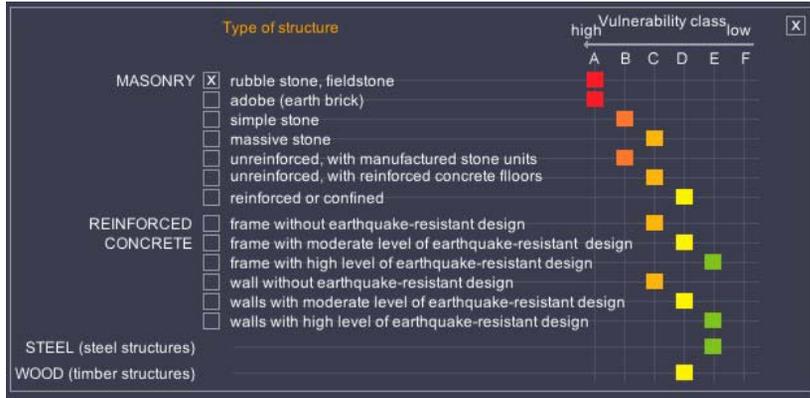
## Ejemplos de frecuencias naturales para edificios

Tipo de estructura	Frecuencia natural (Hz)
Un nivel	10
3-4 niveles	2
Edificios altos	0.5 – 1.0
Rascacielos	0.17

UNESCO RAPCA



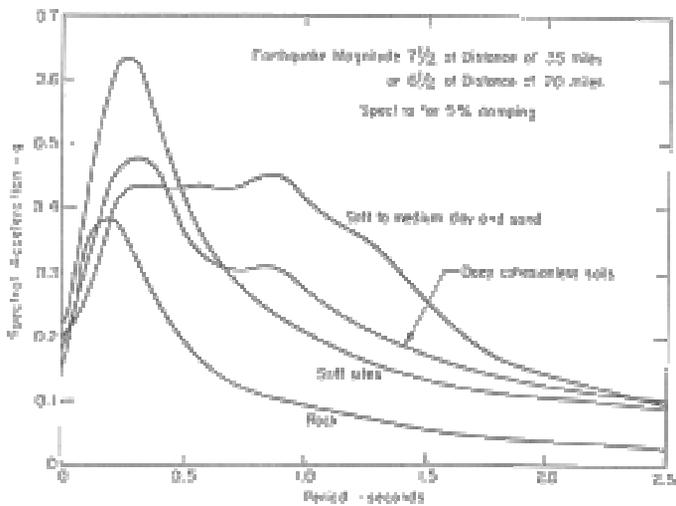
# Tipo de estructuras



UNESCO RAPCA



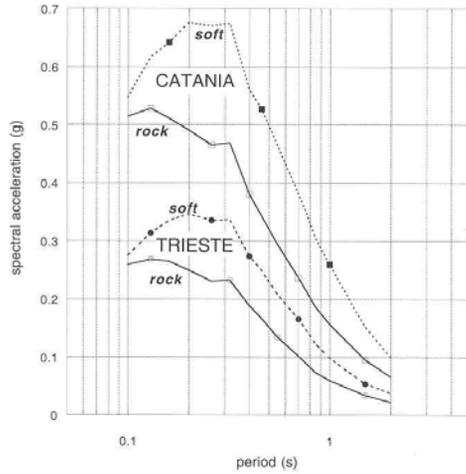
# Espectro de respuesta



UNESCO RAPCA



# Espectro de respuesta



UNESCO RAPCA



# Efecto de la función de transferencia sobre la amplitud del espectro

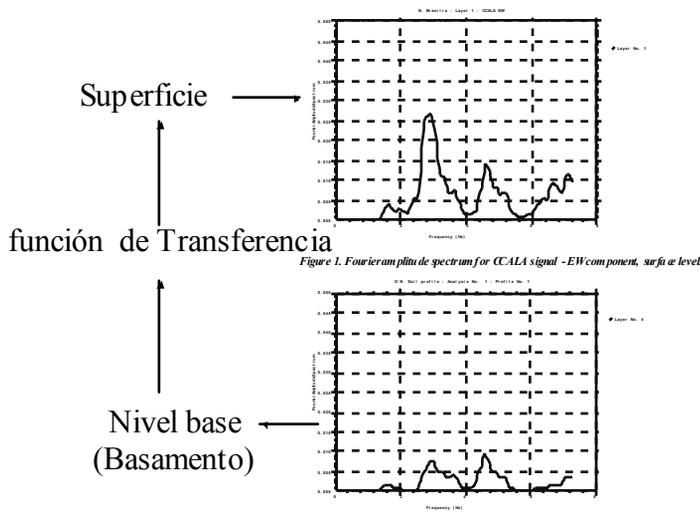


Figure 1. Fourier amplitude spectrum for CCALA signal - EW component, surface level.

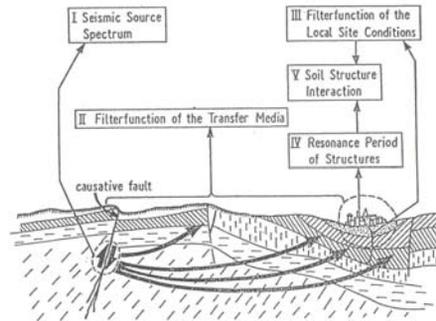
Figure 2. Fourier amplitude spectrum for CCALA signal - EW component, base level.

UNESCO RAPCA



## Evaluación de la amenaza sísmica

- **Macrozonificación Sísmica**
  - Definir zonas fuente
  - Caracterizar zonas fuente
  - Calcular aceleración máxima del suelo para diferentes periodos de retorno
- **Microzonificación Sísmica**
  - Determinar respuesta local
  - Amplificación debida a condiciones locales (Suelo/topografía)
  - Amenazas Secundarias
  - Relación con edificios



UNESCO RAPCA



## Macrozonificación Sísmica

### No-instrumental

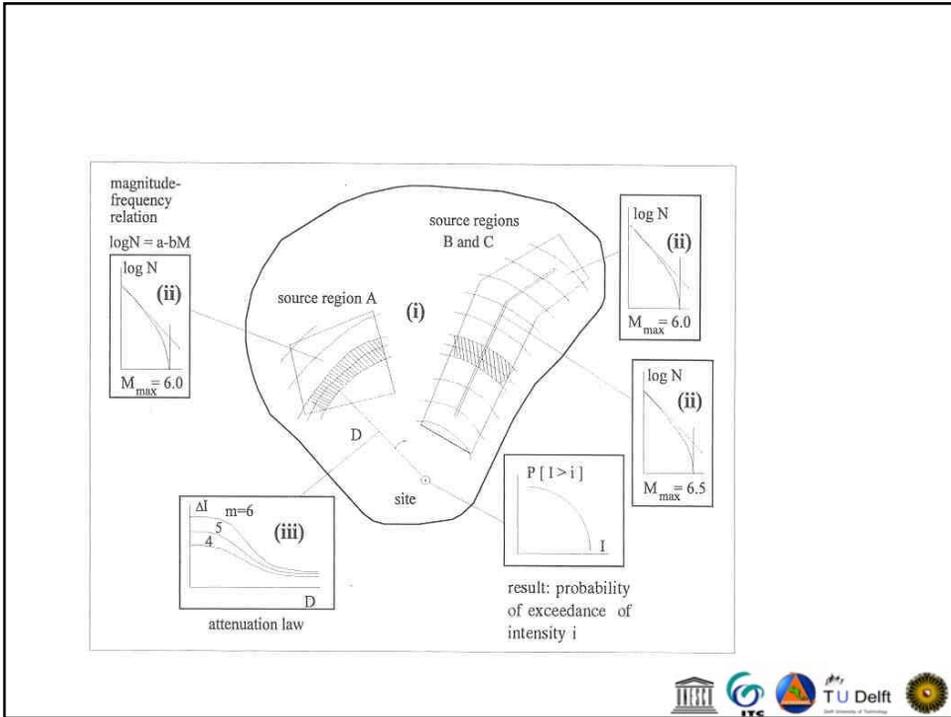
- Datos históricos de intensidad (registro de daños) usados para
- Preparación de mapas iso-sísmicos (iso intensidad sísmica)
  - Localización de epicentros
  - Determinar niveles de atenuación de la intensidad con la distancia (medida para profundidad y magnitud)

### Instrumental

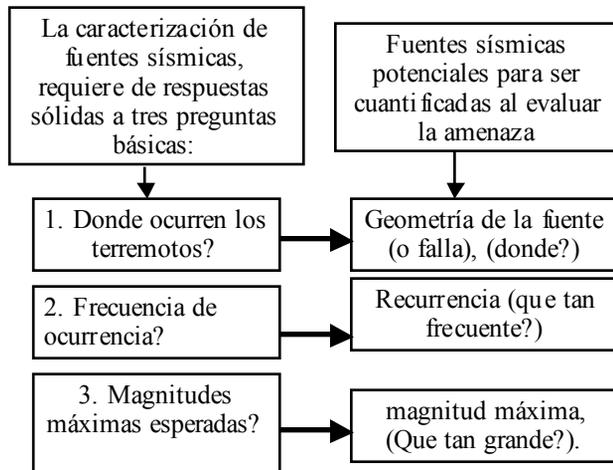
- Datos sismográficos utilizados para
- Determinar coordenadas del epicentro
  - Determinar profundidad
  - Determinar magnitud

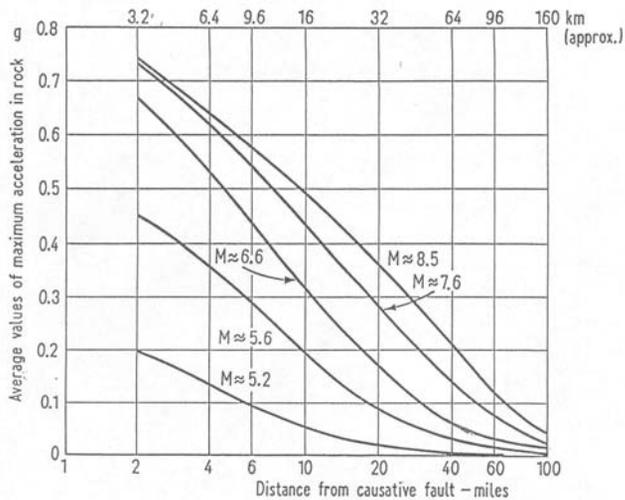
UNESCO RAPCA





## Caracterización de fuentes sísmicas





UNESCO RAPCA



## Macrozonificación: GSHAP

- Programa de Evaluación Global de la Amenaza Sísmica (GSHAP) Iniciado en 1992
- Por el Programa Internacional para el estudio de la Litosfera (ILP) con el apoyo de ICSU,
- Programa dentro del UN/IDNDR
- GSHAP promueve un enfoque homogéneo, coordinado regionalmente, para la evaluación de la amenaza sísmica
- <http://seismo.ethz.ch/GSHAP/>

UNESCO RAPCA



## Metodología para la macrozonificación

- Preparación del catalogo sísmico:
  - 1) desde 1964, registros basados en instrumentación moderna son disponibles
  - 2) 1900-1963, datos basados en primeros instrumentos, y
  - 3) pre 1900, datos pre-instrumentos, basados principalmente en registros históricos e información macro-sísmica

UNESCO RAPCA



## Metodología para la macrozonificación

- Definición de zonas y fuentes sísmicas potenciales :
  - Todos los datos disponibles en neo-tectónica, geodinámica, principales rasgos tectónicos, etc

UNESCO RAPCA



## Método GSHAP (2)

- Un modelo de recurrencia sísmica es ajustado a las características de las zonas fuente:
  - Definición de los parámetros que caracterizan la sismicidad del área fuente,
  - Magnitudes Mínima y Máxima
  - Estimar parámetros 'a' y 'b' en la ecuación que relaciona frecuencia y magnitud:  
 **$\log N = a - bM$**
- Aplicar función de atenuación:
  - E.g. of Joyner and Boore (1981)

UNESCO RAPCA



## GSHAP method (3)

- Aplicar un modelo probabilístico para evaluar la amenaza
  - Enfoque de McGuire,
  - Utilizando el programa FRISK88M
- Aceleraciones Máximas (PGA) fueron calculadas para un 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años, en áreas definidas por una grid de 0.5° X 0.5°

UNESCO RAPCA



## Esquema general métodos de zonificación sísmica

- Caracterización directa del sismo
  - Mapeo de daños
  - Observación Instrumental
- Predicción del tipo de movimiento
  - Amenaza sísmica regional
  - Calculo determinístico de parámetros del sismo
- Caracterización del sitio (local)
  - Método empírico  
(Mapa de suelos, Anomalías de intensidad  
Mapeo velocidad onda cortante, Earthquake spectral ration  
techniques, Microtremor (e.g. Nakamura)
  - métodos de simulación numérica
    - E.g. SHAKE
- Efectos topográficos

UNESCO RAPCA



## Datos requeridos para la microzonificación sísmica

- Registros instrumentales significativos
- Detallada información geológica
- Datos de perforaciones, alcanzando el basamento
- Datos test de penetración estándar (SPT)
- Modelo Digital del Terreno

UNESCO RAPCA



## Metodos para la estimación de pérdidas utilizando SIG

De libre acceso:

- RADIUS: Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters (IDNDR)
  - <http://geohaz.org/radius/>
  - <http://www.unisdr.org/unisdr/radiusindex.htm>
- HAZUS metodo utilizado en US
  - Federal Emergency management Agency (FEMA)
  - National Institute for Building Science (NIBR)
  - [www.fema.gov/hazus](http://www.fema.gov/hazus)

Otros métodos:  
(Re)Insurance companies

UNESCO RAPCA



## Comparación: Radius/HAZUS

### Radius

- Aproximación general
- Usa PGA
- Valores de aceleración no relacionados con la frecuencia
- Simple caracterización de edificios
- Requiere datos limitados
- Simple programa de calculo (Excell) o SIG
- Aplicable a nivel mundial

### HAZUS

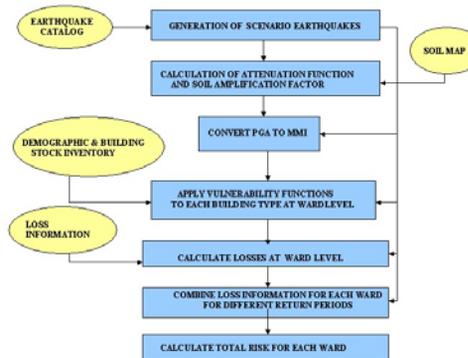
- Evaluación detallada
- espectro de respuesta
- Valores de aceleración relacionados con la frecuencia
- Detallada caracterización de edificios
- Datos detallados
- Diseñado para ArcView y MapInfo
- Solo para US

UNESCO RAPCA



## Metodología Radius

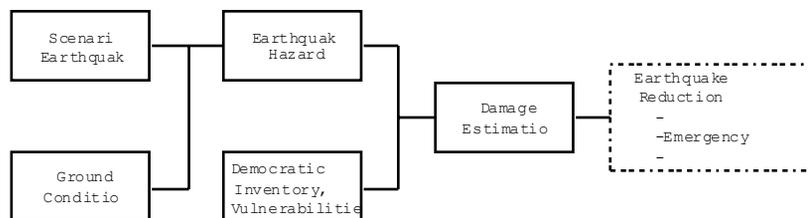
- Paso 1: Definir escenario sísmico.
- Paso 2: Calcular la atenuación
- Paso 3: Calcular efecto local amplificación
- Paso 4: Convertir PGA to MMI
- Paso 5: Aplicar funciones de Vulnerabilidad por tipo de edificio
- Paso 6: Aplicar funciones de Vulnerabilidad por tipo de infraestructura
- Paso 7: Aplicar funciones de Vulnerabilidad por muertes
- Si hay información adicional disponible:
- Paso 8: Aplicar información sobre costos y combinar con vulnerabilidad para calcular pérdidas para diferentes periodos de retorno.
- Paso 9: Combinar información sobre pérdidas para diferentes periodos de retorno y calcular el riesgo (suma total de pérdidas para periodos considerados).
- Paso 10: Combinar información y preparar resumen



UNESCO RAPCA



## RADIUS: esquema general



- Caracterización de los sismos, condiciones de suelo, datos demográficos y funciones de vulnerabilidad son datos fundamentales para la estimación de posibles daños causados por un sismo

UNESCO RAPCA



## RADIUS: Zonificación del terreno

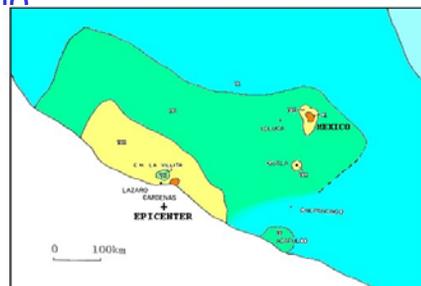
- Estimación de daños : subdivisión área de estudio en zonas homogéneas.
- La metodología RADIUS introduce un método simplificado para evaluar las condiciones del suelo.
- Subdivisión del terreno en un conjunto zonas con formas regulares o irregulares utilizando SIG (Sistemas de Información Geográfica)

UNESCO RAPCA



## Componentes espaciales

- Aceleración máxima del suelo (PGA) es determinada por:
  - Distancia al hipocentro del terremoto (falla)
  - magnitud del sismo
  - Condiciones del suelo

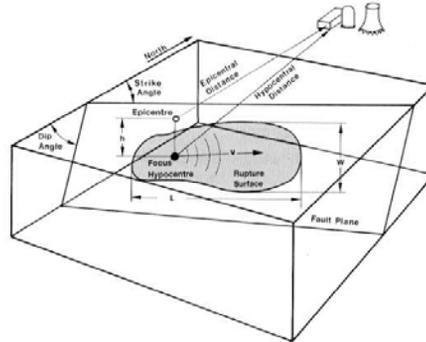


UNESCO RAPCA



## Escenario sísmico: definir sismo

- Parámetros:
  - Magnitud,
  - Epicentro,
  - Profundidad y
  - Momento en que ocurre



- Distancia al epicentro puede ser calculada con la localización del epicentro y el área de estudio

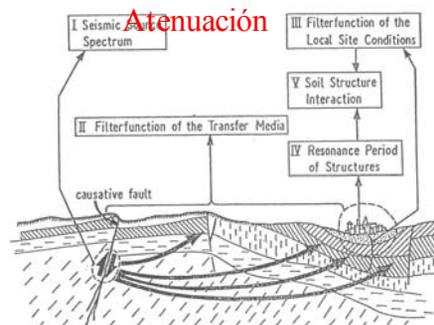
UNESCO RAPCA



## Atenuación de la vibración del suelo

### • Función de Atenuación

describe como el movimiento sísmico (aceleración y velocidad) disminuye en función de la distancia a la fuente del sismo.



- Cálculo de la atenuación de la vibración sísmica con la distancia desde la fuente es realizado utilizando funciones dadas por la metodología.
- Estas funciones definen la vibración causada por el sismo en roca basándose en la magnitud del terremoto y otros parámetros.

UNESCO RAPCA



# Curvas de Atenuación

**Table 3 --- Attenuation Equations**

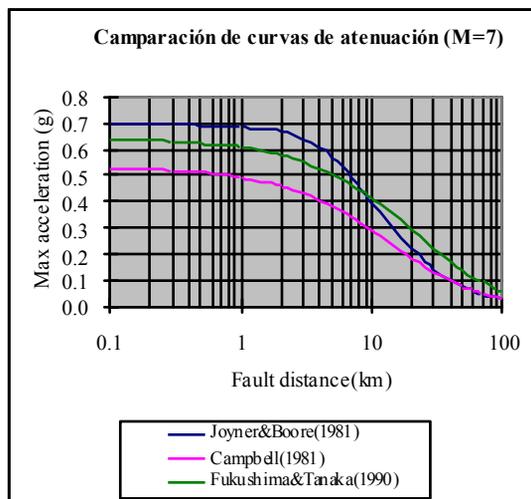
AttnID	Source	Attenuation Equation
1	Joyner & Boore - 1981	$PGA=10^{(0.249*M-\text{Log}(D)-0.00255*D-1.02)}$ , $D=(E^2+7.3^2)^{0.5}$
2	Campbell - 1981	$PGA=0.0185*EXP(1.28*M)*D^{(-1.75)}$ , $D=E+0.147*EXP(0.732*M)$
3	Fukushima & Tanaka - 1990	$PGA=(10^{(0.41*M - \text{LOG}10(R + 0.032 * 10^{(0.41*M))} - 0.0034*R + 1.30)})^{0.980}$

Note: E----Epicentral distance R----Hypocentral distance

The MMI will be calculated by the formula:  
 $\log(PGA^{*980})=0.30*MMI+0.014$   
 or  $MMI=1/0.3*(\log10(PGA^{*980})+0.014)$   
 by Trifunac & Brady (1975). PGA unit is G.

# Curvas de Atenuación

**Comparación de curvas de atenuación (M=7)**



## Amplificación suelo local

- Clasificación del suelo es una herramienta importante en la estimación de daños. Condiciones locales afectan directamente la amplificación del movimiento sísmico.
- Información detallada es requerida para la zonificación del suelo (geología, geotecnia).
- RADIUS adopta una clasificación simplificada. Los suelos son divididos en 4 clases de acuerdo con factores que controlan la amplificación del movimiento.

UNESCO RAPCA



## Tipos de suelo/Roca

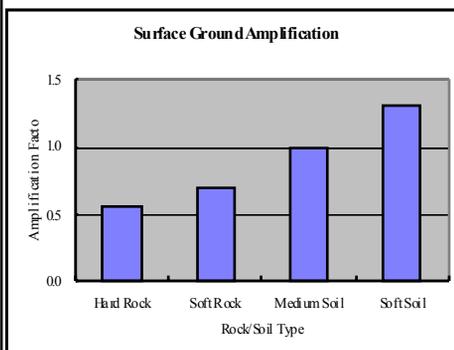


Table 1 --- Mesh Weight

Code	Description	Rate
0	NONE	0.0
1	LOW	0.5
2	AVERAGE	1.0
3	HIGH	1.5
4	VERY HIGH	3.0

Table 2 --- Soil Type

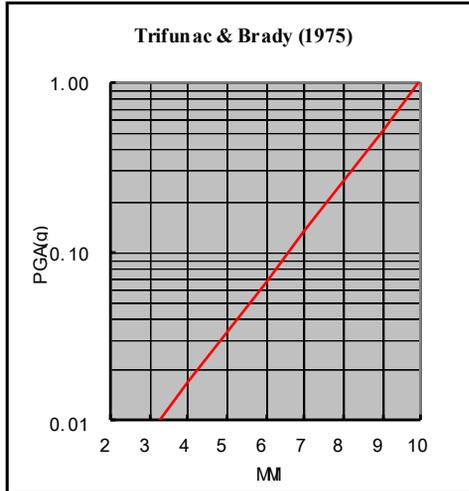
Code	Description	Amplification Factor
0	Unknown	1.00
1	Hard Rock	0.55
2	Soft Rock	0.70
3	Medium Soil	1.00
4	Soft Soil	1.30

“Basamento, roca,” “Roca blanda,” “Suelo medio,” y “Suelo blando.”

UNESCO RAPCA



# Relación PGA y MMI



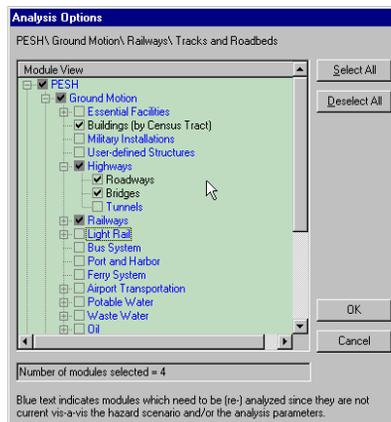
UNESCO RAPCA



# HAZUS

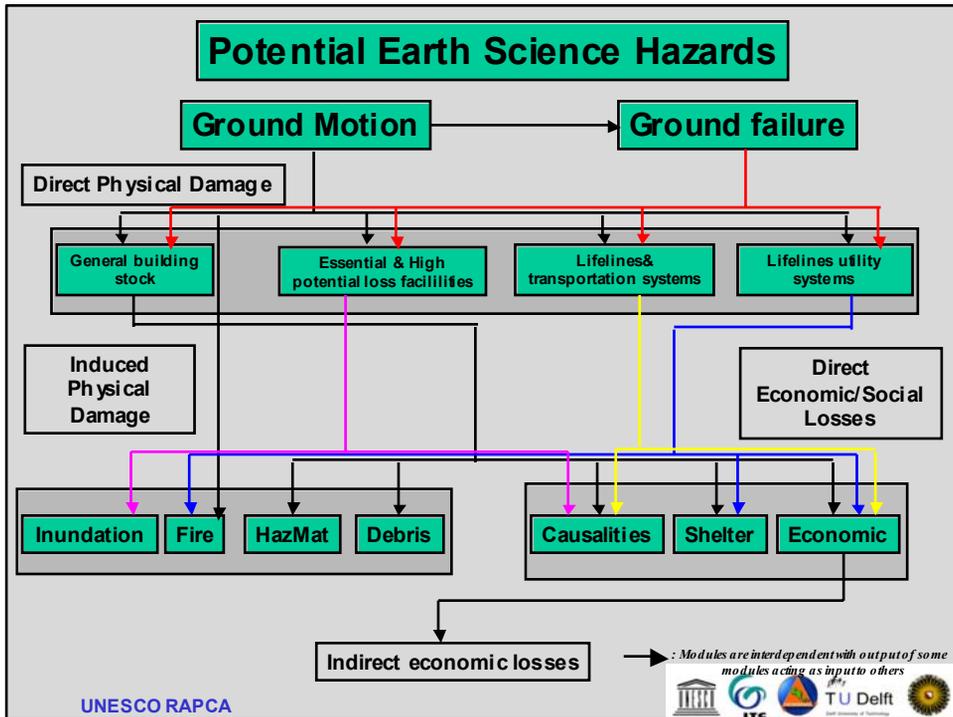
EARTHQUAKE LOSS ESTIMATION METHODOLOGY

**HAZUS<sup>®</sup> 99**  
**User's Manual**  
ArcView<sup>®</sup> Version



UNESCO RAPCA





<p><b>Maps of seismic hazards</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intensities of ground shaking for each census tract</li> <li>▪ Contour maps of intensities of ground shaking</li> <li>▪ Permanent ground displacements for each census tract*</li> <li>▪ Contour map of permanent ground displacements*</li> <li>▪ Liquefaction probability*</li> </ul> <p><b>Landsliding probability*</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Characterization of damage to general building stock</li> <li>▪ Structural and nonstructural damage probabilities by census tract, building type and occupancy class.</li> </ul> <p><b>Transportation and utility lifelines</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ For components of the 13 lifeline systems: damage probabilities, cost of repair or replacement and expected functionality for various times following earthquake</li> <li>▪ For all pipeline systems: the estimated number of leaks and breaks</li> <li>▪ For potable water and electric power systems: estimate of service outages</li> </ul> <p><b>Essential facilities</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Damage probabilities</li> <li>▪ Probability of functionality</li> <li>▪ Loss of beds in hospitals</li> </ul> <p><b>High potential loss (HPL) facilities</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Locations of dams</li> <li>▪ Locations of nuclear plants</li> <li>▪ Damage probabilities and cost of repair for of military facilities*</li> <li>▪ Locations of other identified HPLs</li> </ul>	<p><b>Fire following earthquake</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Number of ignitions by census tract</li> <li>▪ Percentage of burned area by census tract</li> </ul> <p><b>Inundated areas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exposed population and exposed dollar value of general building stock*</li> </ul> <p><b>Hazardous material sites</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Location of facilities which contain hazardous materials</li> </ul> <p><b>Debris</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Total debris generated by weight and type of material</li> </ul> <p><b>Social losses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Number of displaced households</li> <li>▪ Number of people requiring temporary shelter</li> <li>▪ Casualties in four categories of severity based on three different times of day</li> </ul> <p><b>Dollar losses associated with general building stock</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Structural and nonstructural cost of repair or replacement</li> <li>▪ Loss of contents</li> <li>▪ Business inventory loss</li> <li>▪ Relocation costs</li> <li>▪ Business income loss</li> <li>▪ Employee wage loss</li> <li>▪ Loss of rental income</li> </ul> <p><b>Indirect economic impact</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Long-term economic effects on the region based on a synthetic economy</li> <li>▪ Long-term economic effects on the region based on an IMPLAN model *</li> </ul>
--	--

UNESCO RAPCA

\* Outputs cannot be obtained using only default data.

## Distribución espacial del efecto sísmico:

- **Determinado por:**
  - **Análisis determinísticos del efecto sísmico (Metodología de calculo)**
  - **Mapas probabilísticos del efecto sísmico generados por el USGS (mapas suministrados con HAZUS)**
  - **Otros mapas probabilísticos o determinísticos del movimiento del suelo (suministrados por usuarios)**

## Formas de estimación del movimiento del suelo

- **Mapas (curvas de iso-valores)**
  - **Aceleración máxima del suelo (PGA)**
  - **Velocidad máxima del suelo (PGV)**
  - **Curvas de aceleración espectral**
- **Valores locales-específicos vibración del suelo por el efecto sísmico.**

## Datos de entrada requeridos

- Bases para determinación del escenario sísmico
  - Enfoque determinístico,
  - Mapas probabilísticos, suministrados con la metodología, o
  - Mapas suministrados por el usuario.
- Funciones de Atenuación
- Para fuentes WUS, las funciones de atenuación predicen el movimiento del suelo basado en tipo de fuente, incluyendo:
  - Fallas laterales (strike-slip faults), fallas inversas (reverse-slip faults), fallas profundas (deep faults, > 50 km) y fuentes de la zona de subducción.
- Mapa de suelos

UNESCO RAPCA



## Descripción de métodos para el cálculo de la vibración del suelo

- Principios para el cálculo de la vibración del suelo
- Forma estándar del espectro de respuesta
- Atenuación de la vibración del suelo
- Amplificación de la vibración- condiciones locales del suelo

UNESCO RAPCA



## Principios para el calculo de la vibración del suelo

- Cálculo determinístico
  - Localización de epicentro
  - Magnitud
- **1) especificar un evento a partir de una base de datos sobre fuentes sísmicas (fallas),**
- **(2) especificar un evento a partir de una base de datos sobre epicentros de sismos históricos, o**
- **(3) especificar un evento a partir de la selección arbitraria de un epicentro.**

UNESCO RAPCA



## Análisis determinístico : Base de datos fuentes sísmicas

- En el Occidente de US, preparado por USGS

$$\log_{10}(L) = a + b \cdot M$$

donde:

**L** Longitud de la ruptura (km)

**M** es la "moment magnitude" del sismo

Rupture Type	Fault Type	a	b
Surface	Strike Slip	-3.55	0.74
	Reverse	-2.86	0.63
	All	-3.22	0.69
Subsurface	Strike Slip	-2.57	0.62
	Reverse	-2.42	0.58
	All	-2.44	0.59

UNESCO RAPCA



## Método Determinístico basado en base datos sobre sismos (mapa de epicentros)

- Base de datos global (Global Hypocenter Database) disponible en el National Earthquake Information Center (NEIC, 1992),
- Sismos reportados desde 300 ac hasta 1990.
- La base de datos ha sido organizada para suprimir los sismo con magnitudes menores de 5.0.
- El usuario accede la base de datos vía HAZUS y selecciona un sismo (epicentro), incluyendo localización, profundidad y magnitud.

UNESCO RAPCA



## Mapas Probabilísticos de la amenaza sísmica

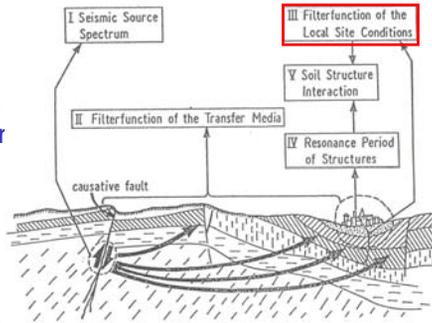
- Preparados por el USGS
- Mapas de contornos con PGA y aceleración espectral usando periodos de 0.3 y 1.0 segundo
- 8 niveles de amenaza: desde 39 % de probabilidad en 50 años, hasta 2 % probabilidad en 50 años
- Periodos de retorno: 100 - 2500 años

UNESCO RAPCA



## Amplificación del movimiento del suelo – Condiciones locales del sitio

- El cálculo de la amplificación debida a condiciones locales esta basada en la clasificación de sitios y factores de amplificación propuesto en 1997 por NEHRP
- El NEHRP define un esquema estandarizado para la clasificación de la geología local y especifica factores de amplificación para la mayoría de las clases de sitios.



UNESCO RAPCA



## Site Classes (from the 1997 NEHRP Provisions)

National  
Earthquake  
Hazards  
Reduction  
Program

**Shear Wave Velocity=**  
Shear waves travel through different types of soils at different velocities (speeds). Shear wave travel more quickly through rock and hard soils and more slowly through soft soils. The shear wave velocity can then be used as a measure of the type of soil.

Site Class	Site Class Description	Shear Wave Velocity (m/sec)	
		Minimum	Maximum
A	<b>HARD ROCK</b> Eastern United States sites only	1500	
B	<b>ROCK</b>	760	1500
C	<b>VERY DENSE SOIL AND SOFT ROCK</b> Undrained shear strength $u_c \geq 2000$ psf ( $u_c \geq 100$ kPa) or $N > 50$ blows/ft	360	760
D	<b>STIFF SOILS</b> Stiff soil with undrained shear strength $1000$ psf $\leq u_c \leq 2000$ psf ( $50$ kPa $\leq u_c \leq 100$ kPa) or $15 \leq N \leq 50$ blows/ft	180	360
E	<b>SOFT SOILS</b> Profile with more than 10 ft (3m) of soft clay defined as soil with plasticity index $PI > 20$ , moisture content $w > 40\%$ and undrained shear strength $u_c < 1000$ psf (50 kPa) ( $N < 15$ blows/ft)		180
F	<b>SOILS REQUIRING SITE SPECIFIC EVALUATIONS</b> 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading: e.g. liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils 2. Peats and/or highly organic clays (10 ft (3 m) or thicker layer) 3. Very high plasticity clays: (25 ft (8 m) or thicker layer with plasticity index $> 75$ ) 4. Very thick soft/medium stiff clays: (120 ft (36 m) or thicker layer)		

UNESCO RAPCA



## Factores de amplificación para suelos

Site Class B Spectral Acceleration	Site Class				
	A	B	C	D	E
<b>Short-Period, <math>S_{AS}</math> (g)</b>	<b>Short-Period Amplification Factor, <math>F_A</math></b>				
$\leq 0.25$	0.8	1.0	1.2	1.6	2.5
0.50	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7
0.75	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2
1.0	0.8	1.0	1.0	1.1	0.9
$\geq 1.25$	0.8	1.0	1.0	1.0	0.8*
<b>1-Second Period, <math>S_{A1}</math> (g)</b>	<b>1.0-Second Period Amplification Factor, <math>F_V</math></b>				
$\leq 0.1$	0.8	1.0	1.7	2.4	3.5
0.2	0.8	1.0	1.6	2.0	3.2
0.3	0.8	1.0	1.5	1.8	2.8
0.4	0.8	1.0	1.4	1.6	2.4
$\geq 0.5$	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0*

## Falla del terreno

Tres tipo de fallamiento son considerados :

- Licuefacción,
- Deslizamientos y
- Ruptura superficial de la falla.

Cada uno de estos tipos de fallamiento del terreno son cuantificados como deformación permanente del suelo (permanent ground deformation, PGD).