

Introducción a la Geología de Terremotos

- Geología de Terremotos, Tectónica activa y Neotectónica.
- Fallas activas
- Estructura y Segmentación de las fallas.



Dpto. Geodinámica UCM

José J. Martínez Díaz

Grupo UCM-CAM de Tectónica Activa y Paleosismicidad
www.ucm.es/info/tectact/index.html



UCM-910368

Tectónica Activa y Paleosismicidad

Departamento de Geodinámica
Universidad Complutense de Madrid

Inicio

Miembros

Proyectos

Publicaciones

Descargas

Otros

Español - English

Miembros



Pase el puntero sobre las fotos para obtener información de los miembros.



Colaboradores habituales



Centros de investigación implicados



http://www.ucm.es/info/tectact/index_esp.html

En marcha...

Proyecto AECID; Desarrollo de estudios geológicos y sismológicos en El Salvador dirigidos a la mitigación del riesgo sísmico.

Control litológico-geotécnico y estructural en la generación de los grandes movimientos cosísmicos de ladera. CCG08-UCM/AMB-4081

AECID:- Estudio de las deformaciones tectónicas actuales en el sistema de fallas del Valle Central de Costa Rica mediante datos GPS y técnicas paleosísmicas A/018367/08

PROSEIS: Diseño de un protocolo de estudio geológico y sismotectónico de emergencia de terremotos de interés científico y social en España (CGL2007-30489-E/BTE)

TRANSFER - Tsunami Risk And Strategies For European Region (6.3.IV.2.2/037058) - [Sixth Framework Programme, European Comission]



Últimas publicaciones

A. Gonzalez-Diez, J. Soto, J. Gomez-Arozamena, J. Bonachea, **J.J. Martínez-Díaz**, J.A. Cuesta, I. Olague, J. Remondo, G. Fernandez Maroto, J.R. Díaz de Terán (2009). Identification of latent faults using a radon test. *Geomorphology*, 110: 11-19.

Presentación

El grupo de investigación está formado por geólogos y físicos procedentes de cuatro universidades españolas y tres centros de investigación, dos de carácter nacional y otro de carácter internacional. Este grupo lleva varios años realizando investigaciones conjuntas que en el marco universitario se han visto reflejadas en la presentación desde el año 1999 de cinco Tesis Doctorales inscritas en las líneas de investigación del grupo y dirigidas y/o realizadas por miembros el grupo.

El núcleo del grupo se encuentra en la Universidad Complutense de Madrid, viene investigando desde hace más de 20 años en una serie de temas de investigación multidisciplinarios que pueden integrarse en dos líneas fundamentales.

Actividad tectónica y reología de la corteza.

- Condicionamiento y control que ejerce la herencia estructural de la corteza sobre la actividad tectónica reciente y actual.
- Estructura térmica y mecánica de cuerpos planetarios.
- Geofísica aplicada al estudio de la estructura y reología de la corteza.
- Modelado numérico de deformaciones y estado de esfuerzos de la litosfera.
- Estudios de procesos de falla y mecánica de la fracturación y la formación ductil.

Geología de terremotos.

- Análisis neotectónicos y morfotectónicos.
- Estudios de sismicidad mediante técnicas modernas.
- Relaciones tectónica - sismicidad y estudio de series sísmicas.
- Geotecnia de deslizamientos inducidos por la sismicidad.
- Interferometría de RADAR aplicada a deformaciones debidas a actividad sísmica y/o volcánica.
- Transferencia de esfuerzos estáticos y su influencia en la sismicidad y desarrollo de estructuras tectónicas.



Geología de Terremotos

- Geología de Terremotos, Tectónica Activa y Neotectónica
- Clasificación de las fallas según su actividad
 - Conceptos de falla activa y falla capaz
 - Fallas sísmicas y asísmicas
- Estructura y Segmentación de las fallas
- Recurrencia

- Paleosismología
- Métodos de datación



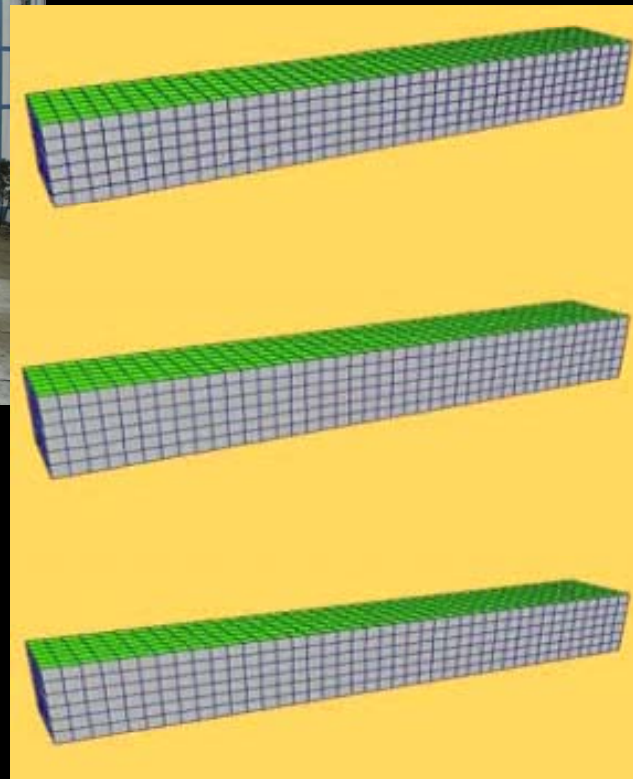


¿Qué es un terremoto?

Terremoto



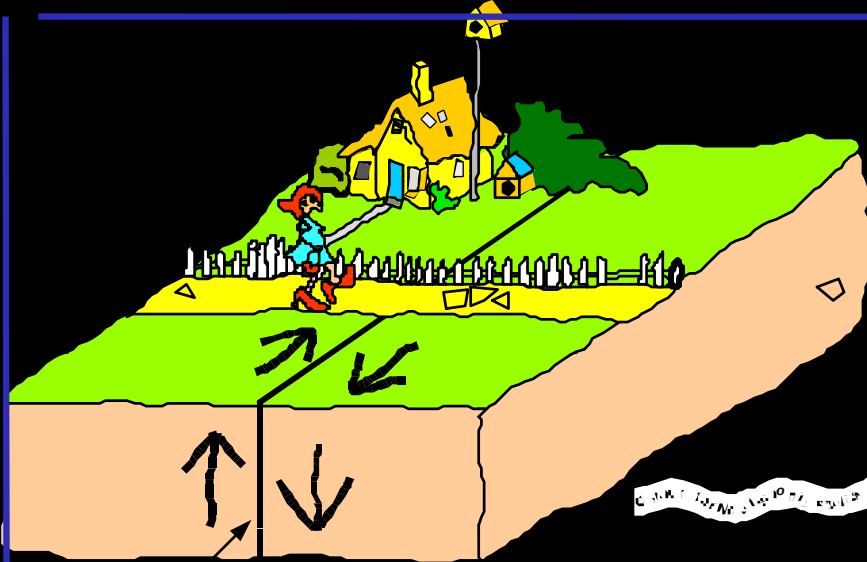
Ondas elásticas



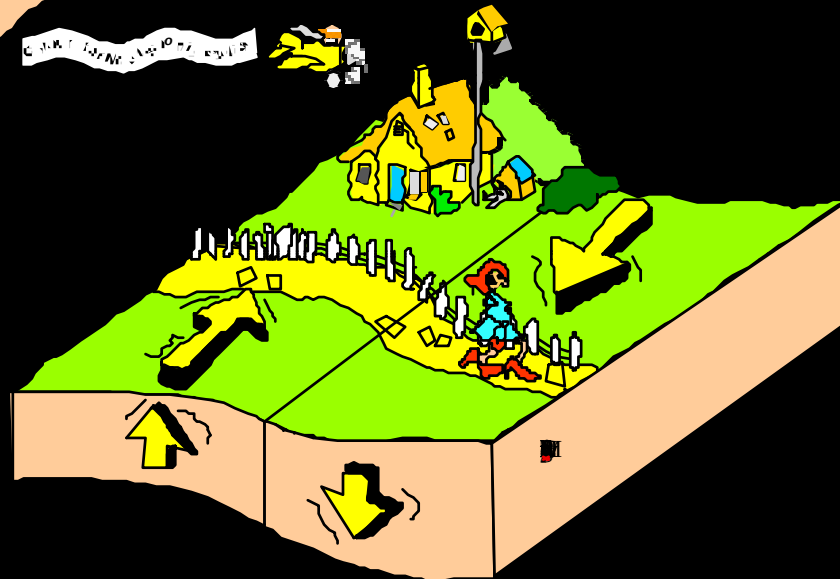
Efectos



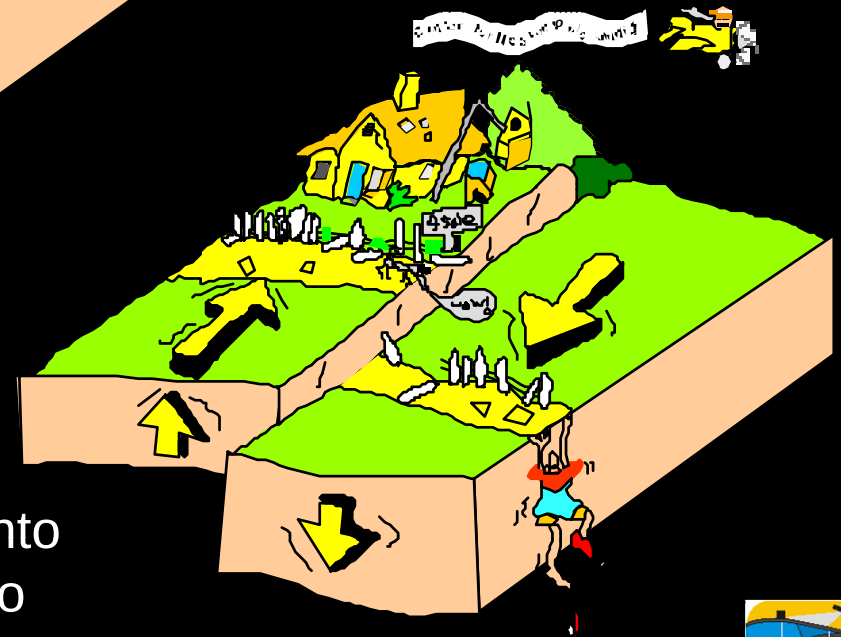
¿QUÉ ES UN TERREMOTO?



Estado inicial



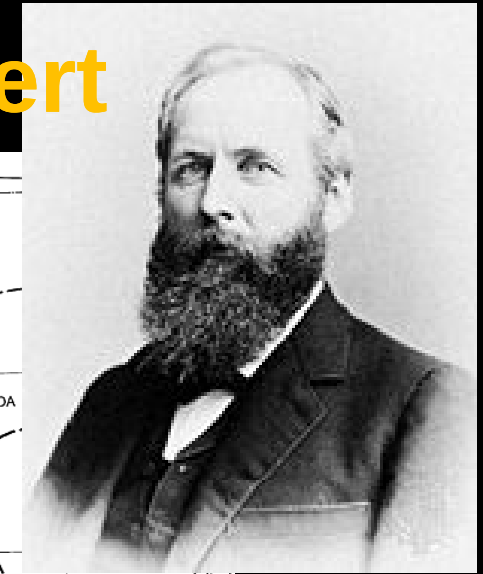
Acumulación de deformación



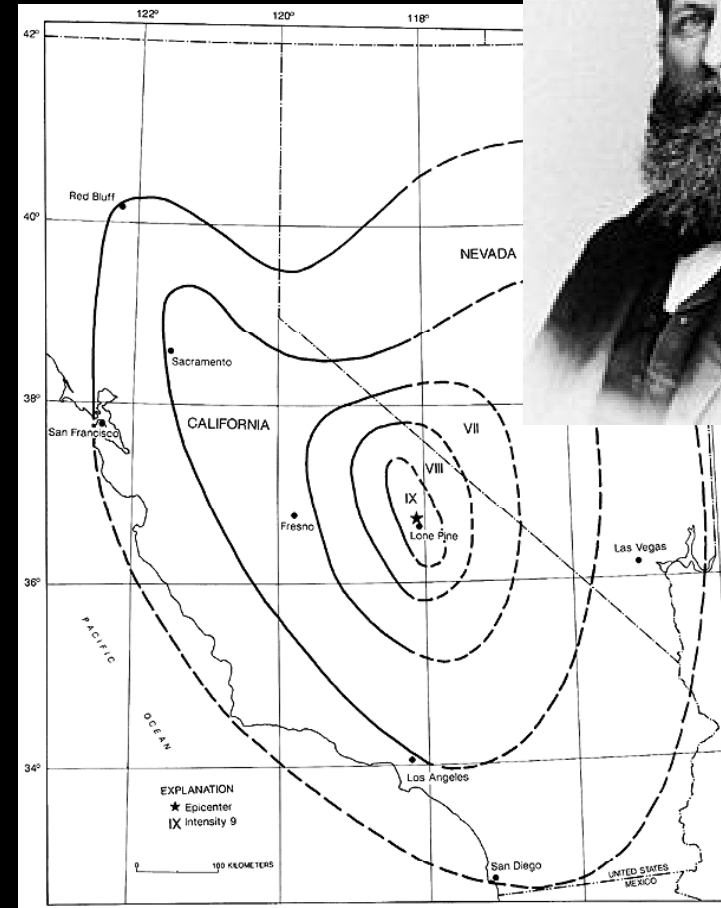
Movimiento
cosísmico



Grove K. Gilbert



Owens Valley de 1872.



Gilbert, G.K., 1884, *A theory of the earthquakes of the Great Basin*: American Journal of Science, v. 27, p. 49-53

De: Seismicity of the United States, 1568-1989 (Revised), by Carl W. Stover and Jerry L. Coffman, U.S. Geological Survey Prof. Pap. 1527, Washington: 1993.

Geología de Terremotos

La **ciencia del estudio de los terremotos** (sismología, sismotectónica, geología estructural, geomorfología, etc.) es una disciplina muy joven. Algunos **hitos** históricos que han marcado su desarrollo:

1884 G. K. Gilbert publica observaciones en relación con las fracturas generadas por el terremoto de Owens Valley de 1872.

1910 H. F. Reid publica el modelo del rebote elástico para explicar las observaciones del terremoto de San Francisco de 1906.

1935 C. F. Richter cuantifica el tamaño de los terremotos mediante la creación de una escala de magnitud.

1954 B. Gutenberg y Richter relacionan la frecuencia de los terremotos con su tamaño mediante una ley potencial

1965 J. T. Wilson formula las bases de la Tectónica de Placas

1966 K. Aki publica las primeras medidas de momento sísmico para el terremoto de 1964 en Niigata (Japón)



Conceptos relacionados con la Geología de Terremotos

Concepto de Tectónica Activa

Wallace (1986): “estudio de los movimientos tectónicos que son esperados que ocurran en un periodo de tiempo **que afecte a la sociedad**”



Conceptos relacionados con la Geología de Terremotos

Concepto de Neotectónica

Ha variado en función de si consideramos:

Parámetro Tiempo dominante

Parámetros Espacio y Tiempo combinados



Concepto de Neotectónica

Parámetro Tiempo dominante

- **Ovruchev (1948)**: “Estudio de los movimientos tectónicos recientes producidos a finales del Terciario y primera mitad del Cuaternario”
- **P. L. Hancock (1988)**: “estudio de los movimientos de edad terciaria superior que se producen en la Tierra, especialmente aquellos en armonía con los movimientos corticales verticales y horizontales contemporáneos”
- **Slemmons (1991)**: “eventos y procesos tectónicos producidos en tiempos post-miocenos”



Concepto de Neotectónica

Parametros Espacio y Tiempo combinados

- **Morner (1990)** “La fase neotectónica comienza en diferentes momentos en función del régimen tectónico”.
- **Müir-Wood (1992)**: Concepto de “Régimen Tectónico Vigente o *Current tectonic Regime*”

Neotectónica

“Estudio de estructuras y procesos tectónicos generados o reactivados dentro del régimen tectónico vigente en la zona considerada”.



Conceptos relacionados con la Geología de Terremotos

Concepto de Paleosismología

- Solonenko, 1973; Sieh, 1978; Wallace, 1981, Mcalpin 1996:
Estudio de terremotos prehistóricos, especialmente su localización, tamaño y edad

Ciencia que estudia los terremotos preservados en el registro geológico con el fin de **caracterizar** el comportamiento prehistórico de las fallas sísmicamente activas



Geofísica Regional

+

Geología Estructural

+

Neotectónica Regional

+

Cartografía Geológica

+

Geología del Cuaternario

+

Geomorfología Tectónica

+

Geocronología, incluyendo:

-Isótopos cosmogénicos

-luminescencia

-fission-track

-U-series

+

Datación Relativa, incluyendo:

-paleosuelos & geomorfología

-alteración de rocas y minerales

=

Geología de Terremotos

GEOLOGÍA DE TERREMOTOS

Modificado de Berryman (2001)



B.

Geología de Terremotos

+

Estratigrafía y Dataciones de detalle

=

paleosismología



C.

Geología de Terremotos

+

paleosismología

+

sismicidad histórica

+

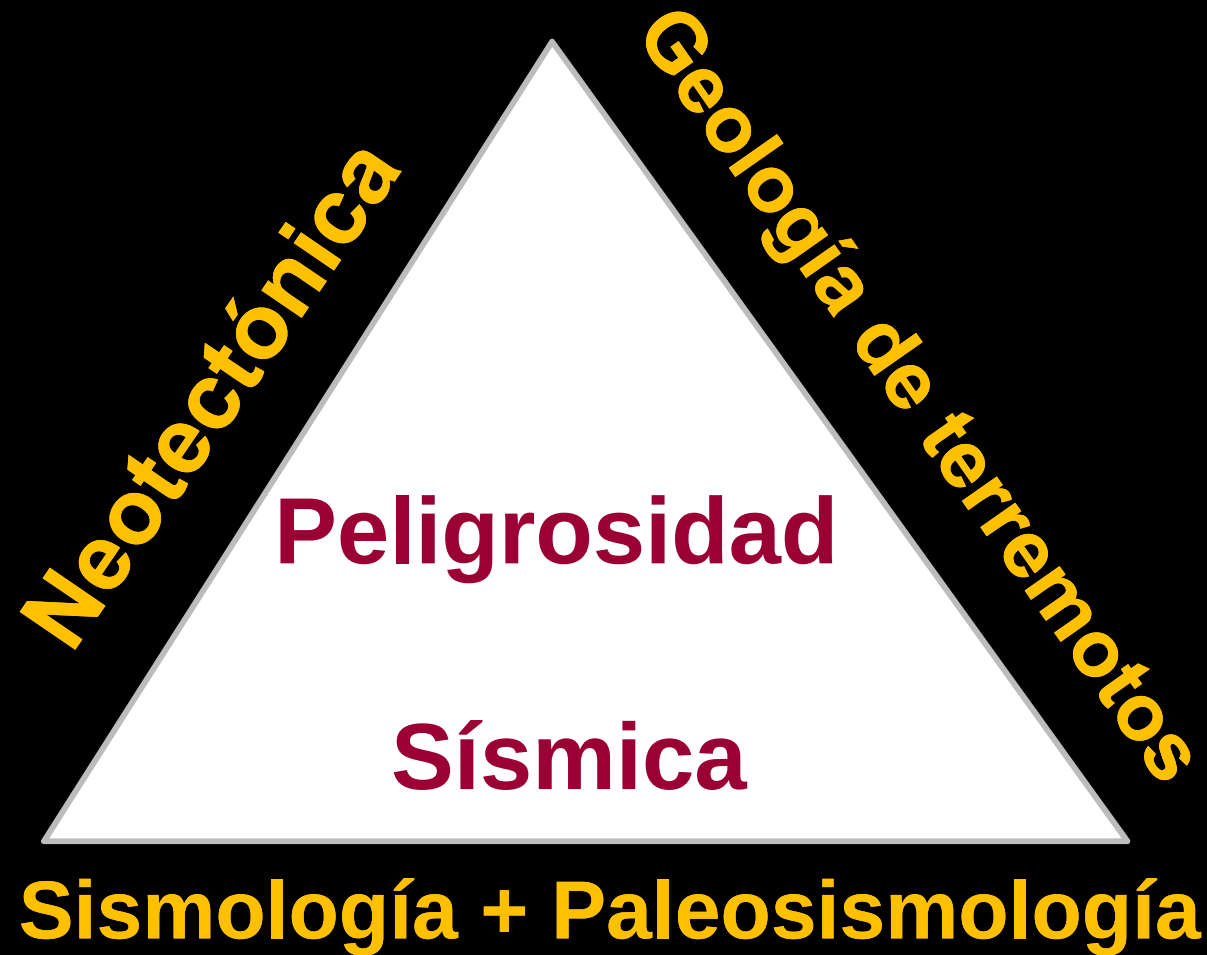
atenuación movimiento suelo

=

peligrosidad sísmica



El objetivo final de los estudios de **Neotectónica**, **Geología de terremotos** y **Paleosismología** es la obtención de datos necesarios para la determinación correcta de la Peligrosidad sísmica de una zona o emplazamiento



Geología de Terremotos

- Geología de Terremotos, Tectónica Activa y Neotectónica.**
- Clasificación de las **fallas** según su actividad.
 - Conceptos de falla activa y falla capaz.
 - Fallas sísmicas y asísmicas
- Estructura y Segmentación de las fallas.**
- Recurrencia**



TIPOS DE FALLAS SEGÚN SU GRADO DE ACTIVIDAD

-1. Clasificación de carácter CIENTÍFICO

-**Falla Activa:** “fallas que se han movido dentro del RTV”

-**Falla Extinta:** “falla que NO se ha movido durante el RTV”

-**Falla Potencialmente Activa** (Ambraseys, 1978): “Fallas que **no** se han movido durante el RTV, pero que se encuentran adecuadamente orientadas respecto al régimen tectónico actual”.



TIPOS DE FALLAS SEGÚN SU GRADO DE ACTIVIDAD

-2. Clasificación de carácter APLICADO (USNRC)

-Falla Activa: “Falla que ha experimentado algún movimiento dentro de los últimos 50.000 años” (U.S. Nuclear Regulatory Commission).

-Falla Capaz: “Falla que ha experimentado recurrencia dentro de los últimos 500.000 años” (U.S. Nuclear Regulatory Commission).



TIPOS DE FALLAS SEGÚN SU GRADO DE ACTIVIDAD

-2. Clasificación de carácter **APLICADO (NSCJ)**

-Falla Activa: “Falla Cuaternaria”

-Falla Activa (a considerar en los cálculos): “Falla que ha experimentado recurrencia dentro de los últimos 50.000 años”



TIPOS DE FALLAS SEGÚN SU GRADO DE ACTIVIDAD

-2. Clasificación de carácter **APLICADO (EUROCODE)**

-Falla Activa: “Falla con una velocidad de movimiento >1.0 mm/a y con evidencia de ruptura superficial en los últimos 11000 años



Geología de Terremotos

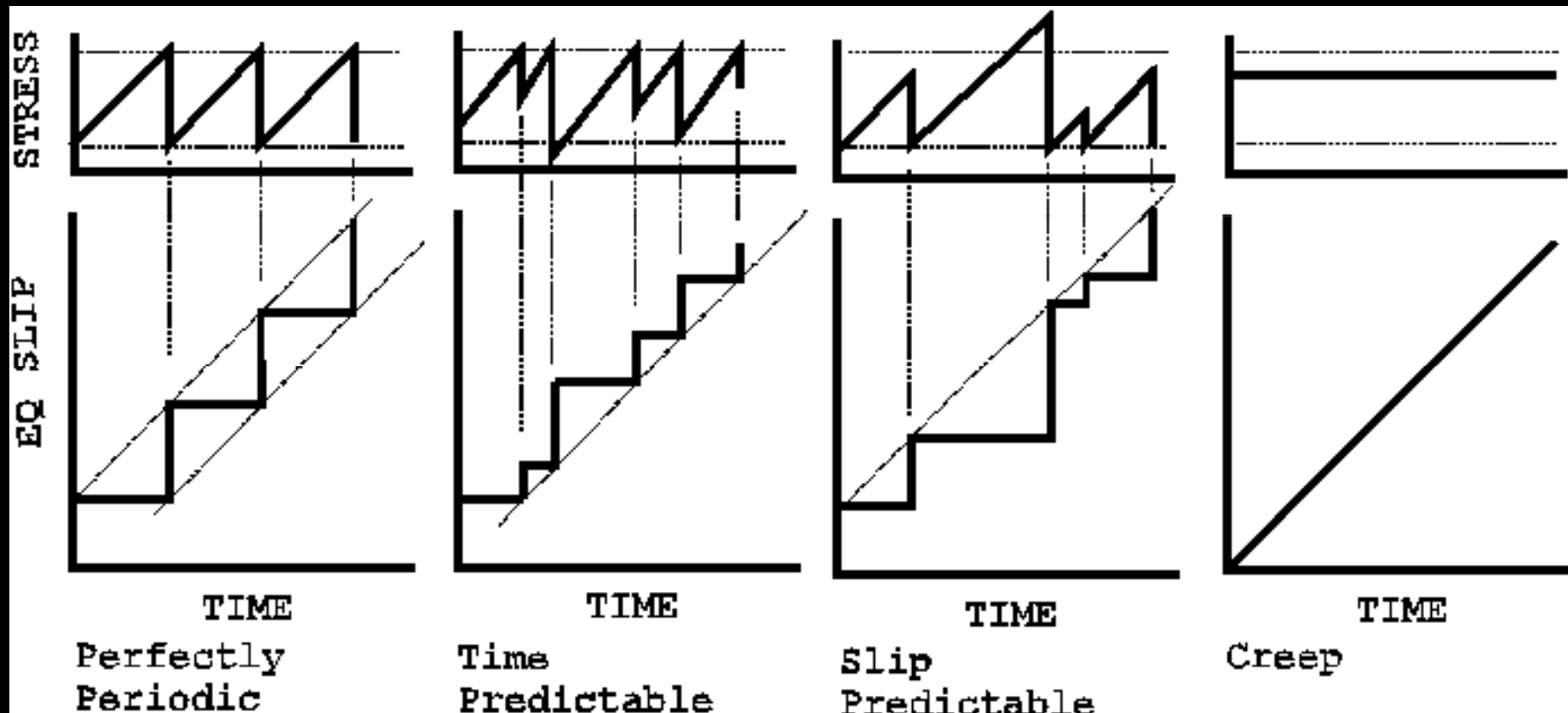
- Geología de Terremotos, Tectónica activa y neotectónica.
- Clasificación de las fallas según su actividad.
- Conceptos de Falla activa y falla capaz.
- Fallas sísmicas y asísmicas: corteza sismogenética**
- Estructura y segmentación de las fallas.



-Fallas sísmicas y asísmicas: corteza sismogenética

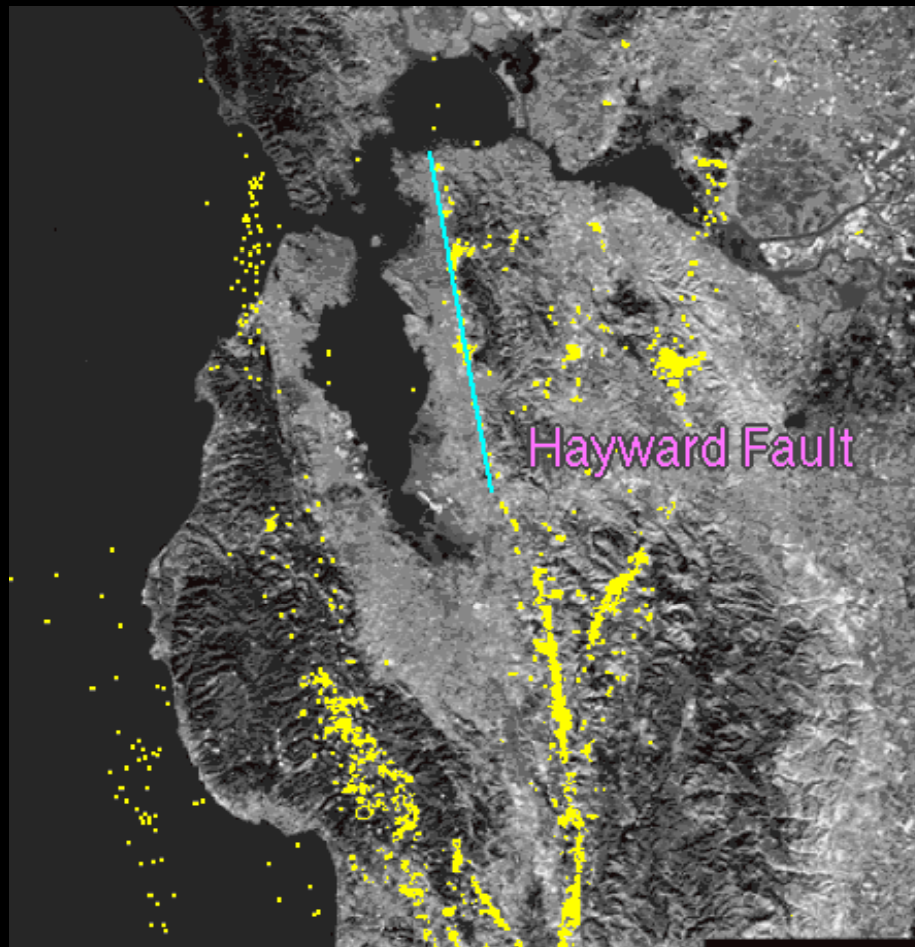
Comportamiento
sísmico

Comp.
asísmico



Fallas asísmicas.

Falla de Hayward (California)



San Francisco
Bay Area
earthquakes

1972-1989



Falla de Hayward (California)



Falla de Hayward (California)



Fallas sísmicas

IZMIT 1999

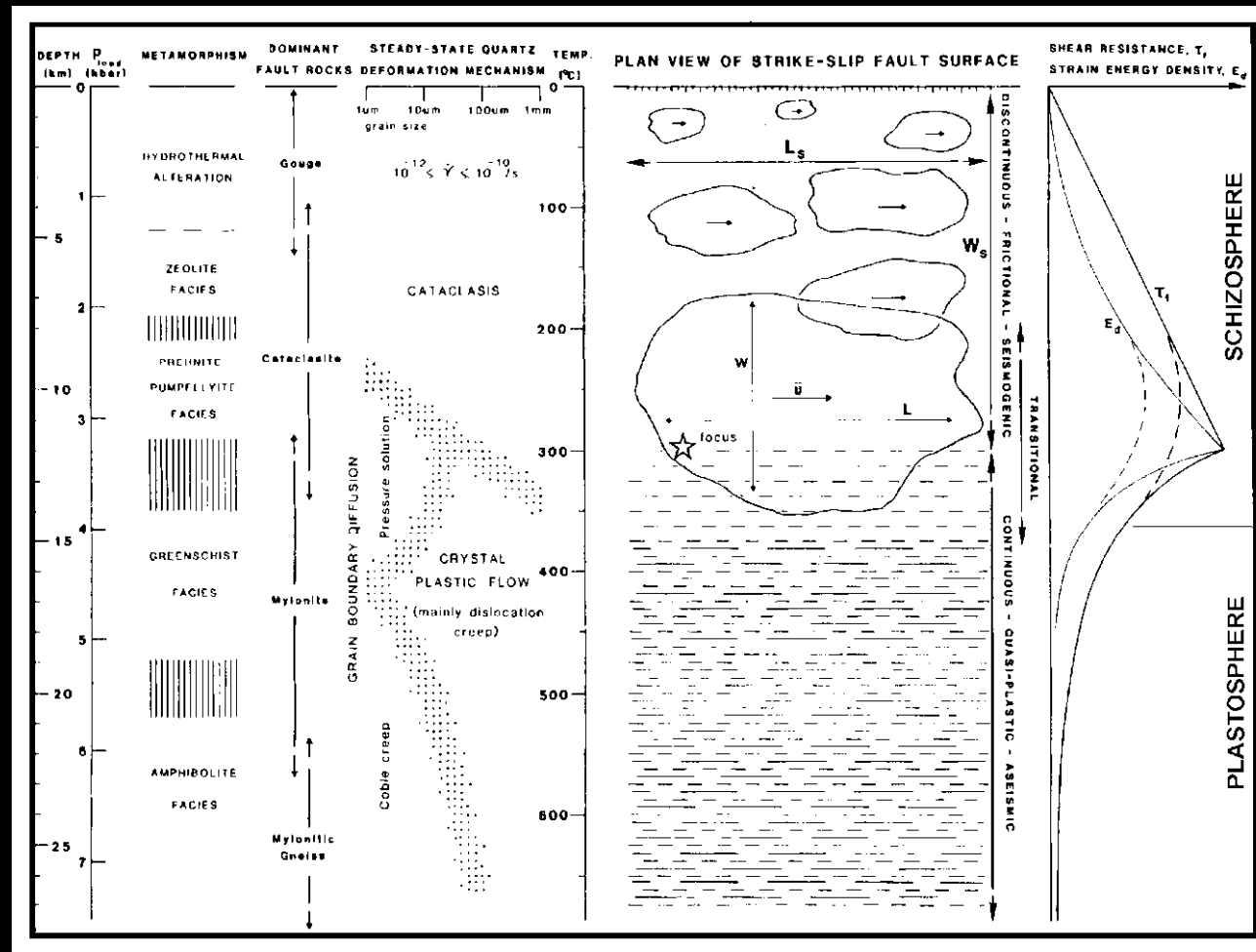


IZMIT 1999



-Fallas sísmicas: corteza sismogenética

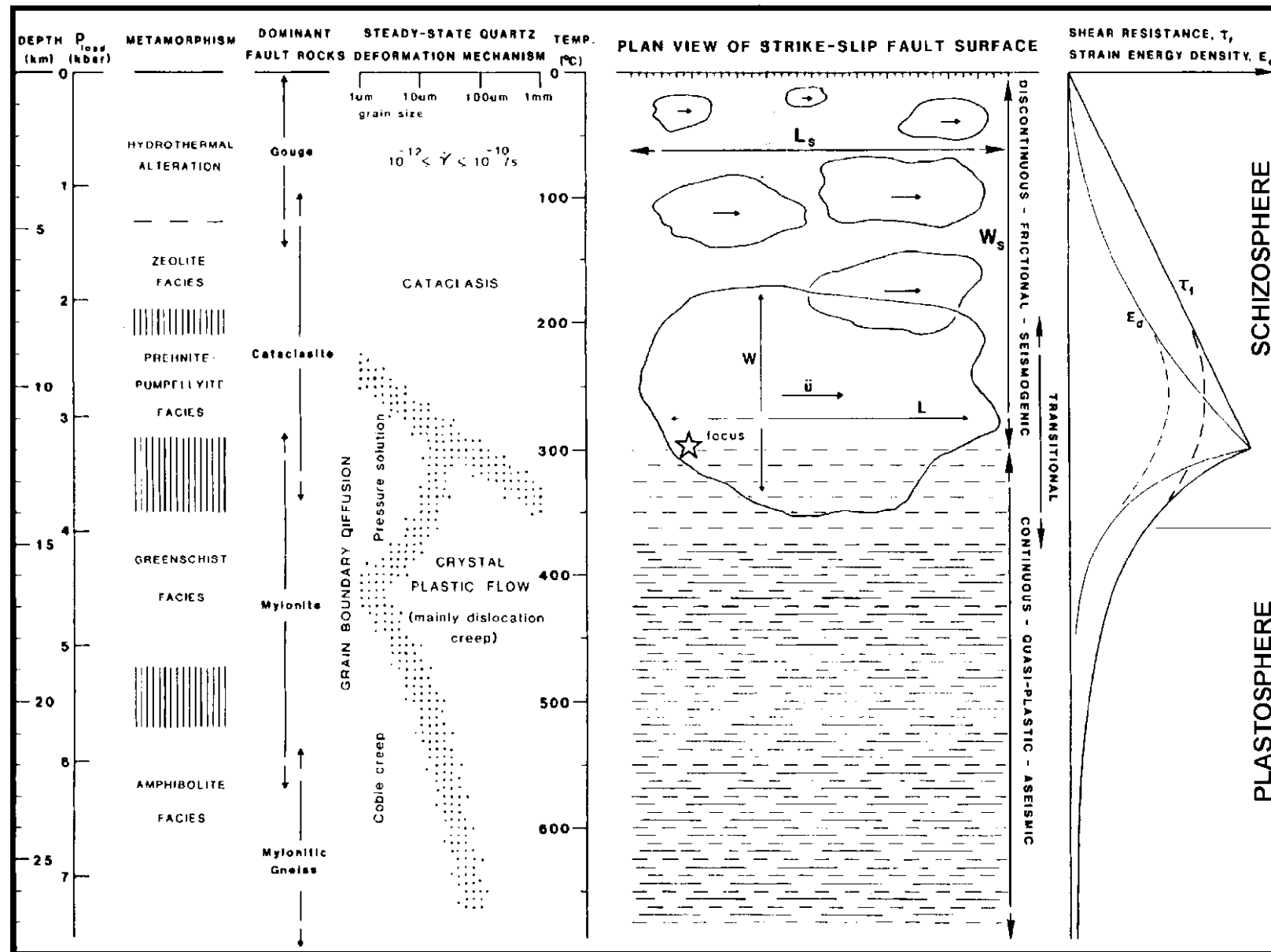
La reactivación de las fallas se produce en los kilómetros más superficiales de la corteza: **CORTEZA SISMOGENETICA**. El tamaño de esta depende de las condiciones mecánicas de la roca



Sibson, 1989

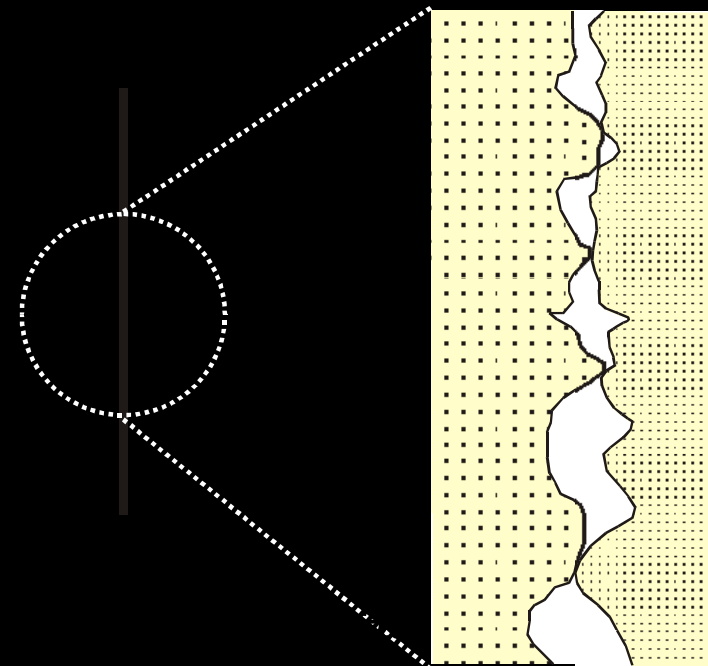
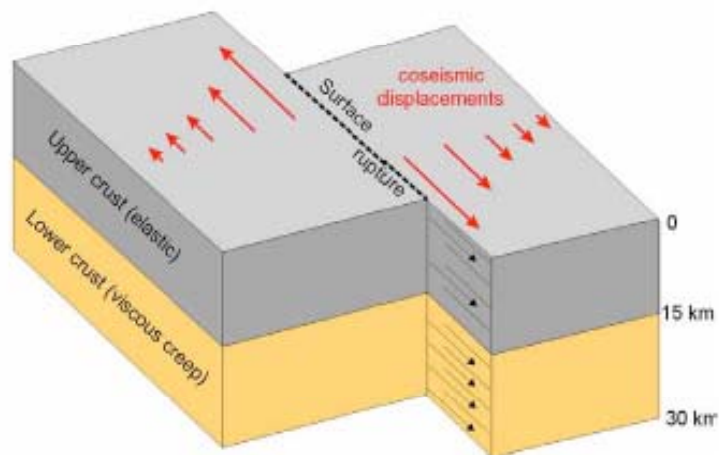
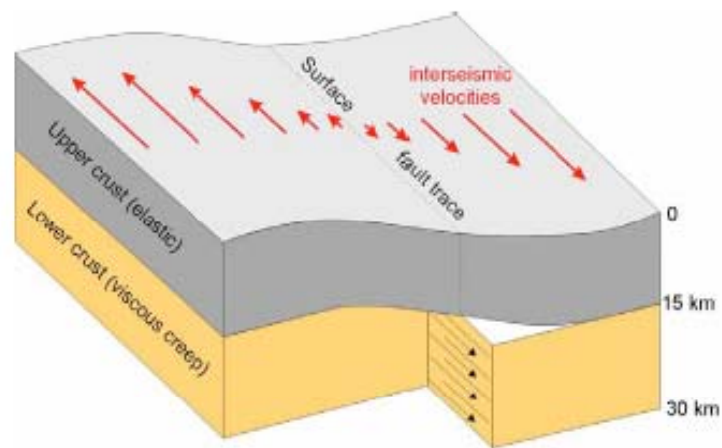


MODELO SINOPTICO DE FALLA ACTIVA



Sibson, 1989





Corteza superior frágil

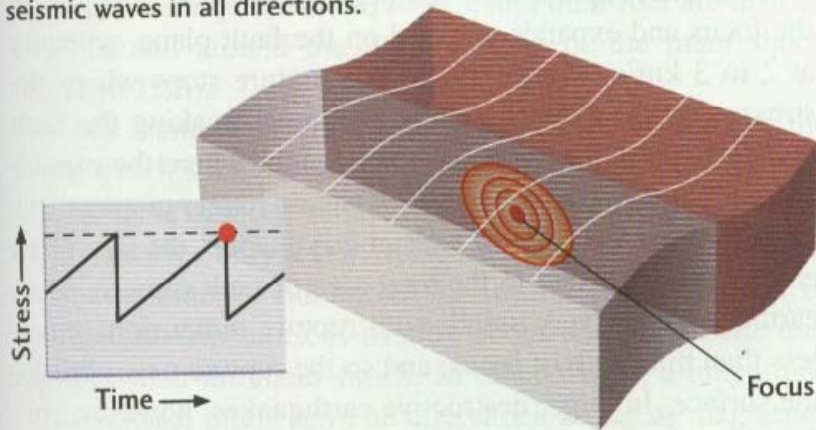
**Aproximadamente
a 10-15 km
de profundidad**

Corteza inferior dúctil



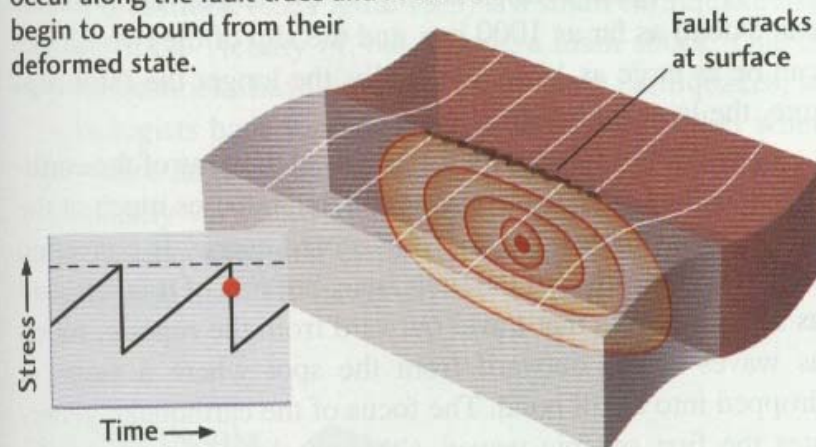
0 Second

Rupture expands circularly on fault plane, sending out seismic waves in all directions.



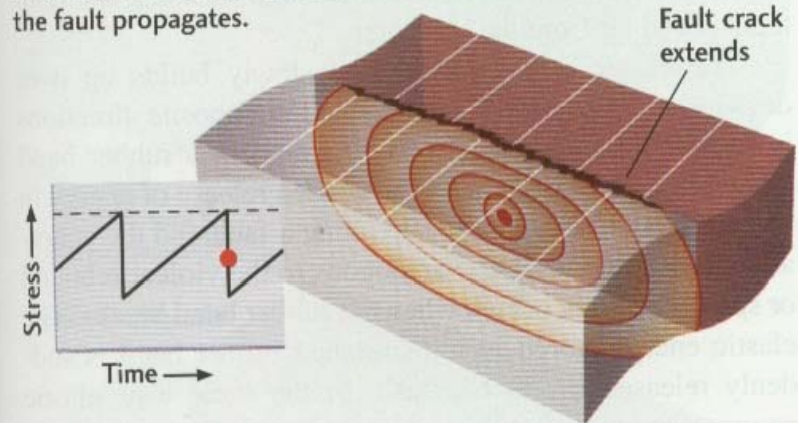
5 Seconds

Rupture continues to expand as a crack along the fault plane. When rupture front reaches the surface, displacements occur along the fault trace and rocks at the surface begin to rebound from their deformed state.



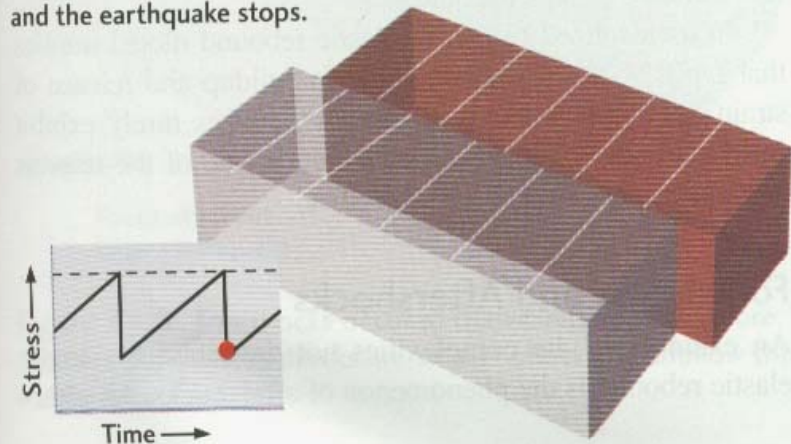
10 Seconds

Rupture front progresses down the fault plane, reducing the stress and allowing rocks on either side to rebound. Seismic waves continue to be emitted in all directions as the fault propagates.



20 Seconds

Rupture has progressed along the entire length of the fault. The fault has reached its maximum displacement, and the earthquake stops.



El tamaño de un terremoto por tanto depende de las dimensiones de la ruptura

Grupo de Tectónica Activa y Paleosismicidad



Momento sísmico:

$$M_o = \mu \Delta\omega A \quad [F \times L] \quad (\text{Dina} \times \text{cm}; \text{N} \times \text{m})$$

(M_o (Newton metro))

μ = Módulo de cizalla:

32 GPa para la corteza

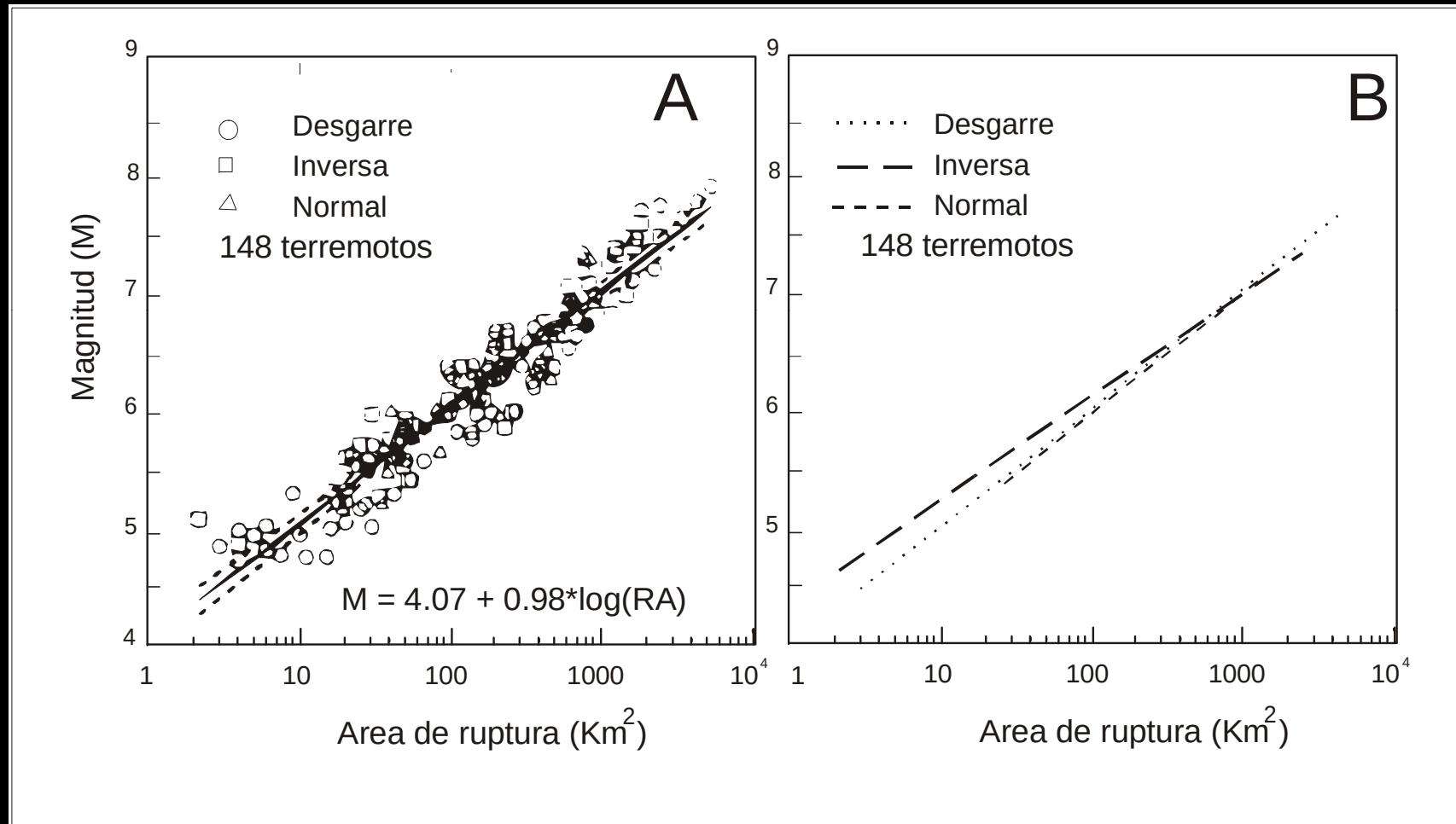
75 GPa para el manto

A = área de ruptura ($L \times W$)

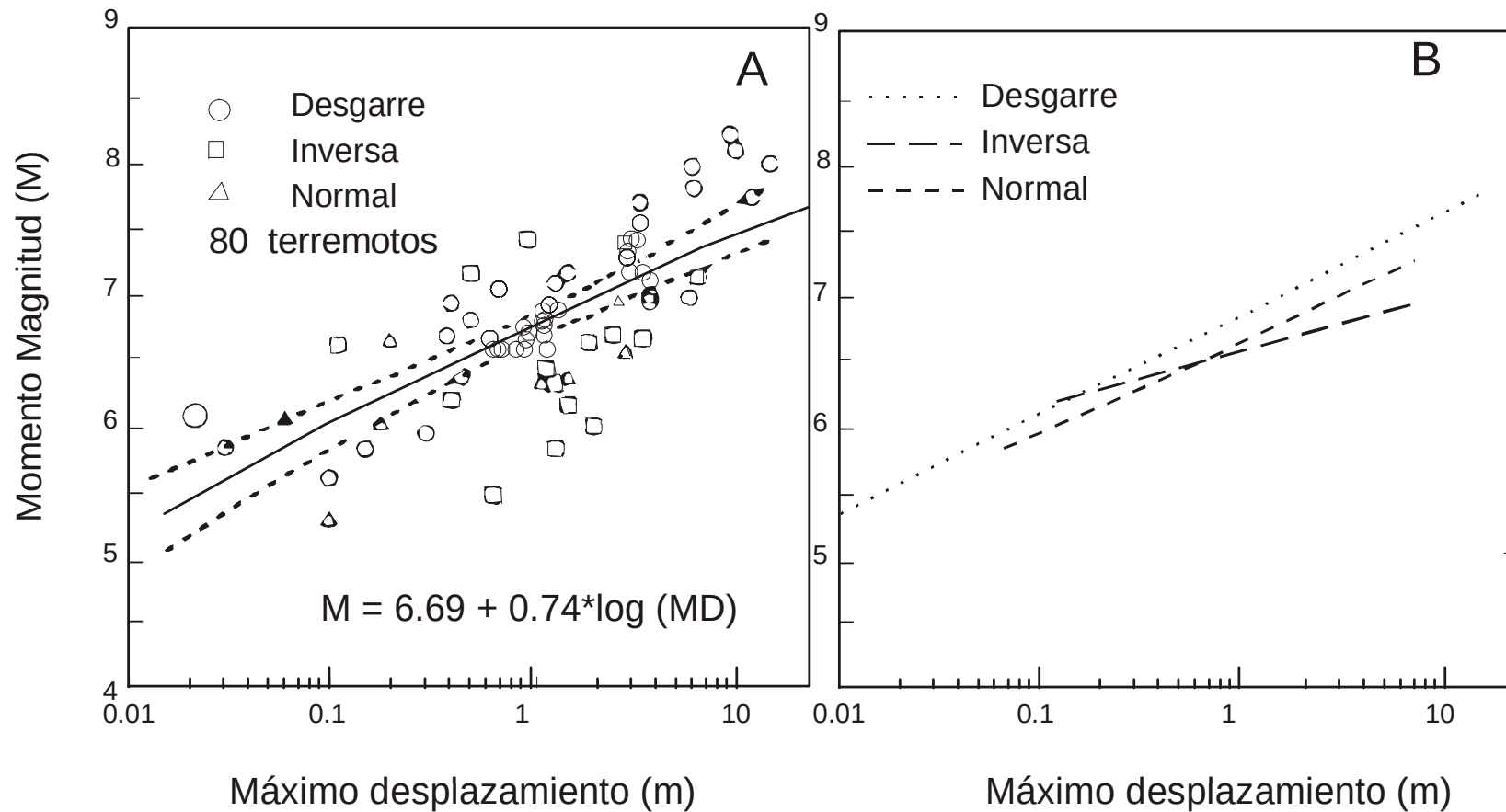
$\Delta\omega$ = desplazamiento medio durante el terremoto



Relación Área de ruptura – Magnitud Momento



Relación Máximo desplazamiento – Magnitud momento



Geología de Terremotos

- Geología de Terremotos, Tectónica activa y neotectónica.
- Clasificación de las fallas según su actividad.
 - Conceptos de falla activa y falla capaz.
 - Fallas sísmicas y asísmicas.
- Estructura y Segmentación de las fallas
- Recurrencia



Segmentación de fallas activas

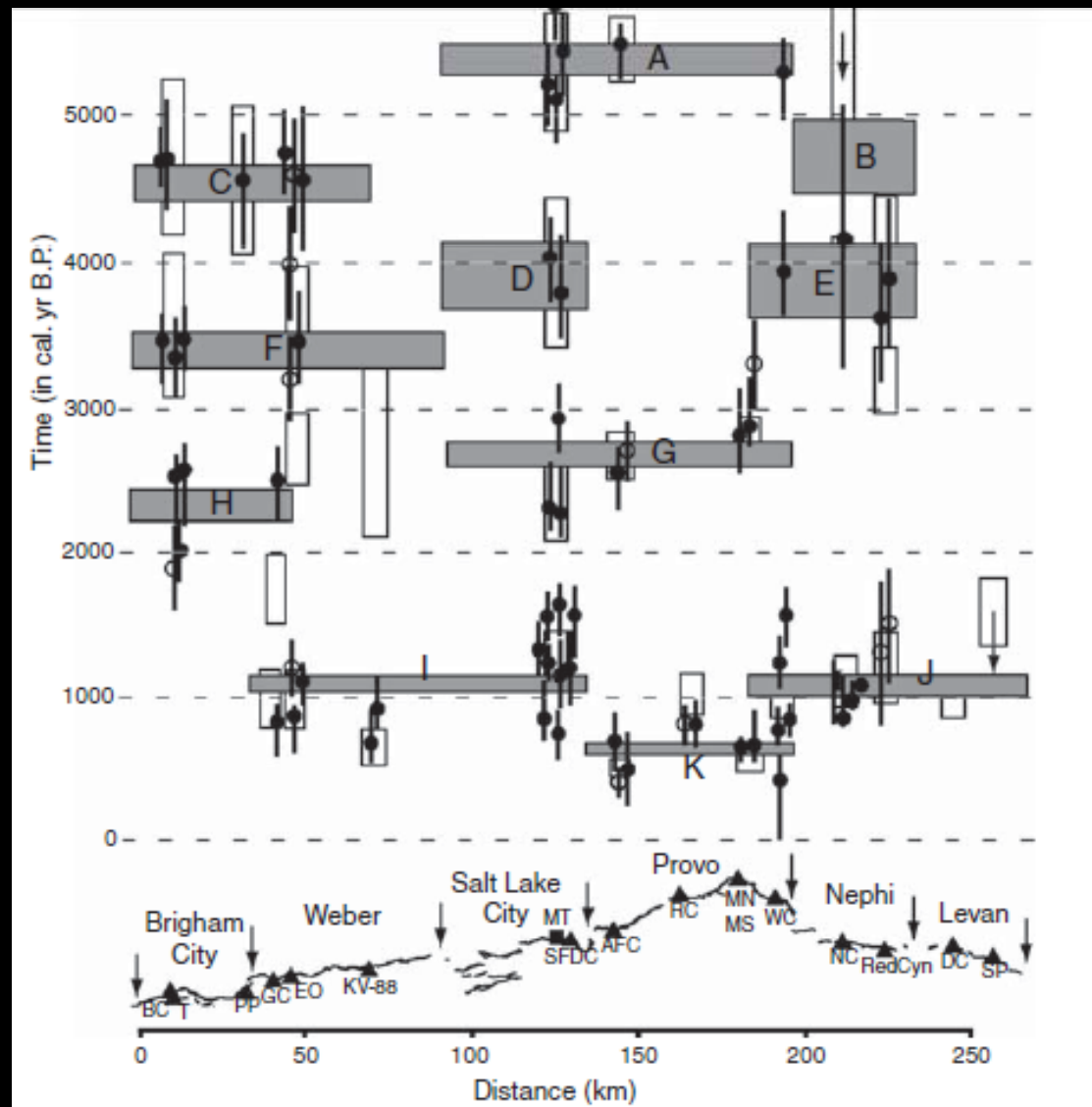
- La segmentación es fundamental a la hora estimar el potencial sismogénico de una falla ya que condicionar el tamaño máximo o el tamaño característico de los terremotos



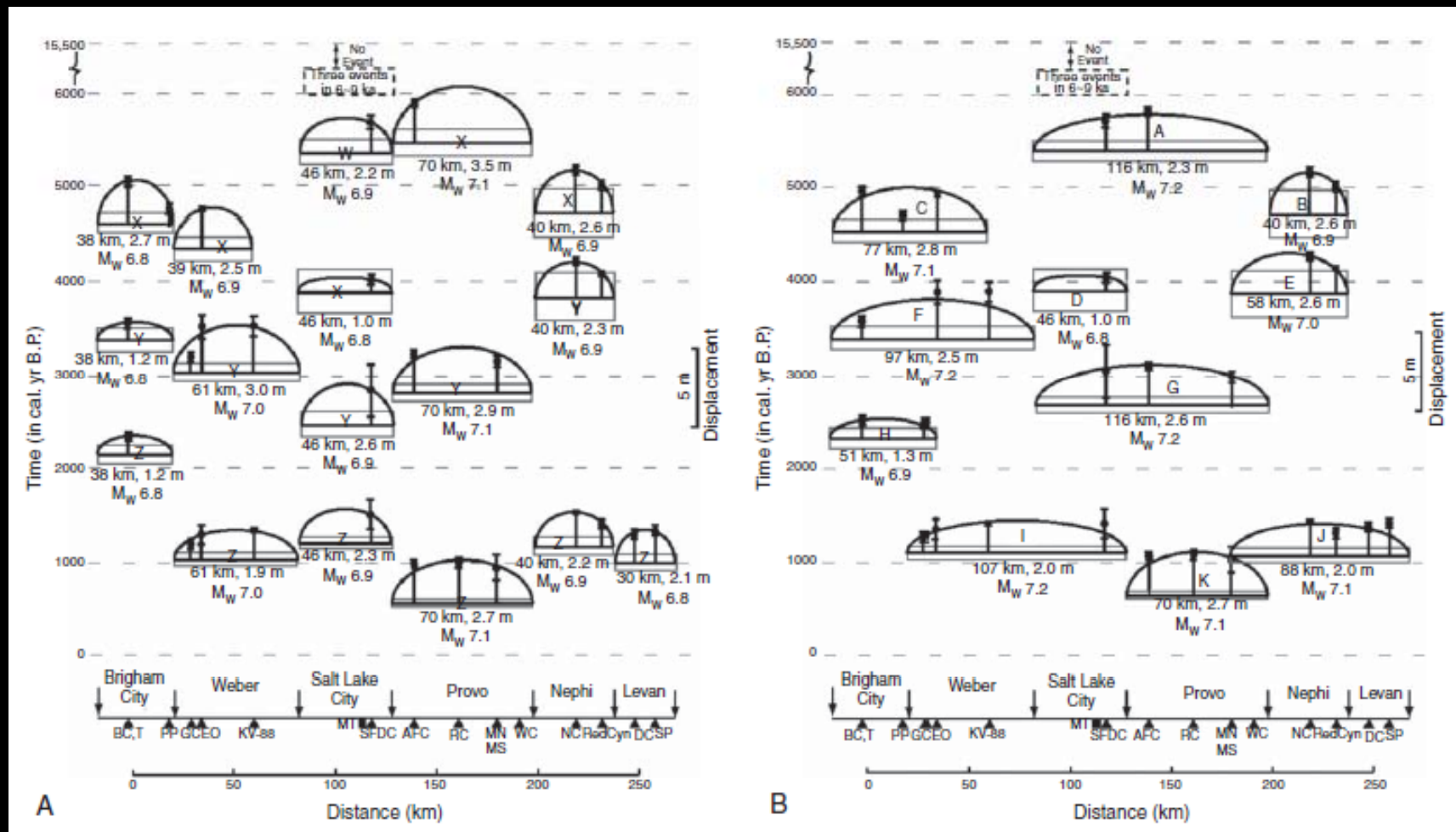
Tipos de segmentos (MCalpin, 2009)

Type of segment ^a	Characteristics used to define the segment ^a	Likelihood of being an earthquake segment ^b
1. Earthquake	Historic rupture limits	By definition, 100% ^c
2. Behavioral	1. Prehistoric rupture limits defined by multiple, well-dated paleoearthquakes 2. Segment bounded by changes in slip rates, recurrence intervals, elapsed times, sense of displacement, creeping versus locked behavior, fault complexity	High Moderate (26%)
3. Structural	Segment bounded by fault branches, or intersections with other faults, folds, or cross structures	Moderate-high (31%)
4. Geologic	1. Bounded by Quaternary basins or volcanic fields 2. Restricted to a single basement or rheologic terrain 3. Bounded by geophysical anomalies 4. Geomorphic indicators such as range-front morphology, crest elevation	Variable ^d (39%)
5. Geometric	Segments defined by changes in fault orientation, stepovers, separations, or gaps in faulting	Low-moderate (18%)



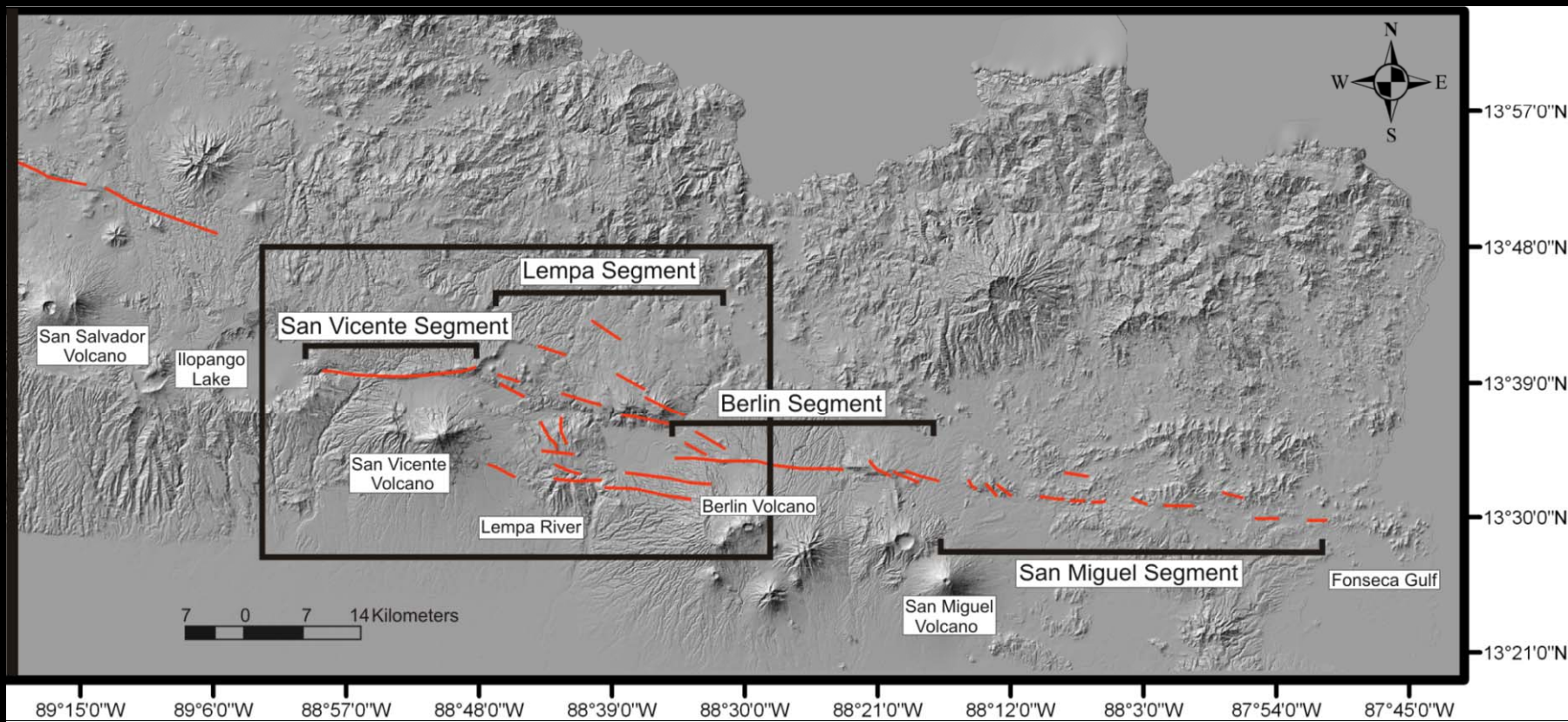


Segmentación Wasatch Fault (Chang and Smith, 2002).



Implicaciones importantes en Peligrosidad Sísmica





Geología de Terremotos

- Geología de Terremotos, Tectónica activa y neotectónica.
- Clasificación de las fallas según su actividad.
 - Conceptos de falla activa y falla capaz.
 - Fallas sísmicas y asísmicas.
- Estructura y Segmentación de las fallas
- Recurrencia



FUENTE: FALLA ACTIVA (régimen téctónico)

TAMAÑO: ÁREA DE RUPTURA (estructura de la falla y la mecánica de la corteza)

RECURRENCIA: VELOCIDAD DE LA FALLA



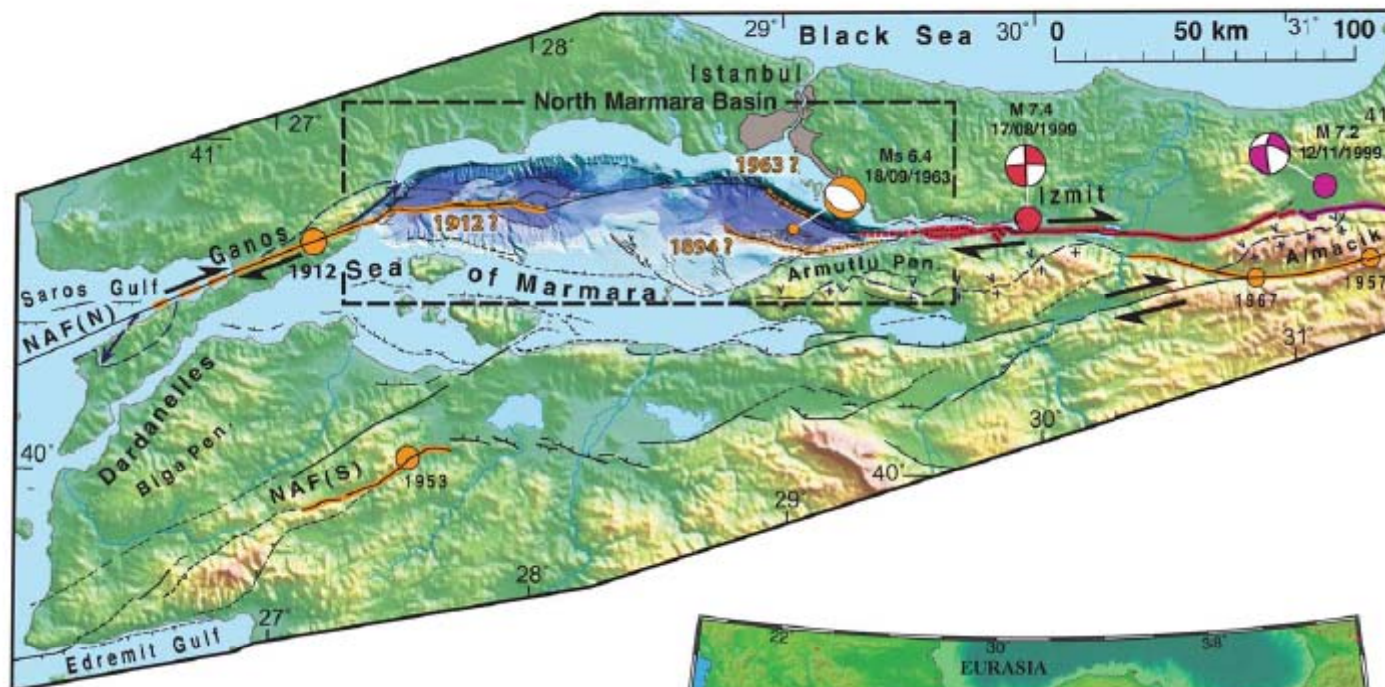
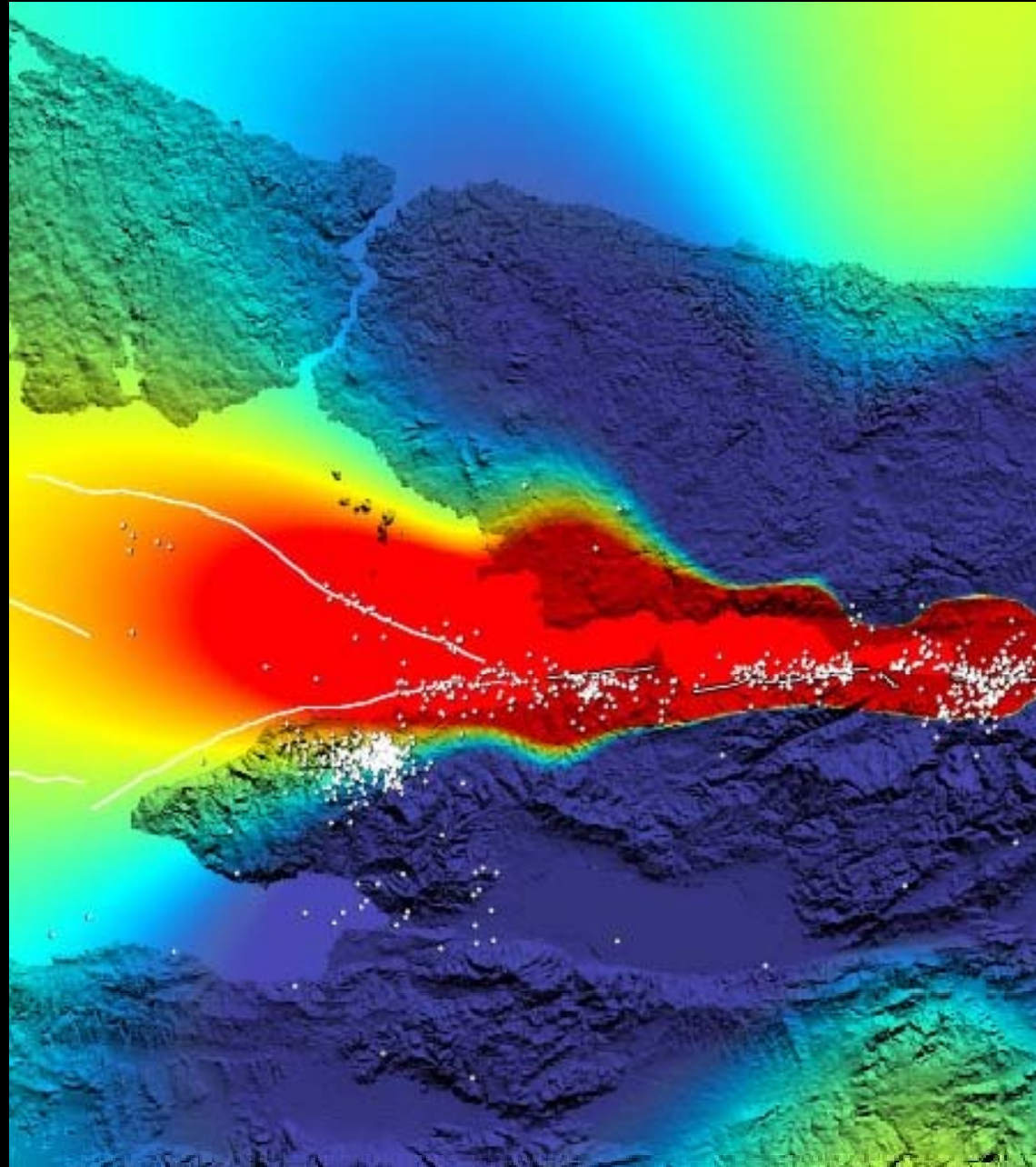


Figure 1



-2. Cambios de esfuerzos de Coulomb estáticos



Parsons et al. (2000)



