



Red Temática UPM-UPA-UCR/ICE-UMG



Amenaza y Riesgo Sísmico en América Central.

Módulo I.

Tema 3: Redes y Catálogos sísmicos.

Por

**Enrique Molina
UMG-Guatemala**

Mayo, 2012



Red Temática UPM-UPA-UCR/ICE-UMG



Red Temática en Amenaza y Riesgo Sísmico en América Central.

Módulo I.

T1: Geología.

T2: Sismología Regional.

T3: Redes y Catálogos sísmicos.

Módulo II.

T1: Redes y Registro de Movimiento Fuerte.

T2: Peligrosidad y Riesgo Sísmico.



T3: Redes y Catálogos Sísmicos



CONTENIDO.

1. Introducción. PSHA, BD/Catálogos y Redes Sismográficas.
2. Instrumentación y Redes Sísmicas.
3. Bases de Datos y Catálogos Sísmicos.



Redes y Catálogos Sísmicos



OBJETIVOS.

Generales:

Conocer sobre la importancia del catálogo en el cálculo de la peligrosidad, qué tipo de información contienen y qué condiciones debe cumplir para el PSHA, y sobre los métodos de observación & registro de la sismicidad y el cálculo de los parámetros básicos que definen un evento sísmico.

Específicos:

Mostrar el desarrollo de la sismología instrumental en América Central y las BD/Catálogos regionales que han sido utilizados a la fecha para el PSHA.



1. Introducción: Contenido



Definiciones Generales.

PSHA:

- Elementos y condiciones.
- Modelos de fuentes sísmicas.

BD/Catálogos:

- Propiedades generales.
- Representación de la Sismicidad.
- Uso para el PSHA.

Redes Sismográficas:

- Métodos de observación & registro.
- Instrumentación & Redes.
- Cálculo de los parámetros básicos.



Introducción: Redes y Catálogos Sísmicos



Definiciones generales:

Red sismográfica: es uno de los métodos de observación y registro para estudiar la sismicidad de una región.

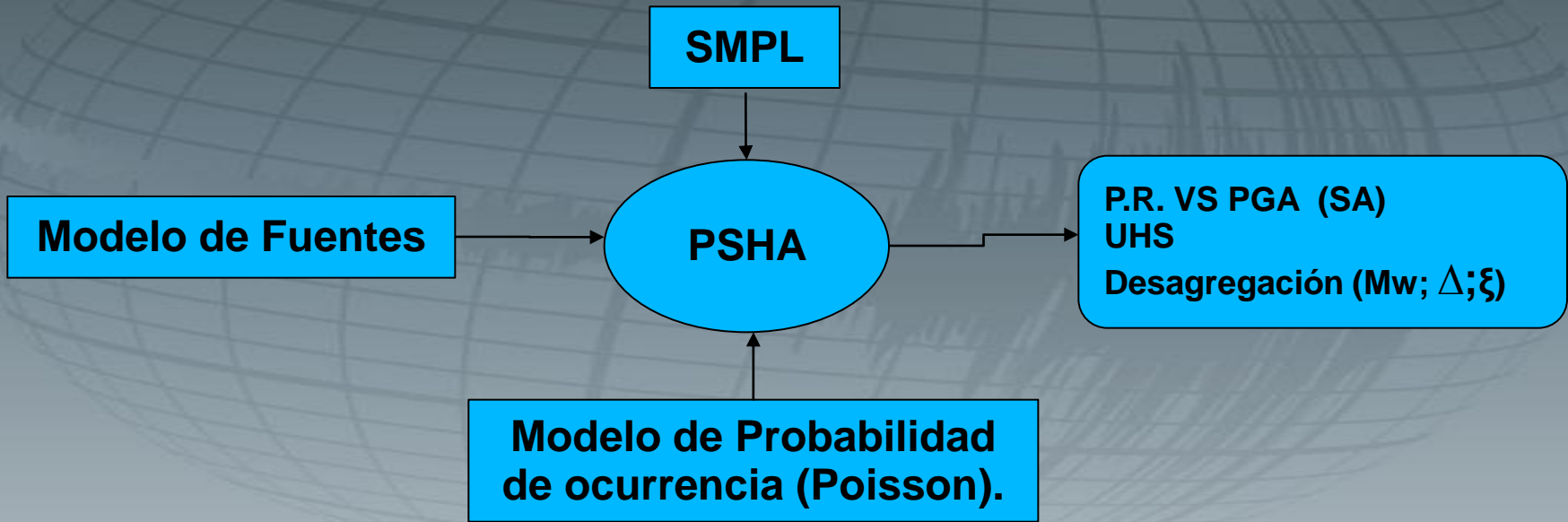
Bases de Datos (BD) / Catálogos: representación paramétrica de la sismicidad de una región ocurrida durante un determinado período de tiempo.

PSHA: método probabilista para estimar el peligro producido por la propagación de las ondas sísmicas.

Relación entre los temas:



Introducción: Elementos y condiciones para el PSHA



SMPL= leyes de predicción del movimiento fuerte.

Modelo de probabilidad de ocurrencia= Poisson, supone que **la sismicidad es aleatoria en tiempo-espacio**, e.d. estacionaria en tiempo y uniformemente distribuida en el espacio.

Modelo de fuentes= Geometría y actividad.



Introducción: Modelos de fuentes para el PSHA



Factores que intervienen en el cálculo de la peligrosidad.

De la integral de peligrosidad, la contribución de un elemento de área (ΔA) a distancia $r \pm \Delta r$ del sitio, por eventos de magnitud $m \pm \Delta m$ y factor de dispersión de la SMPL $\xi \pm \Delta \xi$, que hacen $y > Y$ (aceleración de referencia), es:

$$v * [PDF(m) * \Delta m] * [PDF(r) * \Delta r] * [PDF(\xi) * \Delta \xi]$$

donde:

v = frecuencia anual de eventos con $M > M_0$ de la fuente.

PDF = función de densidad de probabilidad.

$PDF(m) * \Delta m$ = fracción de eventos con $m \pm \Delta m$.

$PDF(r) * \Delta r$ = fracción de eventos a la distancia sitio-fuente $r \pm \Delta r$.

$PDF(\xi) * \Delta \xi$ = fracción de eventos que cumplen con $y | m, r > Y$ en el rango de dispersión $\xi \pm \Delta \xi$



Introducción: Modelos de fuentes para el PSHA



Los factores que definen la actividad de la fuente son:

$$v = N(M_o) / \text{año.}$$

$$\text{PDF}(m) = d/dm \text{ CDF}(m),$$

$$\text{donde } \text{CDF}(m) = N(M_o) - N(m) / N(M_o) - N(M_{\text{max}}),$$

Por lo tanto v y $\text{PDF}(m)$ se obtienen de la relación de recurrencia, truncada en M_o y M_{max} , a partir de los datos del catálogo.

M_o = magnitud mínima considerada para la peligrosidad.

M_{max} = magnitud máxima observada (catálogo) de la fuente.

Relación de Recurrencia (M_o, M_{max}) \rightarrow Actividad ($v, \text{PDF}(m)$).



Geometría de la fuente.

Define el **área o superficie** en la cual se distribuye uniformemente (condición de Poisson) la sismicidad de la fuente. Se representa con las coordenadas de los vértices (3-D) que delimitan el polígono.

Tipos de geometrías:

- Fallas. Cuando el polígono sigue la geometría de una estructura geológica.
- Areas / zonas. Cuando incluye la sismicidad de varias fallas o para considerar la sismicidad de fondo.

La geometría de la fuente interviene en el cálculo de la PDF(r) y en la estimación de la aceleración, SMPL (m, r, ξ).



Introducción: Modelos de fuentes para el PSHA



En general la $PDF(r)$ es una función no analítica que se construye a partir de la geometría de la fuente y la geometría sitio-fuente.

Por definición $PDF(r)$ es la probabilidad (o fracción de eventos) por unidad de longitud, en la distancia sitio-fuente. Es decir,

$$PDF(r) = \Delta A (r) / A$$

Donde, $\Delta A (r)$ es el elemento de área a distancia $r \pm \Delta r$ del sitio y A es el área total de la fuente.

Entonces,

Geometría de la fuente + geometría sitio-fuente \rightarrow $PDF(r)$.



Introducción: Modelos de fuentes para el PSHA. Resumen.



**Modelo de fuentes
para el PSHA**

Actividad

v

PDF(m)

**Geometría fuente + geometría sitio-fuente → PDF(r)
(polígono)**



Introducción: BD / Catálogos



Propiedades generales:

Obs. y Registro → **Parám. básicos** → BD/Catálogos → **sismicidad**

Métodos de Observación & Registro:

instrumental, macrosísmico y paleosísmico

Parámetros básicos:

- localización en tiempo-espacio (To, X,Y,Z).
- Magnitud (energía liberada).
- Mecanismo Focal (tipo de falla-dirección del campo de esfuerzos).

Las BD / Catálogos son una representación incompleta del fenómeno, especialmente por las limitaciones de la observación en tiempo-espacio.

Sismicidad Ocurrida > Sismicidad Registrada > **Sismicidad reportada** = BD/ Cat.

Las BD/Catálogos son una muestra representativa del fenómeno?



Introducción: BD / Catálogos.



Las BD/Catálogos son heterogéneos por:

- **Condiciones intrínsecas** a cualquier método observacional. (errores involuntarios, incertezas en los parámetros y sesgos por cambios en métodos y procedimientos).
- **Combinación de métodos** de observación y registro con distinta calidad o precisión en la estimación de los parámetros básicos.
- **limitaciones en tiempo y espacio** en la observación y registro.

Resumen.

Las BD/Catálogos son incompletos y heterogéneos.



Introducción: BD / Catálogos.



BD / Catálogos → Sismicidad

Representación de la Sismicidad

Distribuciones

Información.

Espacio-temporal de epicentros e hipocentros

Zonas sísmicas activas y rango en profundidad. Identificar series sísmicas por la concentración de eventos en espacio-tiempo.

Espacial de mecanismos focales

Distribución del régimen de esfuerzos.

No. eventos VS Tiempo.

Sismicidad de fondo e incrementos por series sísmicas.

Magnitud VS Tiempo.

Cambios en el umbral de detección o magnitud mínima.

Relación de recurrencia:

No. eventos ($m > M_w$) VS M_w .

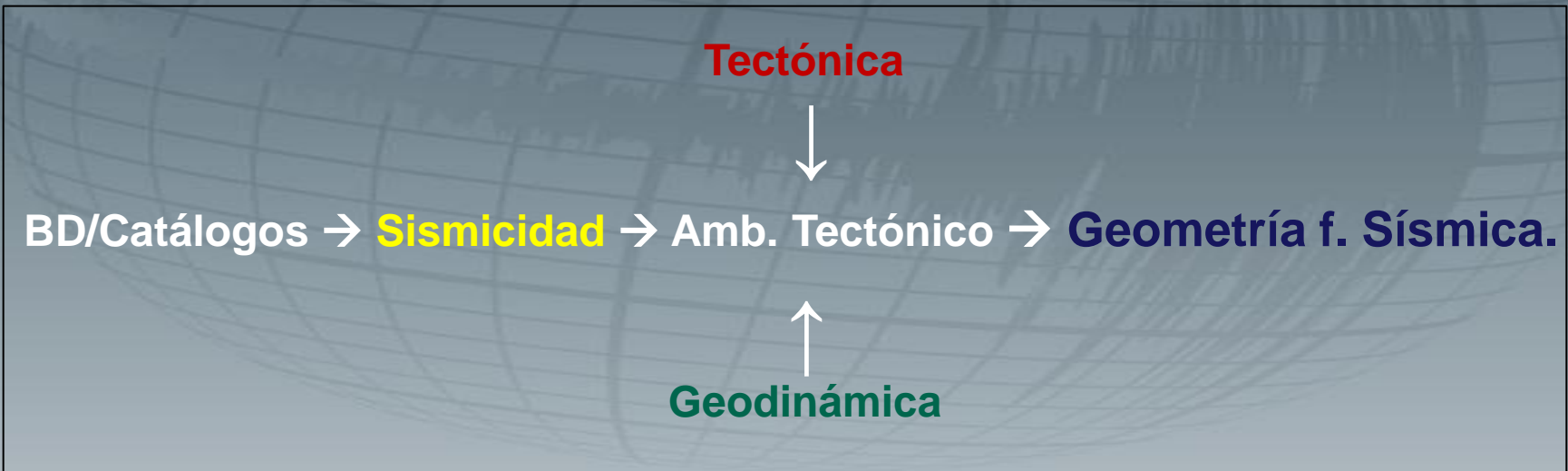
Distribución de eventos por rango de magnitud.



Introducción: BD / Catálogos para PSHA.



Geometría de la fuente:



Geometría f. sísmica : falla (L,W, rumbo, buz.) → Superficie, Area (L,W) polígono (Xi,Yi,Zi)



Introducción: BD / Catálogos para PSHA.



Actividad de la fuente:

CATALOGO DEL PROYECTO: Requisitos para el PSHA

Base de Datos, BD.

Incluyen toda la información obtenida del método de observación, resultados, datos y parámetros de control. En el caso de datos instrumentales son: sismogramas, estaciones (localización y calibración), modelo de velocidad, tiempos de arribo, amplitud máxima, M_0 , parámetros básicos y su calidad. Las BD son producidas por los servicios sismológicos nacionales / internacionales, las soluciones son preliminares.

Catálogo.

Parámetros básicos obtenidos de BD / Catálogos con algún criterio de selección. Por ejemplo, tiempo, área, calidad de los parámetros básicos, etc. y/o las soluciones han sido revisadas, epicentro, profundidad y magnitud. Por lo general los catálogos son hechos en estudios específicos.

Pasos para confeccionar el catálogo del proyecto

BD / Catálogos	Catálogo de trabajo	Catálogo del proyecto
<p>Area de influencia. Profundidad máxima. Parámetros completos. Sólo eventos tectónicos. Una localización por eventos.</p>		<p>Homogéneo. Depurado (Poisson). Con análisis de completitud.</p>



Introducción: BD / Catálogos para PSHA.



Actividad de la fuente:

CATALOGO DEL PROYECTO: Requisitos para el PSHA

BD / Catálogos > Catálogo de Trabajo > Catálogo del proyecto

Homogenio	Depurado	Compleitud
<p>Parámetros con la misma unidad de medida. La magnitud es el más crítico para el PSHA.</p>	<p>Poisson supone que la sismicidad es aleatoria en tiempo-espacio. Esto implica que hay que remover del catálogo los eventos asociados a series sísmicas (precursores, réplicas y enjambres). En cada caso se deja únicamente el evento principal o el de mayor magnitud.</p>	<p>Se refiere a la magnitud mínima a partir de la cual todos los eventos ocurridos fueron localizados. Esta depende del método de observación, por lo tanto varía con el tiempo.</p>

La homogeneidad y completitud de un catálogo varían con el tiempo.

El catálogo del proyecto cumple con las condiciones del modelo de ocurrencia de Poisson?



Introducción: BD / Catálogos para PSHA.



Actividad de la fuente:

Catálogo del Proyecto + geometría → sismicidad / fuente

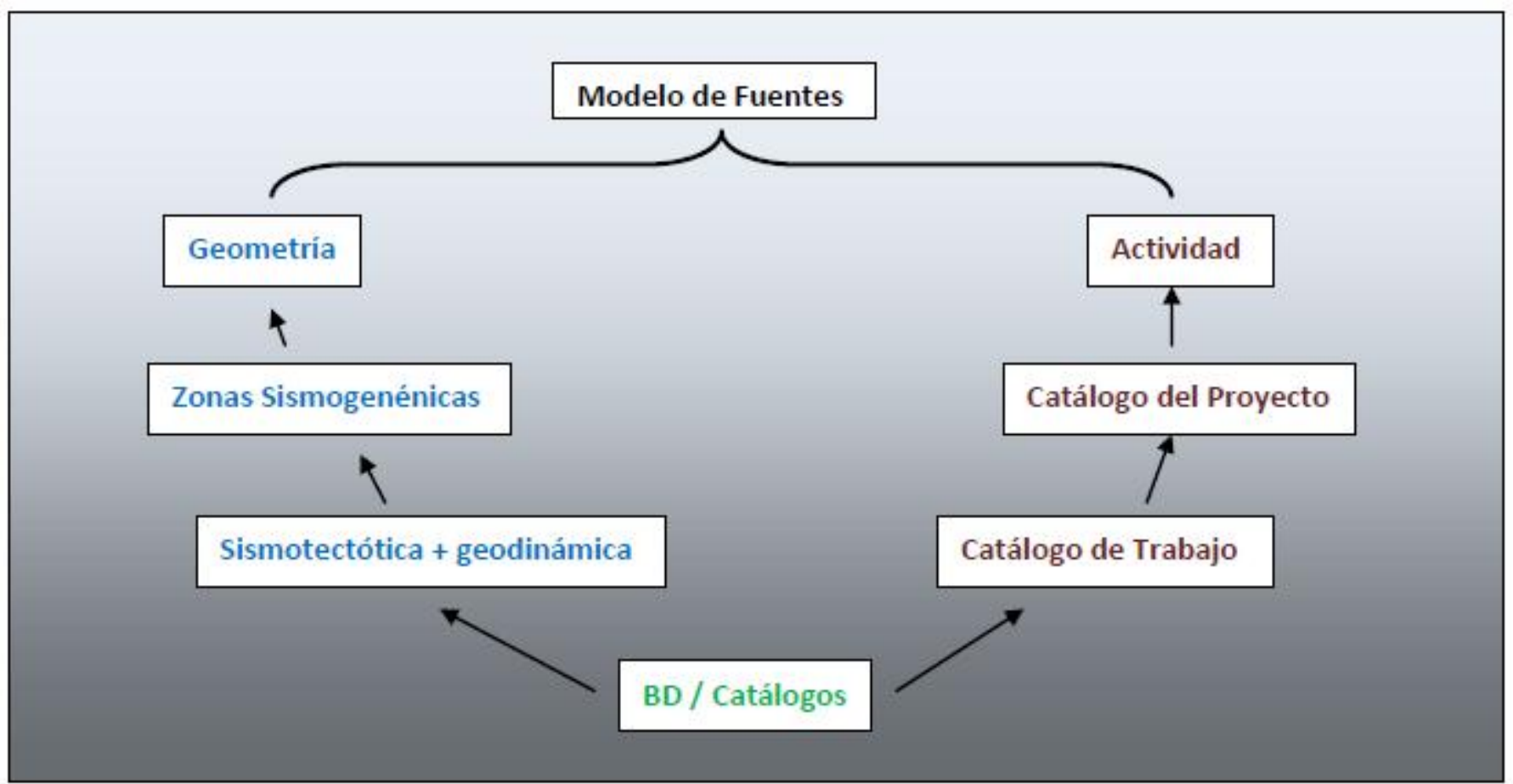
Relación de Recurrencia
 M_0, M_{max} .
 $T_{\hat{a}}$ = período de observación

$N(m)$
 $M_0 \leq m \leq M_{max}$.

$$\left. \begin{aligned} N(m) / T_{\hat{a}} &= v \\ \frac{N(M_0) - N(m)}{N(M_0) - N(M_{max})} &= CDF(m) \end{aligned} \right\}$$



Introducción: BD / Catálogos para el PSHA Resumen

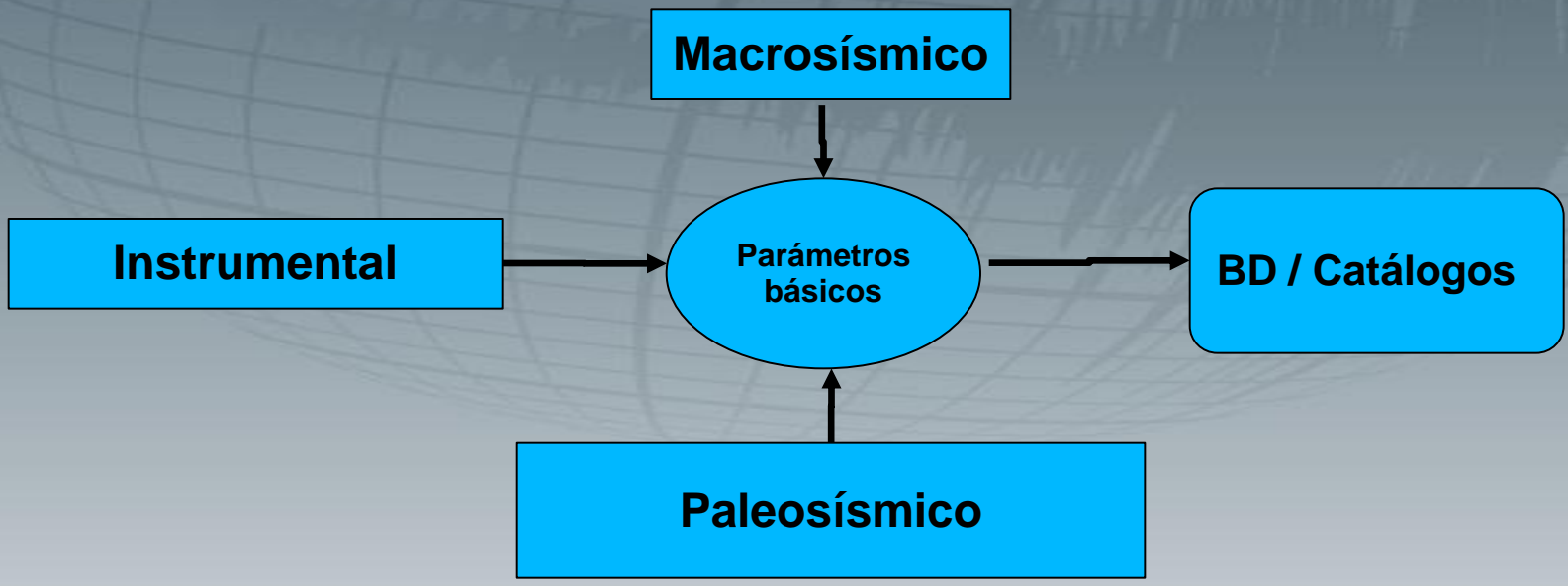




Introducción: Redes Sismográficas.



Métodos de Observación y Registro.



Método instrumental = redes sismográficas.



Introducción: Redes Sismográficas.

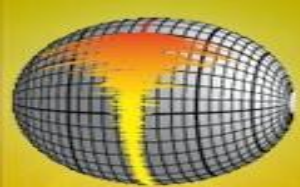


METODOS DE OBSERVACION

10 K a	AC	AD	1500	1900	
Prehistórico / Paleosísmico					
900 AC	Período Prehispánico ?		Histórico / Macrosísmico (América)		
<p>Período pre-instrumental.</p> <p>Importante para determinar la magnitud máxima y su recurrencia</p>				Instrumental	1964
				El traslape para calibrar los datos del período pre-instrumental	

PERIODO INSTRUMENTAL

1900	1964	1970	1980	2000
Sismógrafos mecánicos. Estaciones autónomas. Pobre calibración y tiempo de referencia.	WWSSN Sismógrafos electromagnético. Calibración y tiempo estándar.	Redes locales. Computadoras.	Sensores FB/BB. Registro digital.	Redes virtuales. Estaciones BB + GPS
	Sensores de banda limitada, SP y LP			
	Tiempo GPS / registro digital			



Introducción: Redes Sismográficas.

METODOS DE OBSERVACION & ESTIMACION DE LOS PARAMETROS BASICOS

METODO		TIPO DE OBSERVACION / DATOS	PARAMETROS BASICOS
PALEOSISMOLOGIA		Evidencia geológica: Geomorfología. Depósitos (coluvión / tsunami). Estratos desfasados. Geocronología: Relativa Absoluta (C14, luminiscencia, rayos cósmicos)	Falla conocida (A) "registro" de uno o varios eventos. Desplazamiento (\bar{d}) $M_o = \mu A \bar{d}$ y.b.p (años respecto al presente)
MACROSISMICO		Reportes escritos de daños y efectos en varios lugares. Estimación de IMM en cada lugar. Distribución espacial de las IMM. Curvas de isointensidad. Area de IMM máxima.	Año / mes / día IMM máxima \propto Magnitud* Area de IMM \propto Magnitud* Falla / fuente. Profundidad: Superficial / profunda. Epicentro (zona IMM máxima) *relaciones empíricas del período instrumental.
INSTRUMENTAL	1900-1963	Información macrosísmica. Sismogramas en varias estaciones (>3): Tiempos de arribo. Fases de profundidad Amplitud máxima ondas int. y/o sup.	Zona epicentral. \sim To, X, Y Z (superficial, intermedio, profundo, con fases de prof. en Km) Magnitud de amplitud (NO estándar), no reportada de rutina.
	1964-2012	Sismogramas en varias estaciones: Tiempos de arribo. Amplitud máxima ondas int. y/o sup. Duración coda-P. Espectro de la fuente (M_o). Polaridad ondas P/S; formas de onda. Datos GPS	To, X, Y, Z Magnitud de amplitud (ML, mb, Ms). Magnitud de coda-P (Md). Magnitud de momento (Mw). Mecanismo focal. Tensor de momento. Función de la fuente. Proceso de ruptura. Deformación Transferencia de esfuerzos





Introducción: Redes Sismográficas.



Homogeneidad de los parámetros básicos

Parámetro	Paleosísmico	Macrosísmico	Instrumental
Tiempo origen	100-10000 y.b.p.	a /m/ d	a/m/d/h/m/s
Epicentro	-----	Lat. – Lon., zona epicentral	Lat. ± Δ lat. – Lon. ± Δ lat
Profundidad	Estimada de la falla estudiada	Estimada de la falla asociada y distribución de las isosistas.	Calculada de tiempos de arribo (fases de profundidad) Km ± Δ km
Magnitud	$M_o = \mu A \bar{d}$	M (IMM _{max} o Area de IMM) Relación empírica	Amplitud (Ms, mb, ML). Duración (Mc / Md). Momento sísmico, Mw.

1900-1963: localización macrosísmica-instrumental, magnitud no estandarizada.
 1964: Manual Práctico del Observatorio Sismológico (ahora NMSOP de IASPEI-IUGG).



Introducción: Redes Sismográficas.



Cálculo de los parámetros básicos: coordenadas del hipocentro (T_0 , X, Y, Z).

Problema de inversión no-lineal de la función multivariable de residuos, $\sum r^2$,
donde $r = t - T - T_0$ (algoritmo de Geiger),

t = tiempo de arribo onda sísmica (observado),

$T(X, Y, Z)$ = tiempo de recorrido hipocentro-estación (calculado) y

T_0 = tiempo origen (calculado).

Se buscan los parámetros del modelo (hipocentro) que corresponden a un mínimo de la función.

Información para localizar un sismo:

- tiempos de arribo de las fases (sismogramas).
- coordenadas de las estaciones.
- modelo de velocidad, $V(h)$, para cada tipo de onda.
- corrección en tiempo por estación (altura, condiciones locales, etc.).
- tiempo de registro único.
- parámetros iniciales del hipocentro.



Introducción: Redes Sismográficas.



Cálculo de los parámetros básicos: magnitud.

Tipos de Magnitud	Rango de confiabilidad.
<p>Amplitud máxima mm / μm (Richter, 1935; Gutenberg & Richter, 1956).</p> <p>ML (T = 0.8 s.; W-A).</p> <p>mb (T = 0.1 - 3.0 s.)</p> <p>Ms (T = 18 - 22 s.)</p>	<p>3 - 6</p> <p>4 - 7</p> <p>5 - 8</p>
<p>Duración en segundos de la coda-P (Eaton, 1972).</p> <p>Md / Mc \approx ML</p>	<p>< 4</p>
<p>Momento, Mo (Hanks & Kanamori, 1979)</p>	<p>> 3.5</p>

Para calcular la magnitud por amplitud y Mo es necesaria la curva de respuesta de la estación (calibración). Las magnitudes por amplitud están limitadas por el período de medición (saturan), de ahí el rango de validez.



Introducción: Redes Sismográficas.



Parámetros en BD / Catálogos instrumentales.

Coordenadas temporal y espacial del hipocentro ($T_0 \pm \Delta T$; $X \pm \Delta X$; $Y \pm \Delta Y$; $Z \pm \Delta Z$).

Magnitud y tipo (M_d , M_L , m_b , M_s , M_w).

No. de estaciones y fases utilizadas en el cálculo.

Distancia epicentral a la estación más cercana (control en la profundidad)

Cobertura azimutal (GAP): ángulo mayor, medido respecto al epicentro, entre 2-estaciones.

Calidad de la solución, $RMS = \text{SQRT}(\sum (T_{\text{cal.}} - T_{\text{obs.}})^2 / n - 1)$.

Tiempos de arribo y Residuales ($T_{\text{cal.}} - T_{\text{obs.}}$) por estación y fase.

Tipo de evento (explosión, volcánico, tectónico (D, R, L)).

Mecanismo Focal ($s, d, r \pm$ incertidumbres respectivas)

En la aplicación al PSHA los catálogos solo incluyen las primeras dos líneas.



Introducción: Redes Sismográficas.



Instrumentación & Redes sismográficas.

Red sismográfica: conjunto de estaciones con tiempo único de registro.

Período instrumental.	1900	1964	1985
Sensores.	Pasivos.		Activos.
	Mecánicos.	Electromagnéticos.	FB / BB
Calibración.	No-estándar.	Estándar.	
Tiempo, UTC.	Señal de radio SW		GPS
Registro.	Analógico (papel, película fotográfica) / continuo.		Digital, disparo / continuo
Telemetría.	Radio / modem		TCP/IP
Redes.	Clásica: registro en la estación Central.		Virtual