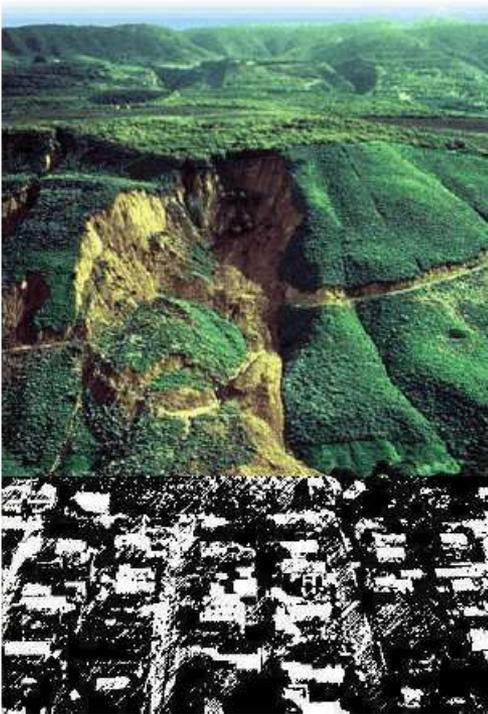


PELIGRO SÍSMICO

Carlos Costa
Universidad Nacional de San Luis
costa@unsl.edu.ar

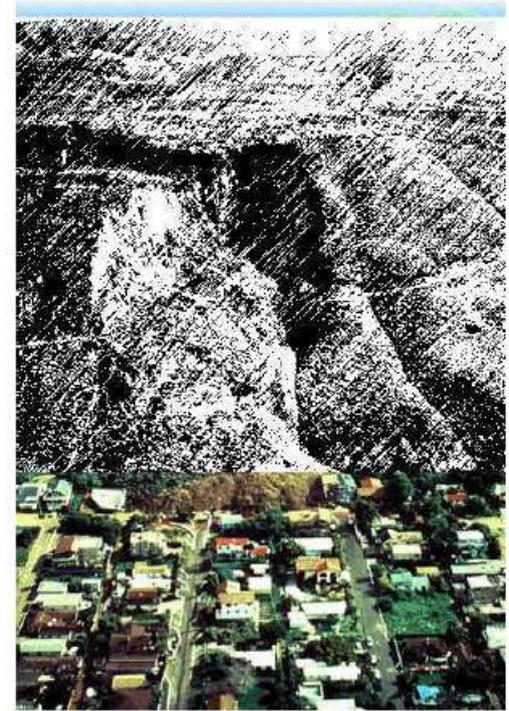


Amenaza
(PELIGRO)

X



Riesgo



Vulnerabilidad

Hazards

Conditions and associated processes, normally out of our control

- Natural hazards
 - extra-terrestrial (e.g. meteoritic impact)
 - meteorological (e.g. hurricane, floodings)
 - geological (e.g. volcano, earthquake)
- Also technical and man-made hazards

Vulnerabilities

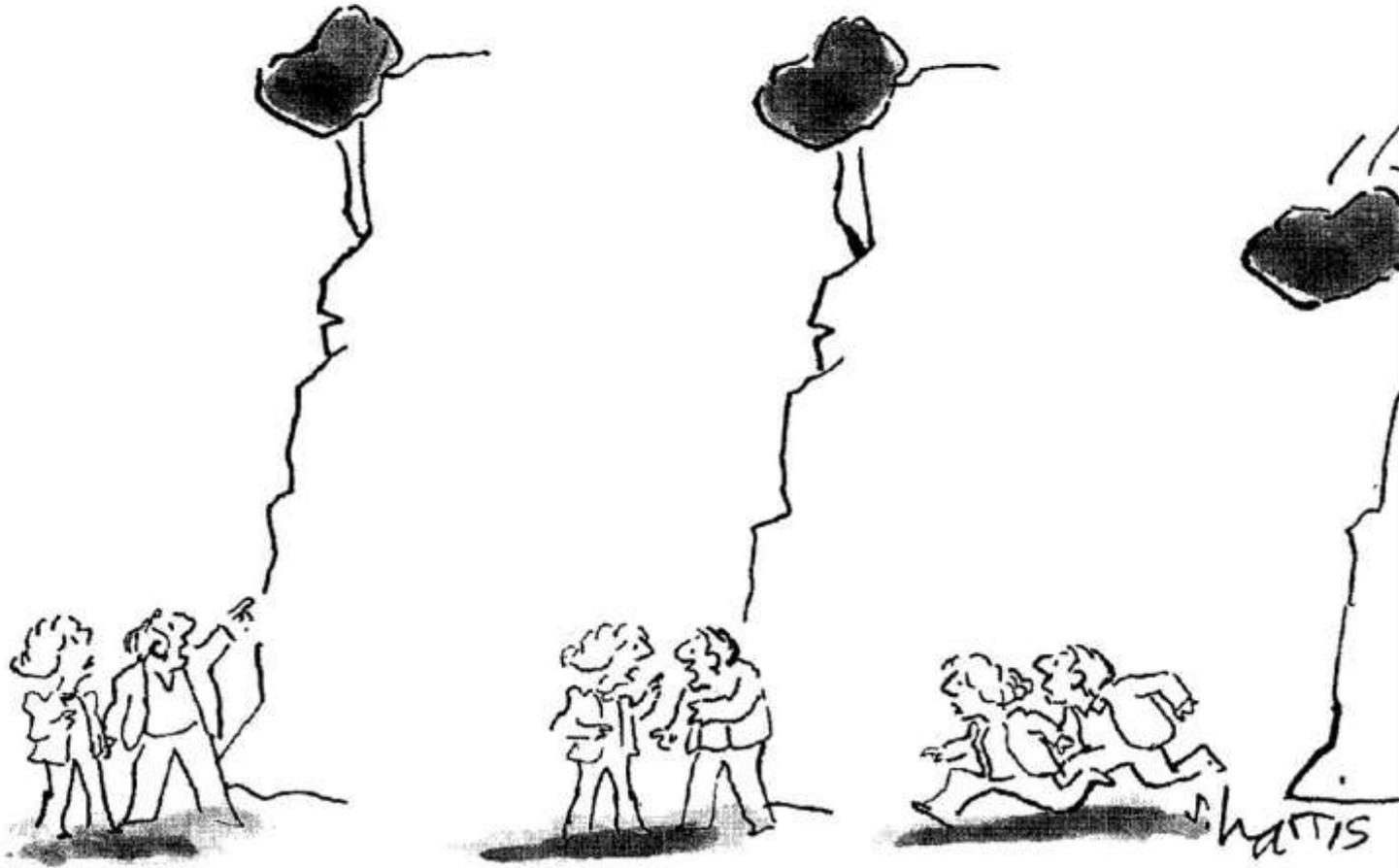
Conditions we normally can manage

- Population density and exposure
- Preparedness, public health
- Abilities and capacities to respond and mitigate
- Governance and free will
- Knowledge, education
- Buildings and structures, technical vulnerabilities
- etc.

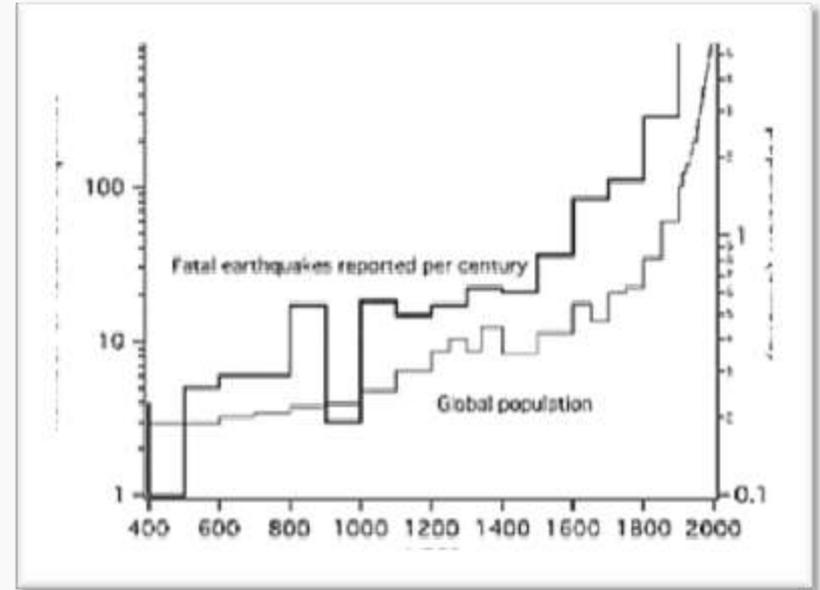
**RECONOCIMIENTO
DEL
PELIGRO**

**ASESORAMIENTO
DEL
PELIGRO**

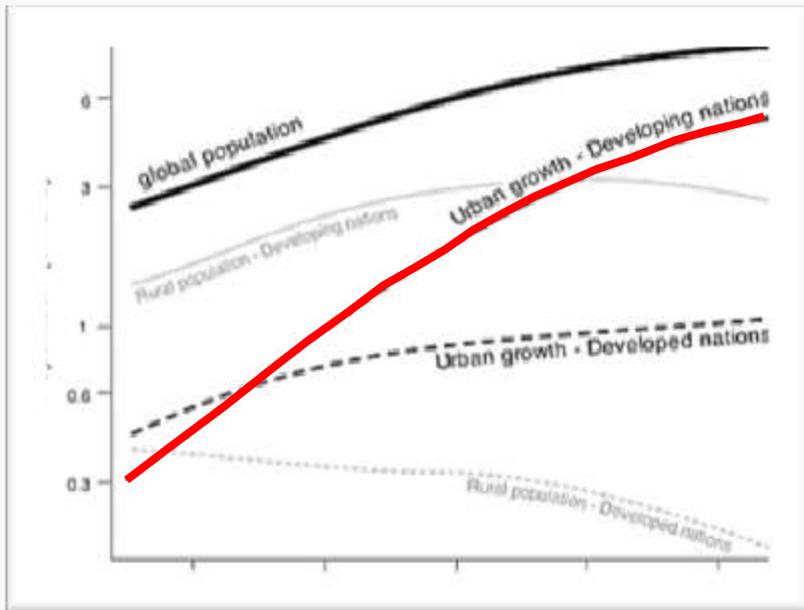
**MANEJO
DEL
PELIGRO**



VÍCTIMAS DEBIDO A EPISODIOS SÍSMICOS
VS.
AUMENTO DE LA POBLACIÓN MUNDIAL



(Bilham, 2009, The seismic future of cities . Bull. Earthquake Eng.)





MEDELLÍN, COLOMBIA



LA PAZ, BOLIVIA



Arquitectura 'sismodestructuente', El Llanito, Caracas

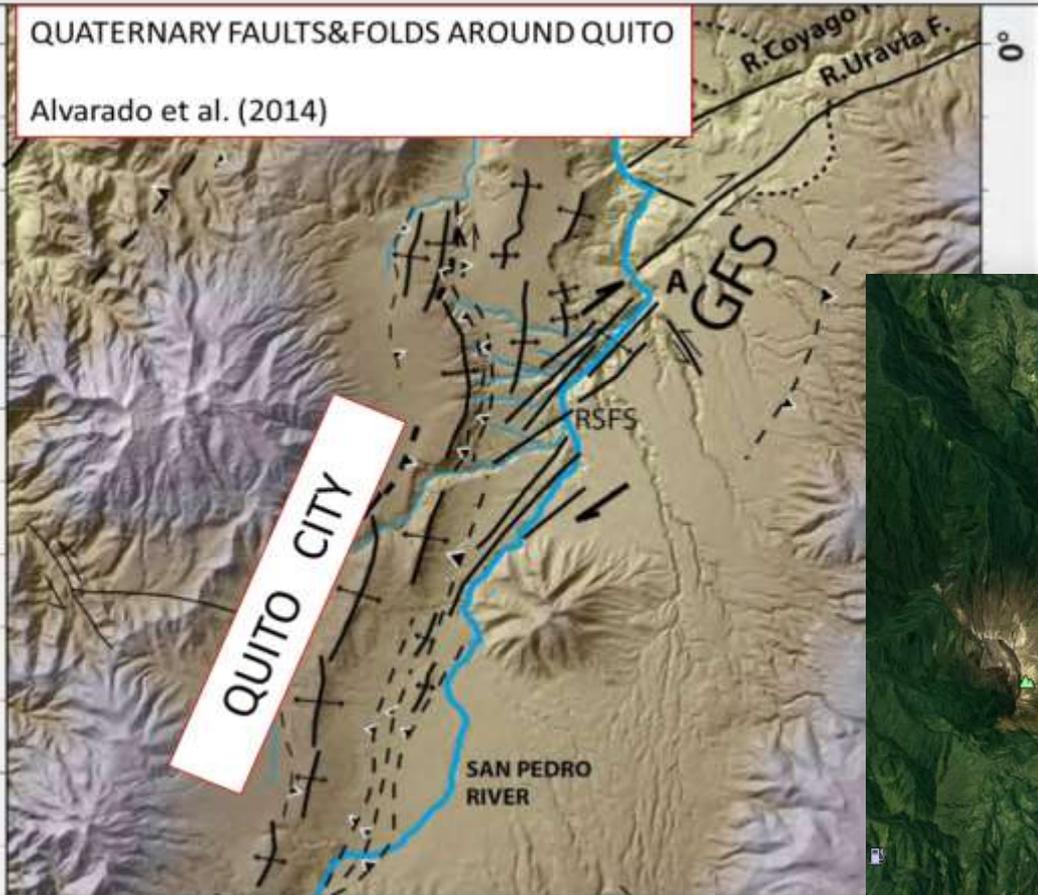
EXPOSICIÓN A LA AMENAZA SÍSMICA: EL CASO SUDAMERICANO



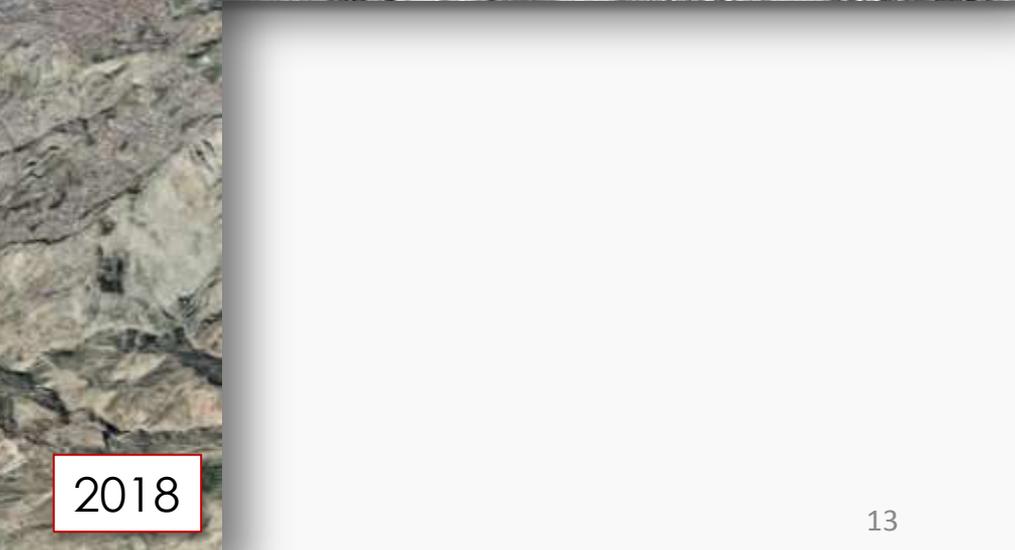


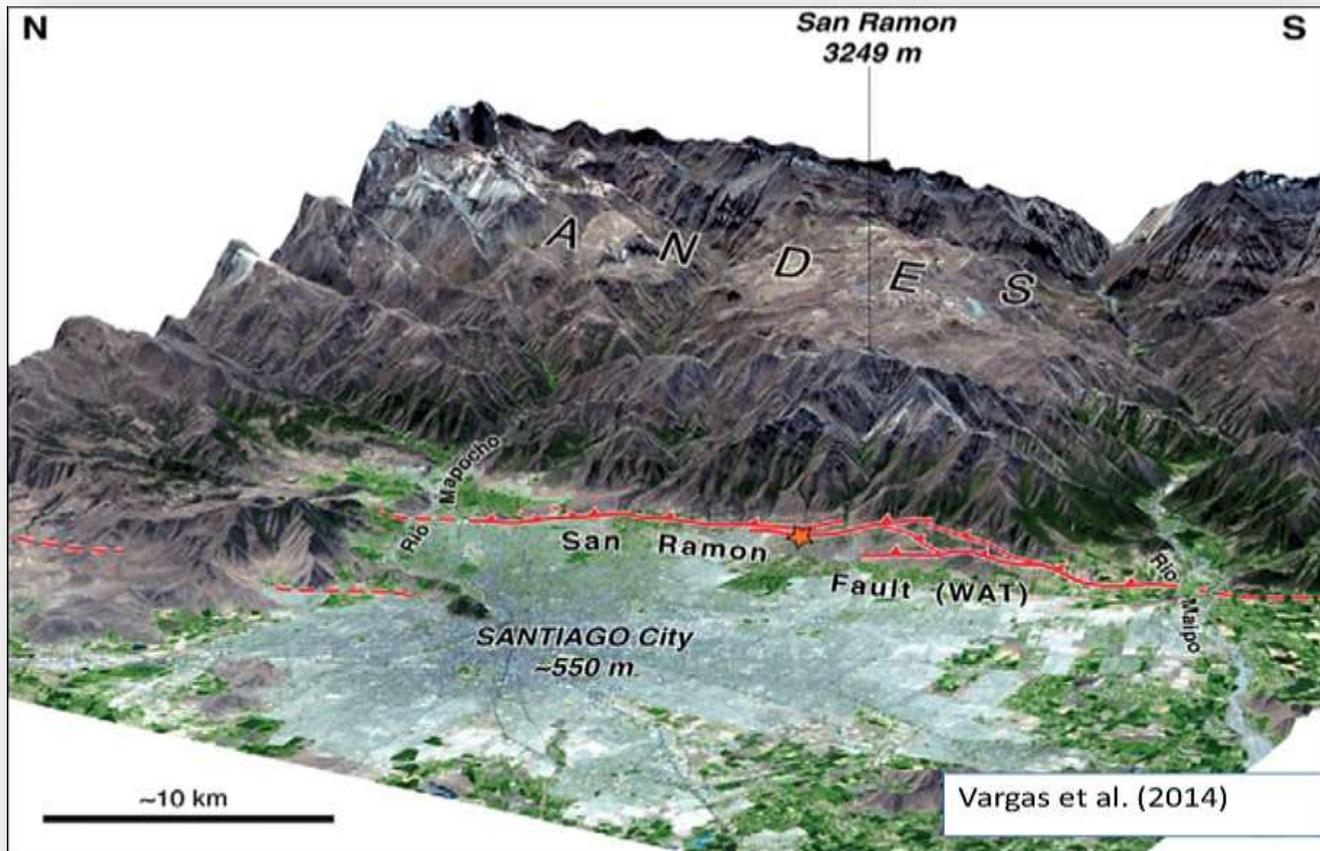
QUATERNARY FAULTS & FOLDS AROUND QUITO

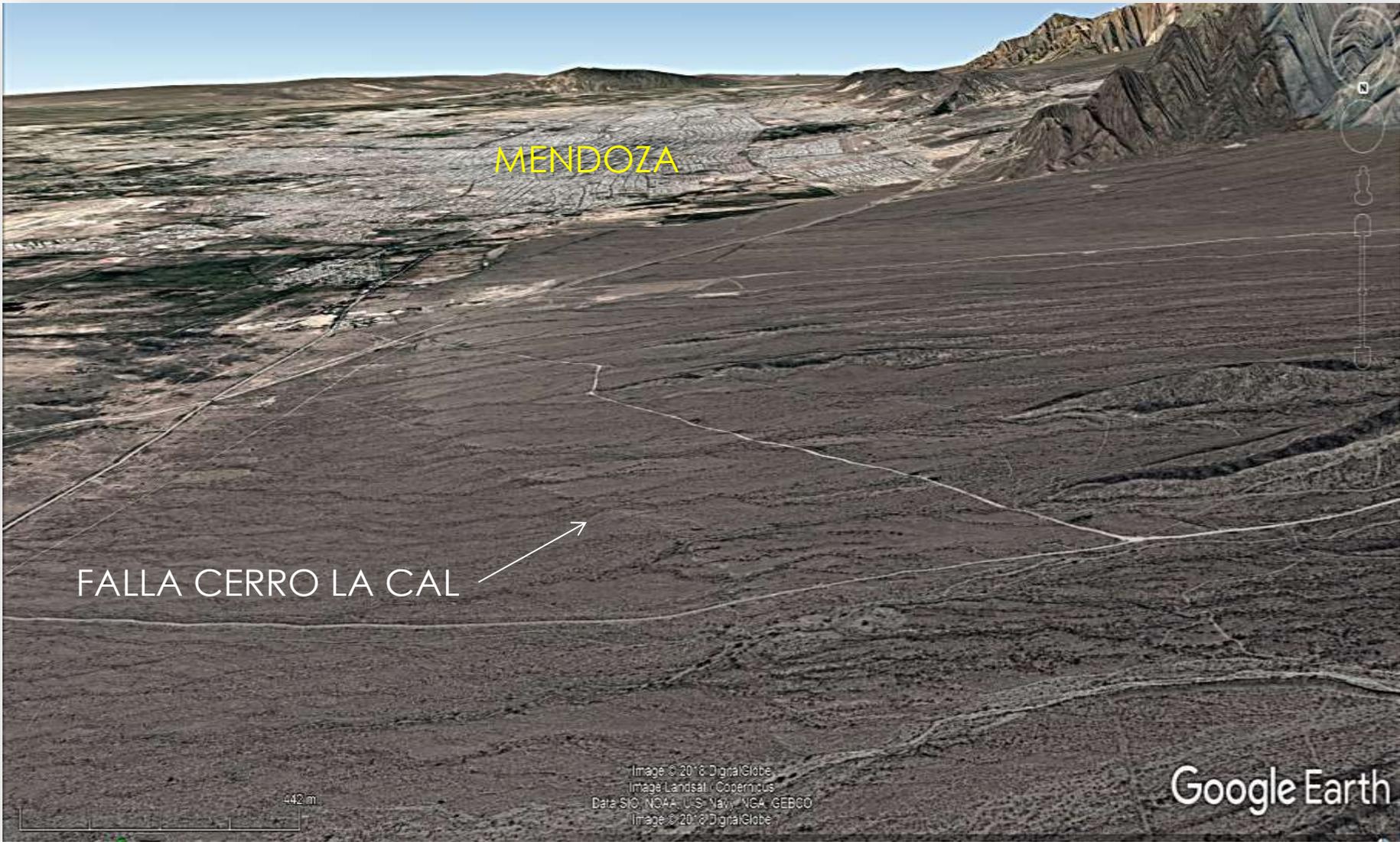
Alvarado et al. (2014)



EL ALTO, LA PAZ







MENDOZA

FALLA CERRO LA CAL

Google Earth

442 m

Image © 2018 DigitalGlobe
Image Landsat / Copernicus
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image © 2018 DigitalGlobe

. LOS GEÓLOGOS COMO PROVEEDORES DE INSUMOS PARA CARACTERIZACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA

. CUESTIONES VINCULADAS A LA CAPTURA DE DATOS

INFORMACIÓN BÁSICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA



ANÁLISIS DEL PELIGRO SÍSMICO

Algún día la predicción de EQK en el corto plazo podrá ser una realidad, pero mientras tanto, los esfuerzos están dirigidos a la prevención del fenómeno.

El Asesoramiento del Peligro Sísmico (**APS**), es semejante a la predicción de largo plazo.

Peligro: Es el fenómeno físico que determina el problema (ground-shaking, licuefacción, etc.).

Riesgo: Exposición al peligro de vidas humanas, propiedades, etc.

Principal peligro: Ground-shaking (con fenómenos derivados) y rupturas superficiales.

Principal riesgo: Daño de estructuras

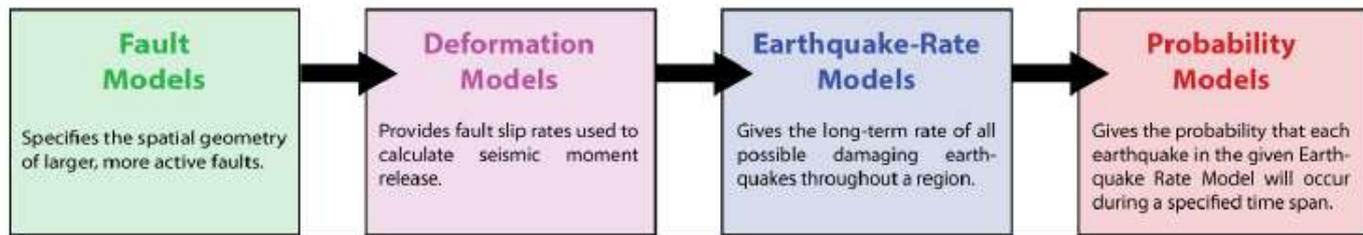
ANÁLISIS DETERMINISTICO (AD)

- ✓ Especifica los parámetros sismogénicos o características de los EQK que puede generar una determinada fuente sísmica (magnitud, recurrencia, aceleraciones pico, etc.).
- ✓ No especifica cuan probable es su ocurrencia, excepto indicar lo que se considera "creible" (SISMO MÁXIMO PROBABLE) y lo que se considera el "peor caso" (SISMO MÁXIMO POSIBLE) ni analiza en conjunto todas las posibles fuentes sismogénicas.
- ✓ La información geológica juega un rol importante.

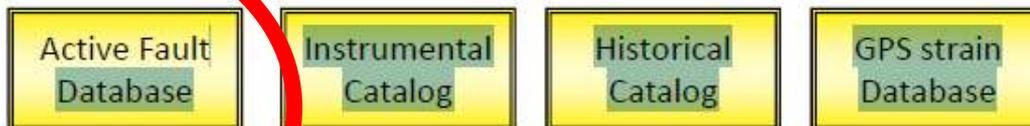
ANÁLISIS PROBABILÍSTICO (AP)

- ✓ Determina probabilidades numéricas para la ocurrencia de sismos y sus efectos en una determinada zona, durante un período determinado de tiempo (por ej la vida útil de una determinada estructura). No se determina el "peor caso", sino probabilidades para la ocurrencia de diferentes magnitudes de sismos en función del tiempo y sus efectos (aceleración de g).
- ✓ Tradicionalmente se ha usado información sismológica. Últimamente se ha incorporado información geológica, principalmente slip-rates de fallas y particularmente en estudios donde la ventana temporal es importante.

Seismic Hazard Model Construction

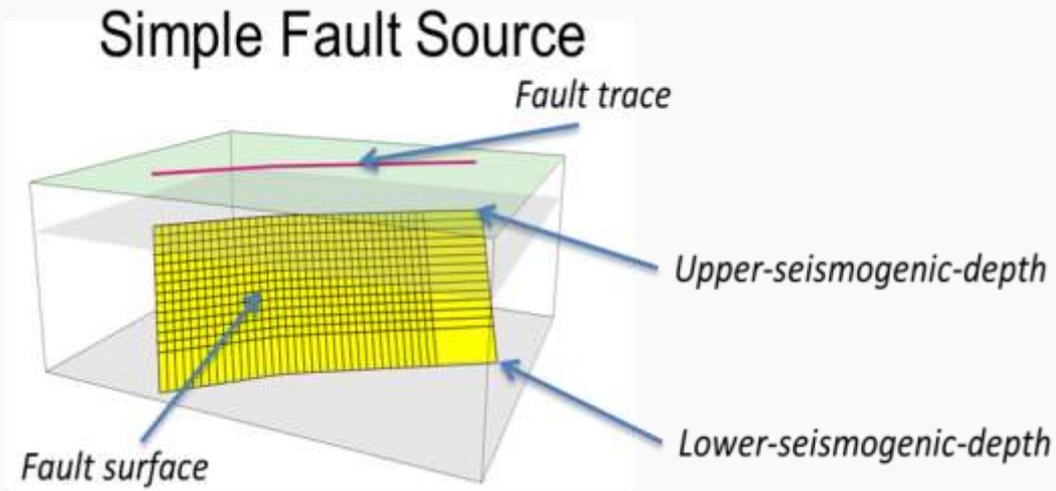


Data needed to build model



STRUCTURE PARAMETERS

OBJECT ID	NAME	STRIKE	SLIP TYPE	SLIP TYPE RELIABILITY	DIP DIRECTION	DIP DIR. RELIABILITY	DIP ANGLE	DIP ANGLE RELIABILITY	SLIP RATE	SLIP RATE RELIABILITY	AGE LAST MOVEMENT	AGE LAST MOV. RELIABILITY
COUNTRY CODE + STRUCTURE NUMBER (AR-001)				1. POOR 2. MOD. 3. GOOD					SLIP RATE CATEGORIES (0.1-1; 1-5, etc.)		- QUATERNARY (s./.) - LATE PLEISTOCENE - HOLOCENE - HISTORIC	



. PORQUÉ ES IMPORTANTE INCORPORAR INFORMACIÓN DE FALLAS NEOTECTÓNICAS EN LOS ESTUDIOS DE AMENAZA SÍSMICA?

1. FALLAS Y EFECTOS DE SITIO

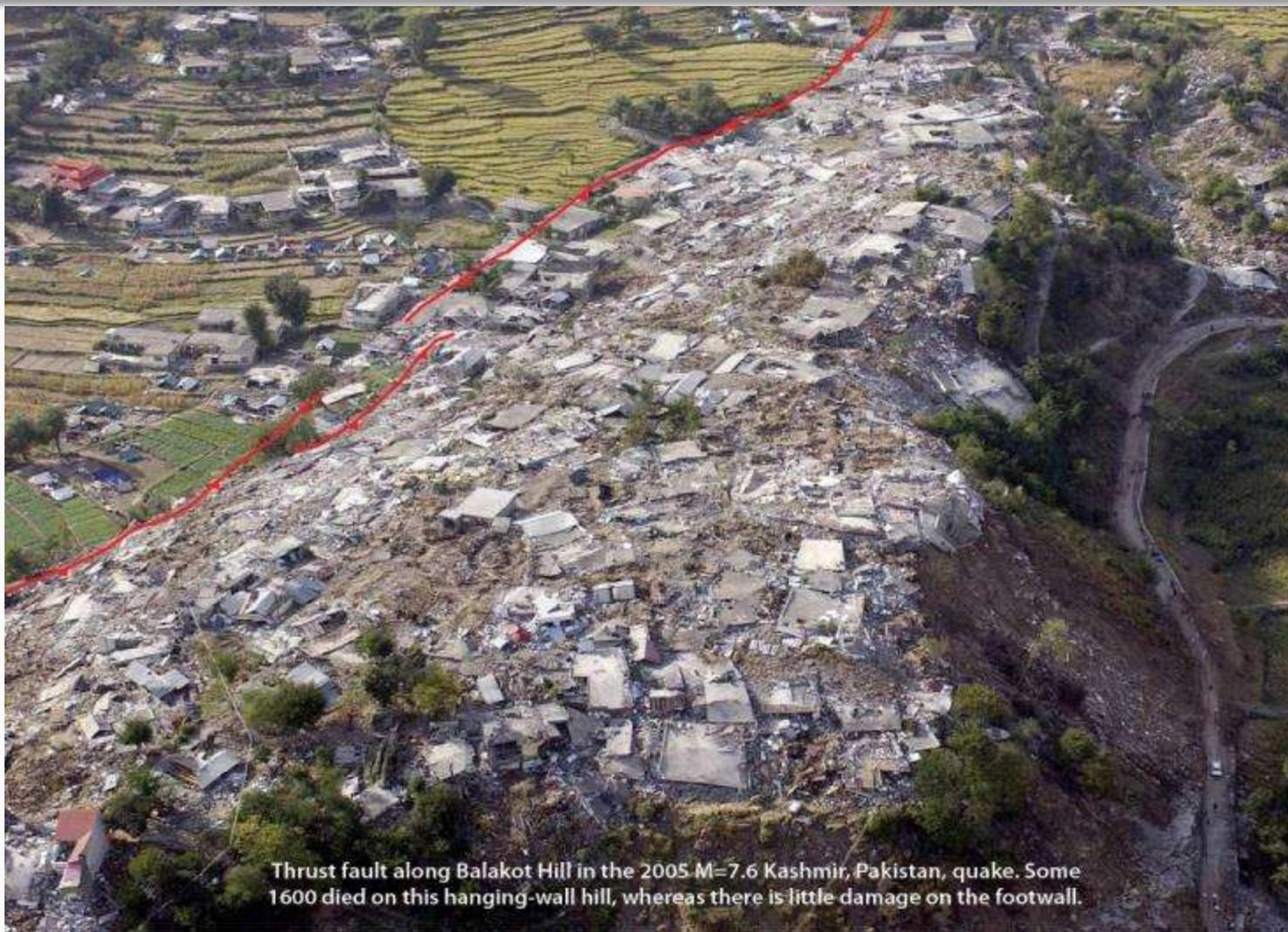
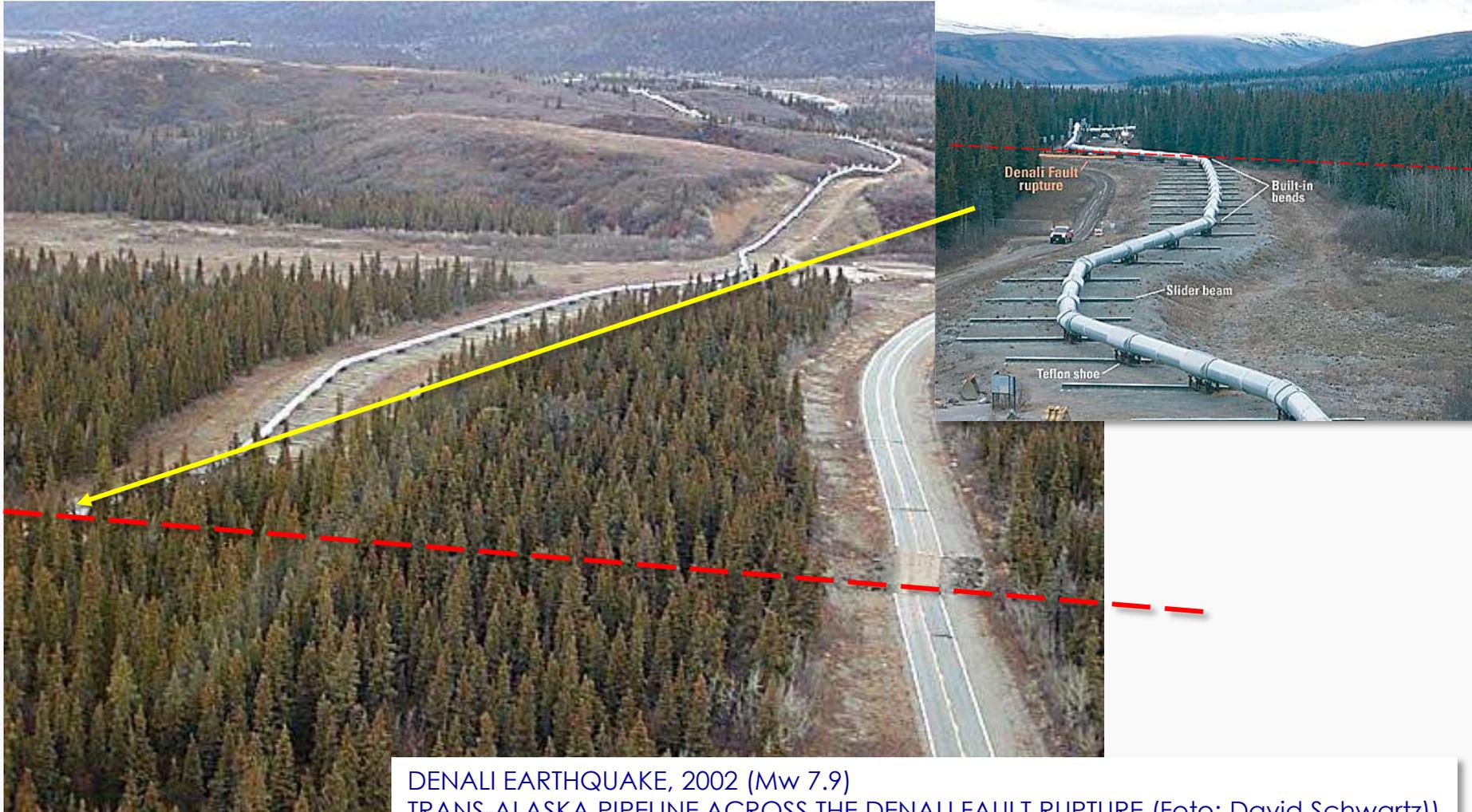


Photo credit: Bob Yeats

. PORQUÉ ES IMPORTANTE INCORPORAR INFORMACIÓN DE FALLAS NEOTECTÓNICAS EN LOS ESTUDIOS DE AMENAZA SÍSMICA?

1. FALLAS Y EFECTOS DE SITIO. EJEMPLO EXITOSO DE ANTICIPACIÓN A UN PROBLEMA INGENIERIL



DENALI EARTHQUAKE, 2002 (Mw 7.9)
TRANS-ALASKA PIPELINE ACROSS THE DENALI FAULT RUPTURE (Foto: David Schwartz)

. PORQUÉ ES IMPORTANTE INCORPORAR INFORMACIÓN DE FALLAS NEOTECTÓNICAS EN LOS ESTUDIOS DE AMENAZA SÍSMICA?

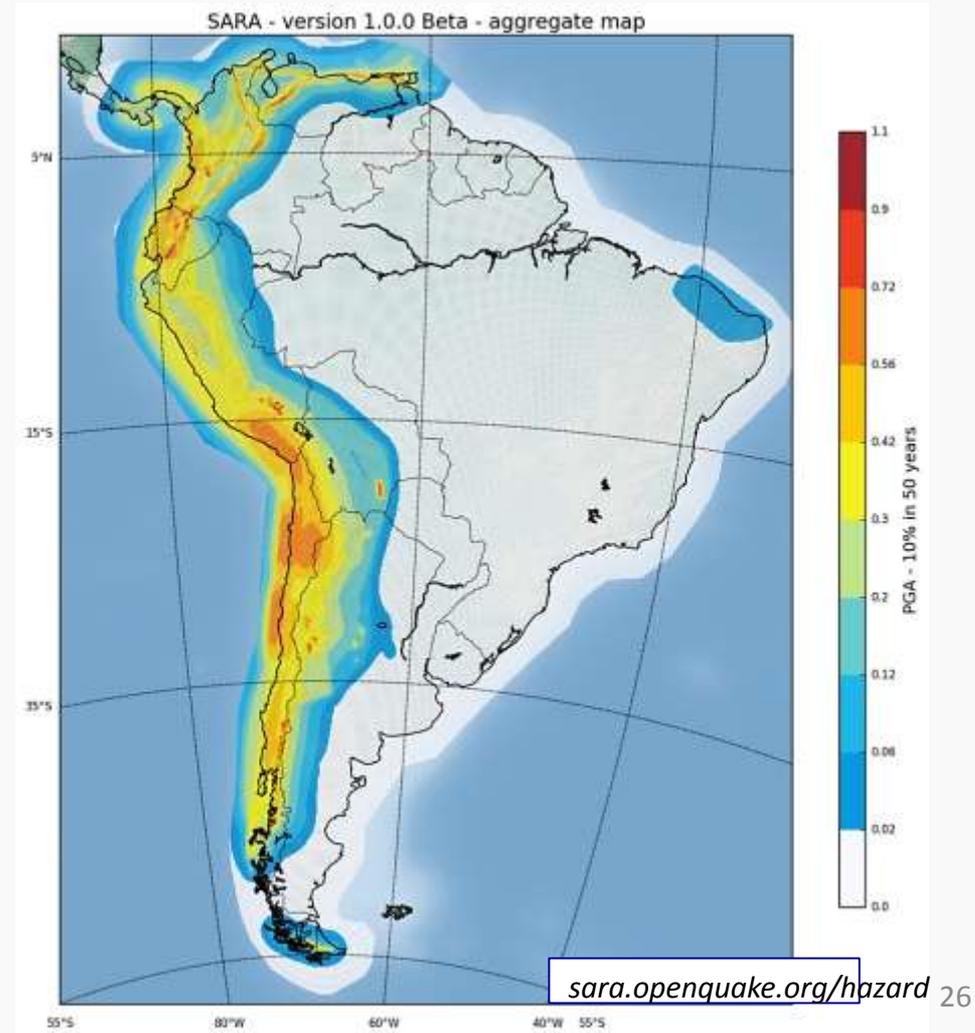
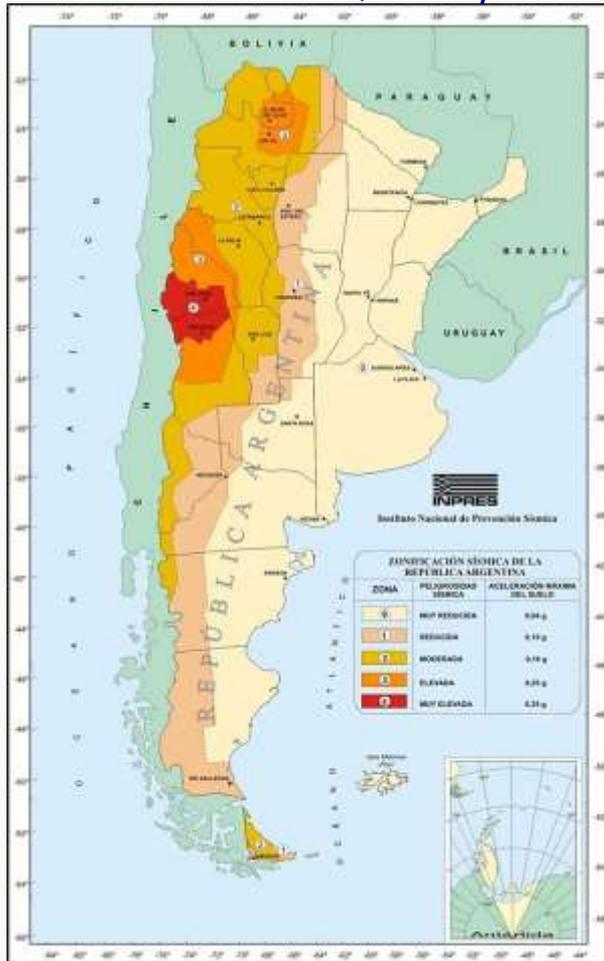
2. EXTENSIÓN DEL INTERVALO TEMPORAL DE LA BASE DE DATOS

. ES LA SISMICIDAD ACTUAL LO SUFICIENTEMENTE REPRESENTATIVA DEL POTENCIAL SISMICO REGIONAL, O HAN OCURRIDO EN ÉPOCAS PREHISTÓRICAS CRISIS SÍSMICAS MAYORES QUE LAS REGISTRADAS EN LOS CATALOGOS SÍSMICOS?

. LA AUSENCIA DE SISMICIDAD O LA SISMICIDAD ACTUAL MODERADA, ES SINÓNIMO DE UN POTENCIAL SÍSMICO MODERADO O DESPRECIABLE?

• **SIN EMBARGO**, LA INFORMACIÓN SOBRE FALLAS Y ACTIVIDAD SÍSMICA PREHISTÓRICA NO HA SIDO USUALMENTE TENIDA EN CUENTA COMO UN DATA LAYER PARA EL ANÁLISIS DE LA AMENAZA SÍSMICA

(SITING DE FACILIDADES CRÍTICAS, ORDENAMIENTO TERRITORIAL, NORMAS SISMORESISTENTES, ETC.)

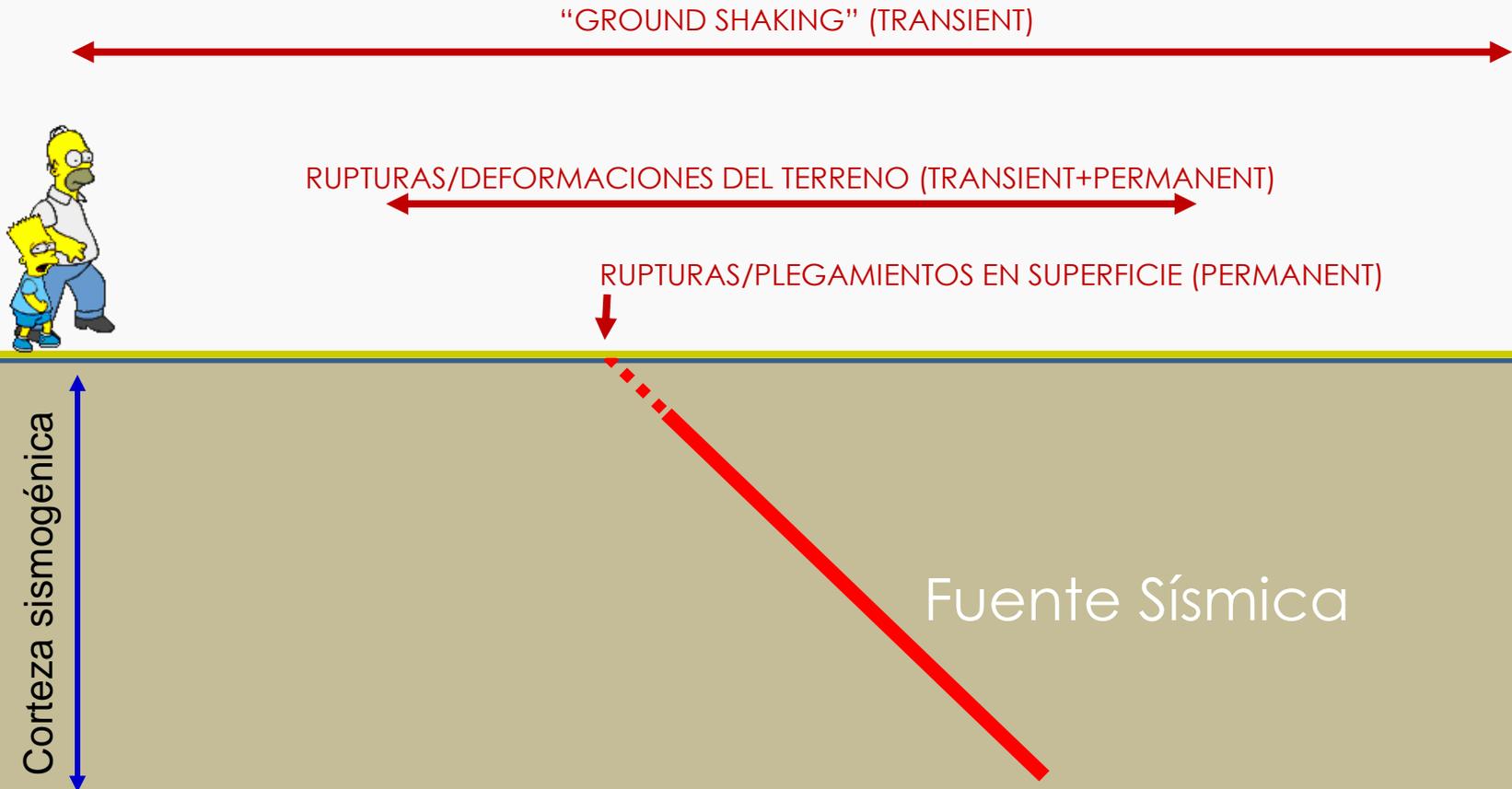


PROBLEMÁTICA DE LA INCORPORACIÓN DE DATOS GEOLÓGICOS

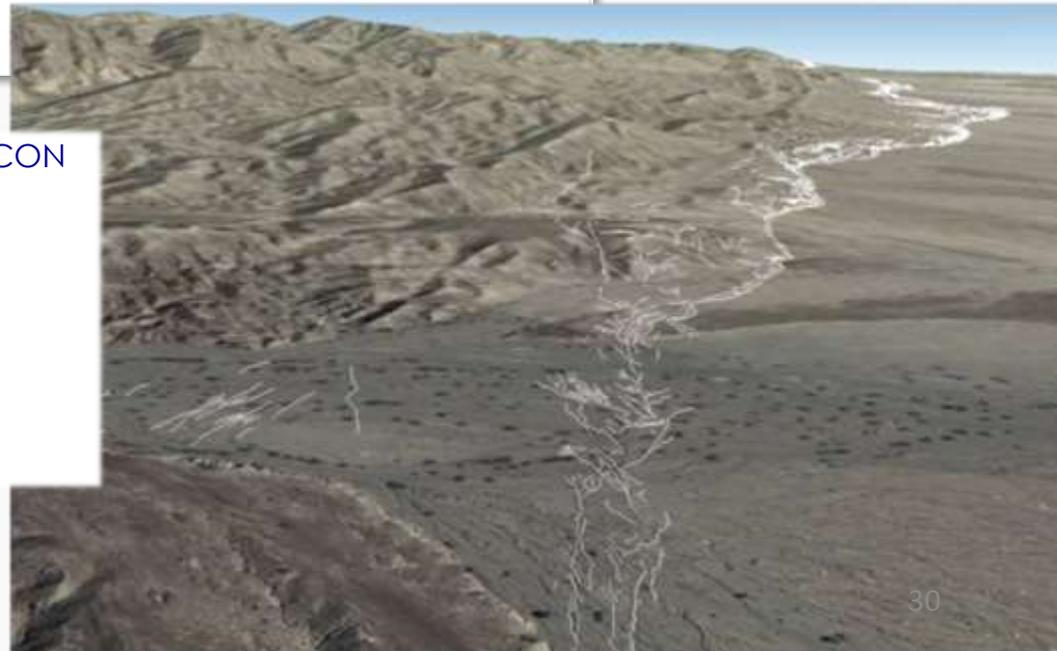
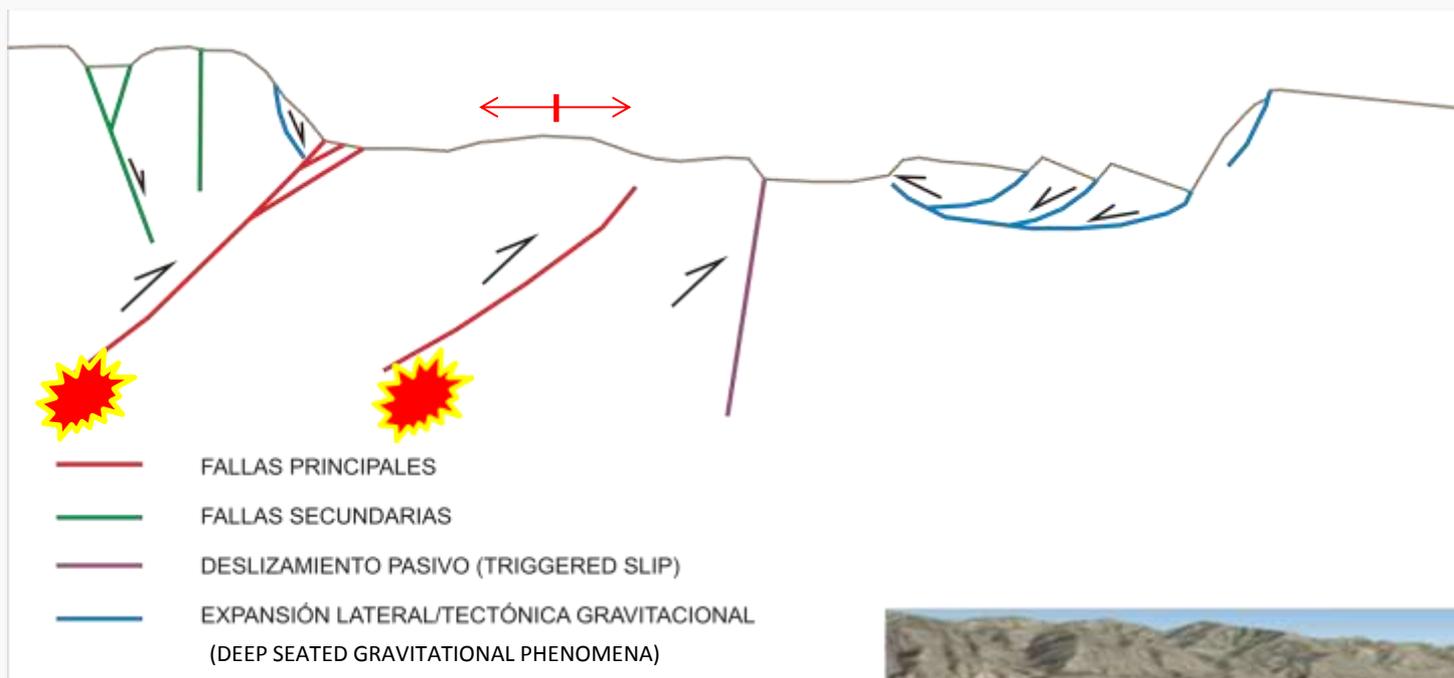
- . INCERTIDUMBRES SIGNIFICATIVAS; INFORMACIÓN CONTRADICTORIA O DE DIFÍCIL VALIDACIÓN
- . CRONOGRAMAS Y PRESUPUESTOS LIMITADOS PARA EL DESARROLLO/MADUREZ DE DATOS
- . AVANCES Y NUEVOS CONCEPTOS COLISIONAN CON REGULACIONES YA ESTABLECIDAS
- . PARADIGMAS QUE RESPONDEN A OTROS CONTEXTOS GEOLÓGICOS
- . FORMATO INADECUADO PARA REQUERIMIENTOS DEL MODELADO DE LA AMENAZA

TIPOS DE DEFORMACIONES EN SUPERFICIE DE ORIGEN SÍSMICO

- . FALLAMIENTO PRINCIPAL
- . FALLAMIENTO SECUNDARIO
- . FALLAMIENTO INDUCIDO POR PASO DE ONDAS (TRIGGERED-SLIP)
- . DEFORMACIONES ASOCIADAS A GROUND SHAKING (EXPANSIÓN LATERAL, LICUEFACCIÓN, ETC)



PRINCIPALES TIPOS DE DEFORMACIONES DEL TERRENO ASOCIADAS A SISMOS



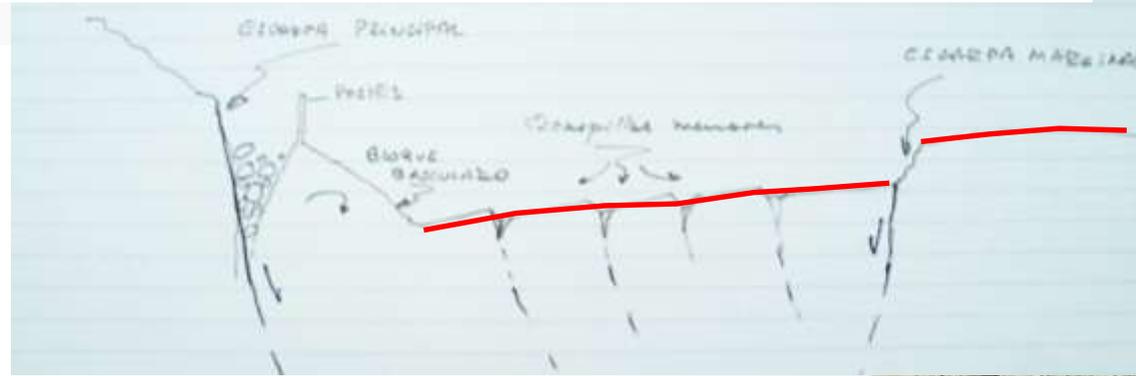
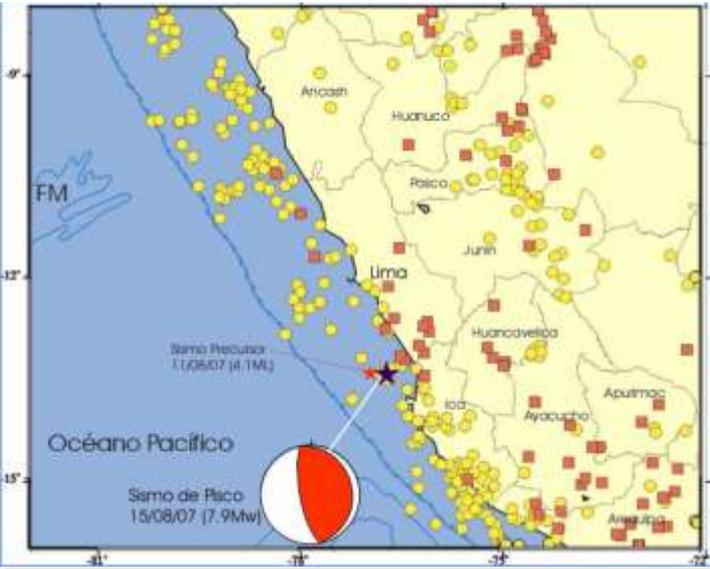
. AVANCES Y NUEVOS CONCEPTOS QUE COLISIONAN CON REGULACIONES YA ESTABLECIDAS:

. NO TODA FUENTE SISMOGÉNICA TIENE EXPRESIÓN EN SUPERFICIE

. NO TODA DEFORMACIÓN EN SUPERFICIE DE ORIGEN SÍSMICO CORRESPONDE A UNA FUENTE SISMOGÉNICA

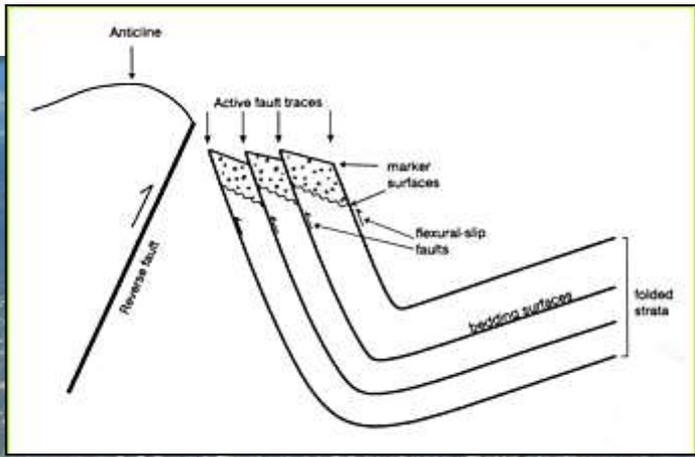
Foro 1749 6.10.07

• AVANCES Y NUEVOS CONCEPTOS COLISIONAN CON REGULACIONES YA ESTABLECIDAS



. FALLAMIENTO PRINCIPAL VS. FALLAMIENTO SECUNDARIO: FLEXURAL-SLIP/BEDDING-PARALLEL FAULTS.

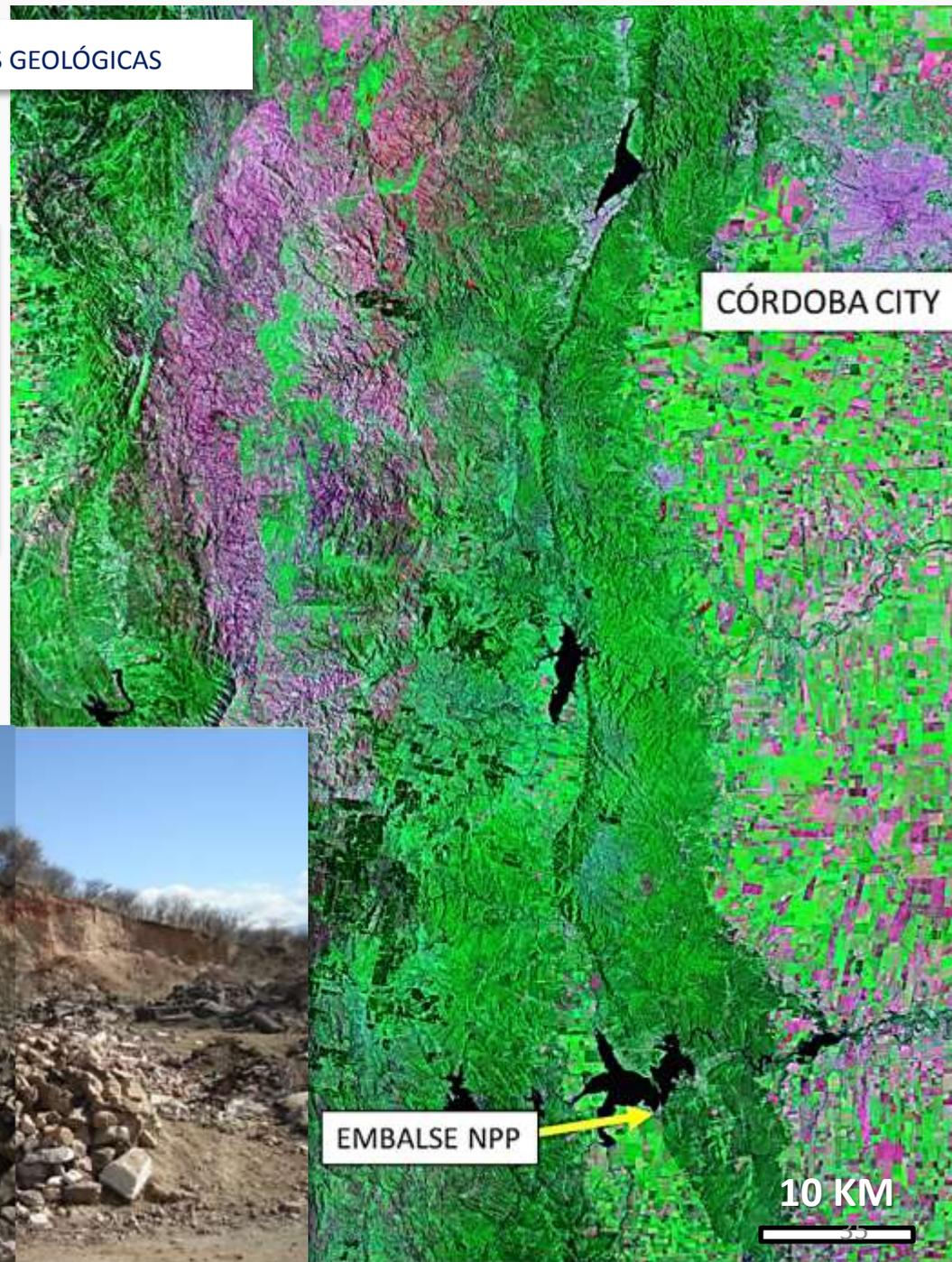
EL MOCHO, SAN JUAN, ARGENTINA



. PROBLEMÁTICA DE LA INCORPORACIÓN DE DATOS DE FALLAS GEOLÓGICAS

. PARADIGMAS IMPORTADOS DE OTROS
CONTEXTOS GEOLÓGICOS

. AVANCES Y NUEVOS CONCEPTOS
COLISIONAN CON REGULACIONES YA
ESTABLECIDAS

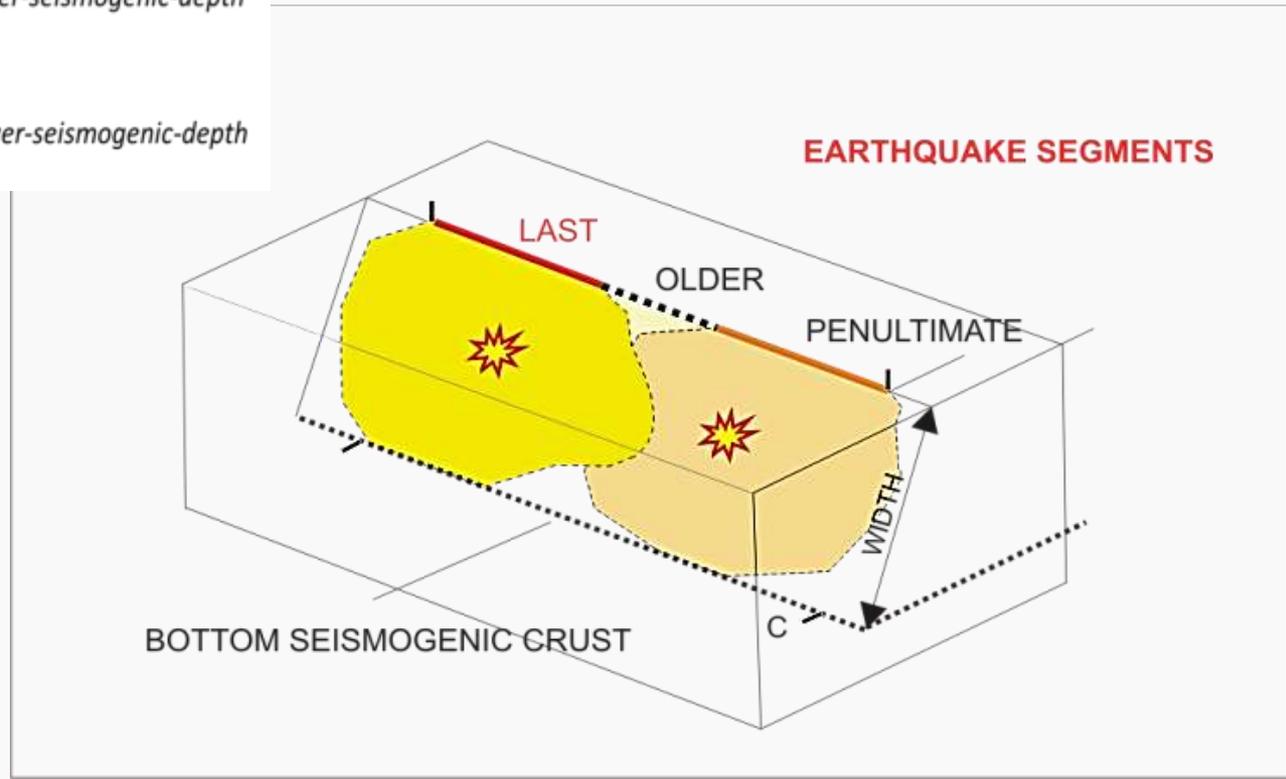
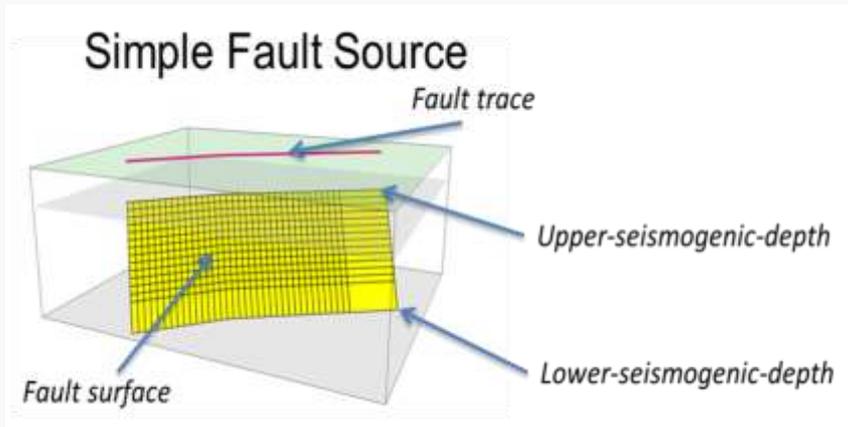


GEOLOGIST FOR SCALE



CARTOGRAFÍA DE FALLAS COMO FUENTES SISMOGÉNICAS POTENCIALES

IDENTIFICAR POSIBLES SEGMENTOS DE RUPTURA UNITARIA



. VIEJOS PARADIGMAS, NUEVOS AVANCES Y LA COMUNICACIÓN DE LOS DATOS GEOLÓGICOS

. NORMATIVAS/PROCEDIMIENTOS MUY ARRAIGADOS QUE CONFUNDEN/SOBRESIMPLIFICAN CONCEPTOS E IMPLICANCIAS DE LOS DATOS:

EL PROBLEMA DE LA “FALLA ACTIVA”

ACTIVIDAD VS. PELIGRO DE FALLAS

. ACTIVIDAD Y PELIGRO SIGNIFICAN LO MISMO ???

. LA ACTIVIDAD MÁS RECIENTE DE UNA FALLA, ES SIEMPRE SINÓNIMO DE MAYOR PELIGRO ???

QUÉ ES UNA FALLA ACTIVA?

EXISTEN MUCHAS DEFINICIONES Y EL TÉRMINO TIENE SIGNIFICADOS MUY DIFERENTES

.. FALLA QUE REGISTRA ANTECEDENTES HISTORICOS O SISMOLOGICOS DE ACTIVIDAD Y/O QUE TIENE UNA EXPECTATIVA DE RECURRENCIA EN UN INTERVALO DE TIEMPO SEMEJANTE A LA EXPECTATIVA DE VIDA HUMANA (SLEMMONS, 1977, WALLACE, 1986).

. FALLA CON EVIDENCIAS DE SISMICIDAD HISTÓRICA (VARIOS GRUPOS)

. FALLA QUE REGISTRA ACTIVIDAD EN EL HOLOCENO (ALQUIST-PRIOLO PROTOCOL, 1979)

. FALLA CON DESPLAZAMIENTOS MULTIPLES EN LOS ULTIMOS 500.000 AÑOS, O CON UN SOLO DESPLAZAMIENTO EN LOS ULTIMOS 50.000 AÑOS (CAPABLE FAULT). (U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION)

. FALLA CON DESPLAZAMIENTOS EN LOS ULTIMOS 100.000 AÑOS. (U.S. BUREAU OF RECLAMATION)

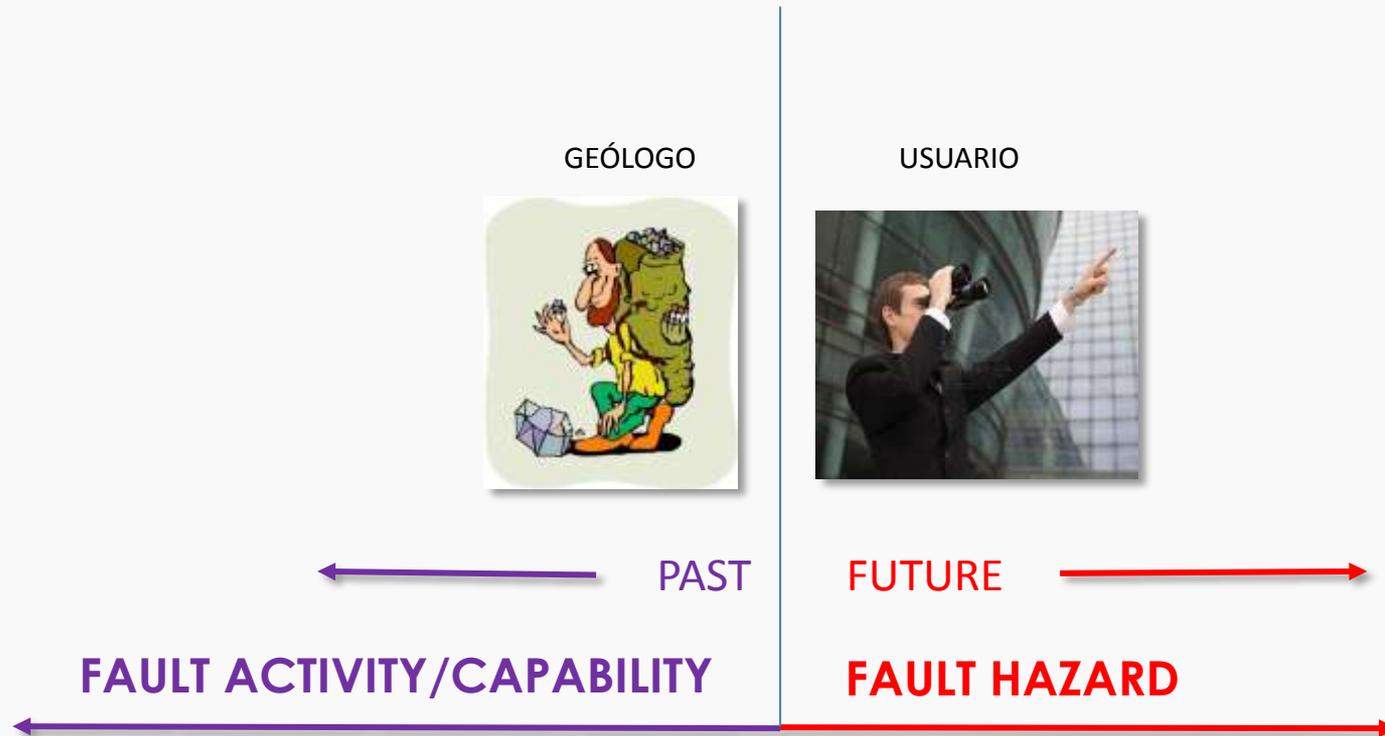
. FALLA CON DESPLAZAMIENTOS EN LOS ULTIMOS 35.000 AÑOS. (U.S. ARMY ENGINEERING CORPS)

. FALLA CON ACTIVIDAD DURANTE EL PLEISTOCENO SUPERIOR-HOLOCENO (ACTIVE FAULTS RESEARCH GROUP, JAPÓN)

FALLAS PELIGROSAS VS. FALLAS 'ACTIVAS'

. PROBLEMÁTICA DE LA COMUNICACIÓN DE DATOS DE FALLAS GEOLÓGICAS

* QUE INFORMACIÓN NECESITA EL USUARIO?..... ESTÁ BIEN PLANTEADA LA PREGUNTA?.....



SHORT RECURRENCE INTERVAL FAULT (INTERPLATE)

LONG RECURRENCE INTERVAL FAULTS (INTRAPLATE)



FAULT B (LESS "ACTIVE")

FAULT A (MORE "ACTIVE")

LESS HAZARDOUS?

MORE HAZARDOUS?

YEARS

1.000

500

0

100

YEARS

(Costa 2009)

FAULT 'ACTIVITY' VS. FAULT HAZARD: NOT ALWAYS IMPLY THE SAME CONCEPT.
PARTICULARLY FOR AREAS WITH MEDIUM-LONG RECURRENCE INTERVAL

CARTOGRAFÍA NEOTECTÓNICA

PRINCIPALES TIPOS

- SINÓPTICA
- DE COMPILACIÓN
- REGIONAL
- DETALLE/SEMIDETALLE

REFERENCIAS PARA MAPAS NEOTECTÓNICOS

- REFERENCIAS GENERALES:

- SÍMBOLOS Y RASTRAS UTILIZADOS EN MAPAS GEOLÓGICOS

- REFERENCIAS PARTICULARES:

- SÍMBOLOS O RASTRAS PARA INDICAR FENÓMENOS O EVIDENCIAS AREALES, LINEARES Y PUNTUALES

MAPAS NEOTECTÓNICOS

- . “TAYLORING/CUSTOMIZING”: ADAPTAR LOS CRITERIOS Y HERRAMIENTAS DE REPRESENTACIÓN A LO QUE SE QUIERE MOSTRAR EN GENERAL Y DESTACAR EN PARTICULAR.
- . CONSIDERAR QUIENES VAN A LEER/UTILIZAR EL MAPA
- . CONFECCIÓN DE CARTOGRAFÍA Y GRÁFICOS: MITAD TÉCNICA-MITAD ARTE

. DIFERENTES TIPOS DE ATRIBUTOS PARA UTILIZAR EN UN MAPA

- . GROSOR DE LÍNEAS
- . COLORES
- . TIPO DE TRAZO
- . SIMBOLOGÍA –FLECHAS. LÍNEAS, ETC.-

. QUE DEBE DESTACAR LA CARTOGRAFÍA PARA SER DE UTILIDAD A DIFERENTES USUARIOS?

- . TIPO DE ESTRUCTURA
- . CALIDAD Y CONFIABILIDAD DE LA INFORMACIÓN
- . GRADO DE EXPOSICIÓN
- . RASGOS MORFOLÓGICOS ASOCIADOS
- . RASGOS DIAGNÓSTICOS VS. RASGOS NO DIAGNÓSTICOS
- . JERARQUIZAR INFORMACIÓN PRINCIPAL DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA (DIRIGIR LA ATENCIÓN DEL USUARIO HACIA LO MÁS IMPORTANTE)

DISCRIMINACIÓN SEGÚN EXPOSICIÓN DE LA ESTRUCTURA

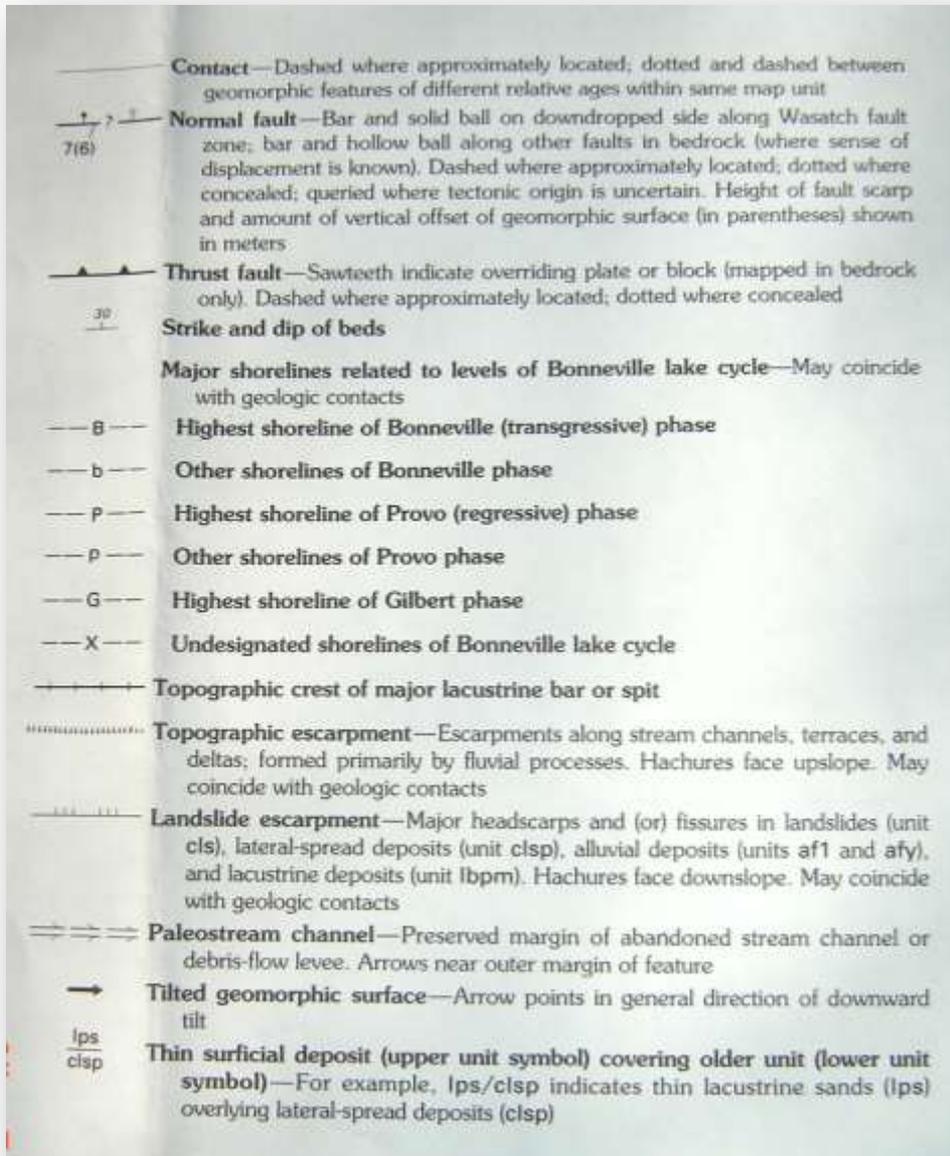
- . EMERGENTE, EXPUESTA, EXHUMADA : ESTRUCTURA EXPUESTA POR LEVANTAMIENTO/EROSIÓN
- . CIEGA (BLIND): FALLA PROPAGANTE CON “TIP POINT” NO EMERGENTE (CON DIFERENTES RELACIONES LEVANTAMIENTO VS EROSIÓN/SEDIMENTACIÓN)
- . CUBIERTA (BURIED/CONCEALED): ESTRUCTURA CON MORFOLOGÍA Y TRAZO OSCURECIDO POR SEDIMENTACIÓN POSTERIOR AL MOVIMIENTO.

DISCRIMINACIÓN SEGÚN CONFIABILIDAD DE LA INFORMACIÓN (RESPECTO A LA PRESENCIA DE LA ESTRUCTURA O A LA ACTIVIDAD)

- . OBSERVADA
- . INFERIDA (Respecto a la existencia)
- . PROBABLE (Respecto a la actividad)

Lettis et al. (1997)

In paleoseismology, blind thrust faults differ from buried thrust faults. Blind thrust faults are those in which the propagating tip of the fault does not reach the Earth's surface because (1) the fault geometry precludes it, (2) the fault tip has not yet reached the surface, or (3) the rate of sedimentation is higher than the rate of propagation of the fault tip. Buried thrust faults are those where the fault trace at the Earth's surface has been obscured by subsequent deposition and/or erosion. In this study, we are concerned with both blind and buried thrust faults as potential sources of earthquakes. For the purpose of this discussion only and because our data base cannot accurately differentiate between these types of faults, we use the term "blind" thrust fault to encompass both types of thrust faults. The question addressed in this study is whether reverse earthquakes on thrust faults, in general, produce recognizable surface deformation or whether some or all of these faults are truly "blind" to the eye of the paleoseismologist.



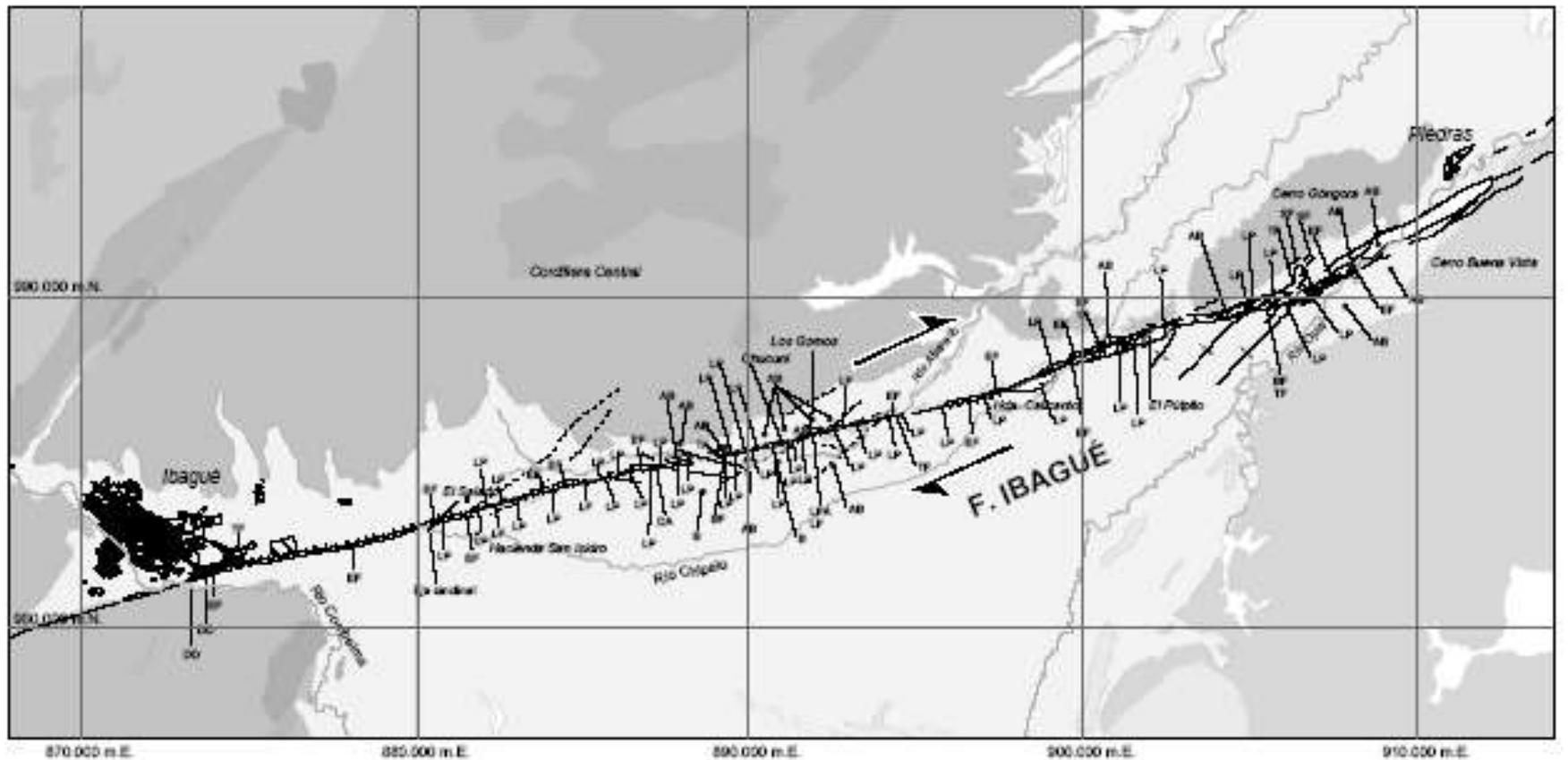
中央構造線活断層系(四国地域) ストリップマップ(その2)
 STRIP MAP OF THE MEDIAN TECTONIC LINE
 ACTIVE FAULT SYSTEM IN SHIKOKU (Part 2)



24 7 2006

CARTOGRAFÍA NEOTECTÓNICA DE DETALLE-SEMIDETALLE

IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES AREALES, LINEARES Y PUNTUALES



LEYENDA

LFA: LAGO DE FALLA ACTIVO
 LF: LAGO DE FALLA
 LP: LOMO DE PRESIÓN
 AB: ABOMBAMIENTO
 BF: BERMA DE FALLA
 EF: ESCARPE DE FALLA
 TF: TRINCHERA DE FALLA

● AB: ABOMBAMIENTO
 ▲ H: HUNDIMIENTO
 ● B: BASCULAMIENTO
 SF: SILLETA DE FALLA
 DD: DRENAJE DESPLAZADO
 DA: DRENAJE ALINEADO

----- LINEAMIENTO
 — FALLA IBAGÜE
 X ANTICLINAL
 X SINCLINAL

Depósitos cuaternarios
 Abanico de Ibagué
 Rocas y depósitos sedimentarios del Paleógeno y Neógeno.
 Rocas volcánicas del Neógeno
 Rocas sedimentarias del Cretácico.
 Batolito Ibagué de edad Jurásico
 Rocas metamórficas del Paleozoico
 Rocas metamórficas del Precámbrico

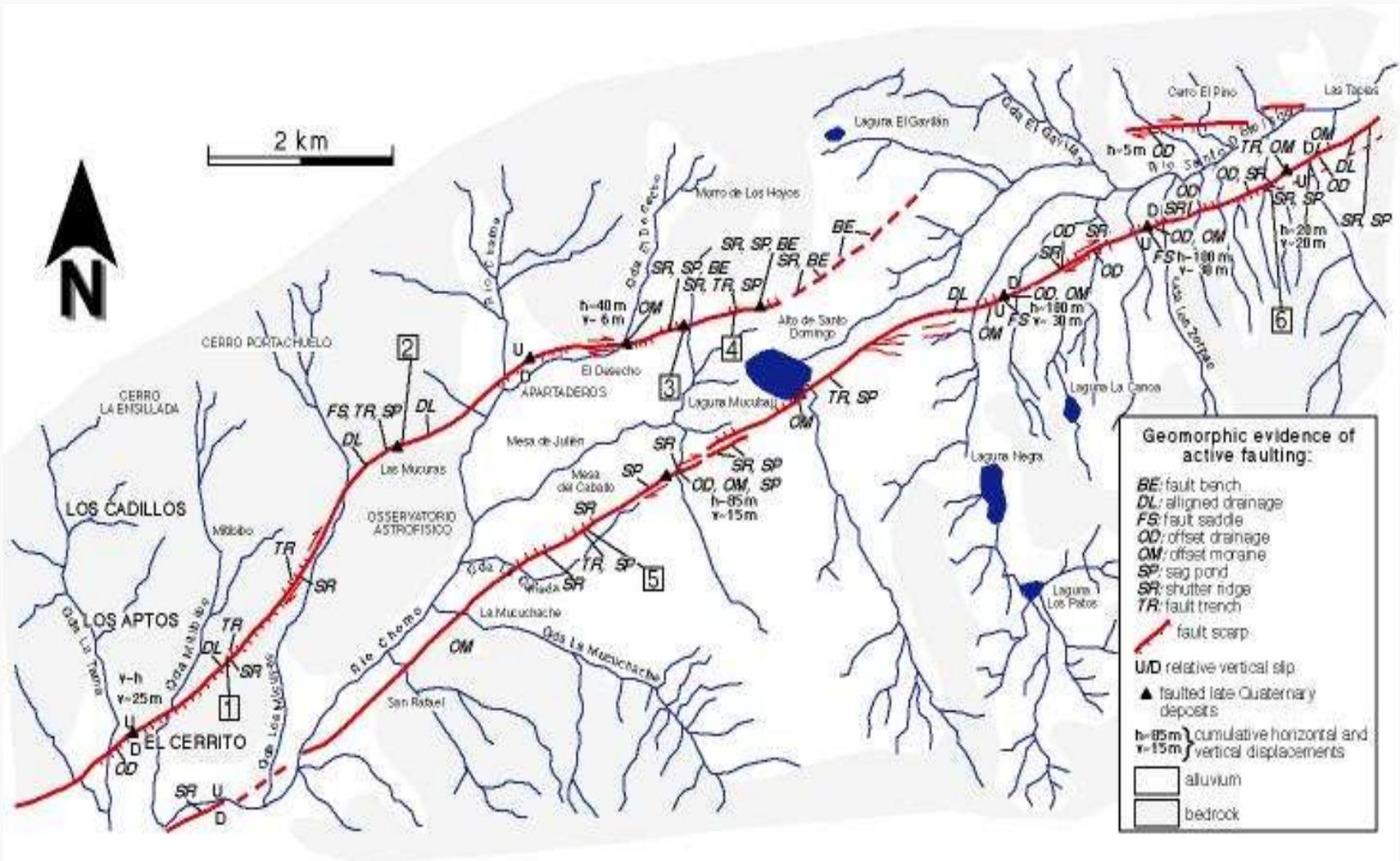
0 5 10 km



Diederix et al. (2006)

CARTOGRAFÍA NEOTECTÓNICA DE DETALLE-SEMIDETALLE

IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES AREALES, LINEARES Y PUNUALES



Audemard et al. (1999)

Confiabilidad de la información (diferente grosor de líneas)

-  Estructura con actividad comprobada
-  Estructura con actividad probable (Histórica, Holocena, Cuaternaria)

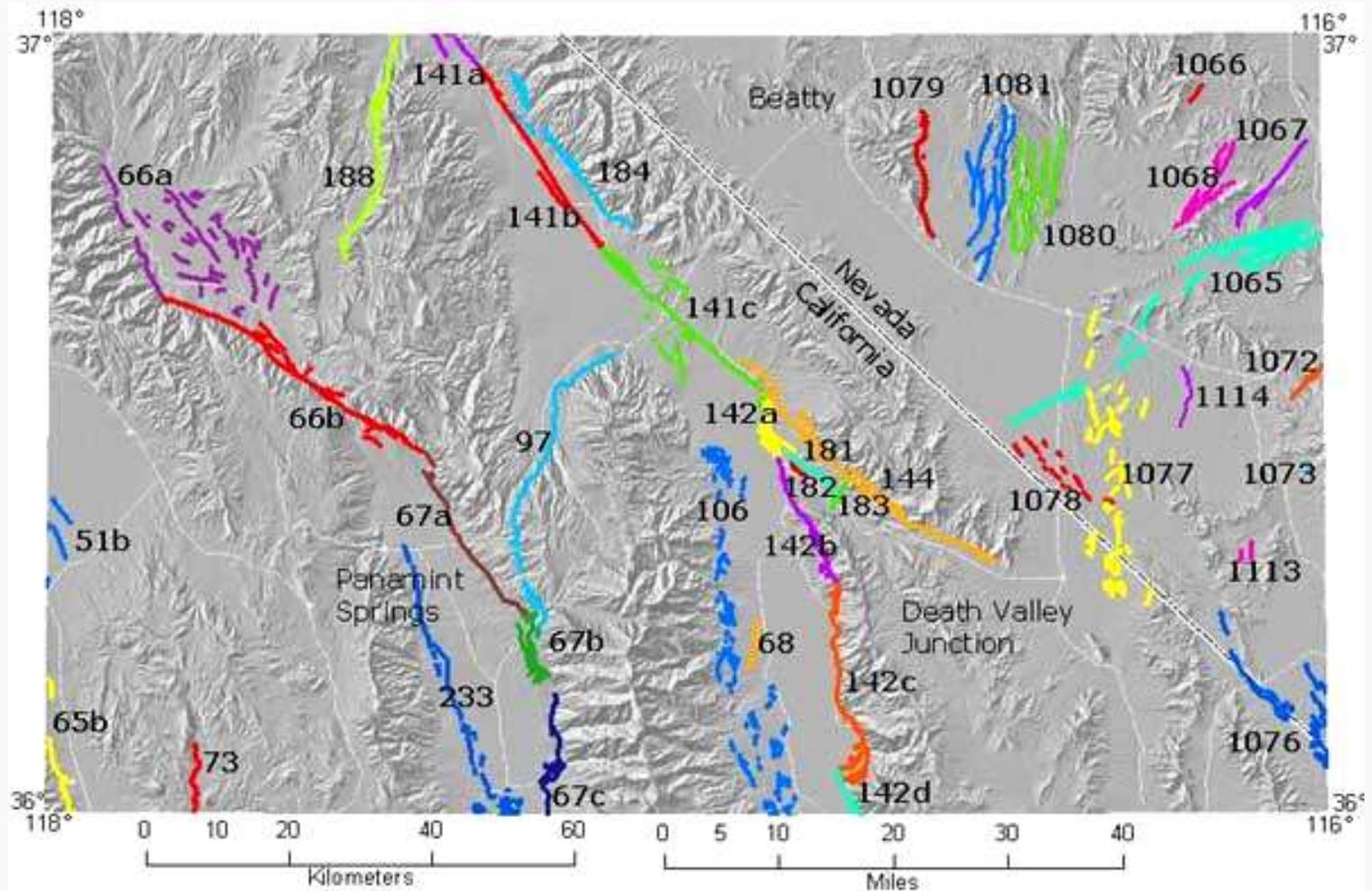
Edad del último movimiento

-  Estructuras con actividad histórica
-  Estructuras con actividad durante el Holoceno (< 11,5 ka)
-  Estructuras con actividad durante el Pleistoceno (< 1.8 Ma)
-  Estructuras con actividad durante el Cuaternario s.l.. (<1,8 Ma)

Otra información:

-  Fenómenos de Remoción en Masa inducidos por sismicidad
-  Fenómenos de Licuefacción inducidos por sismicidad
-  Fenómenos de alzamiento tectónico
-  Fenómenos de subsidencia tectónica

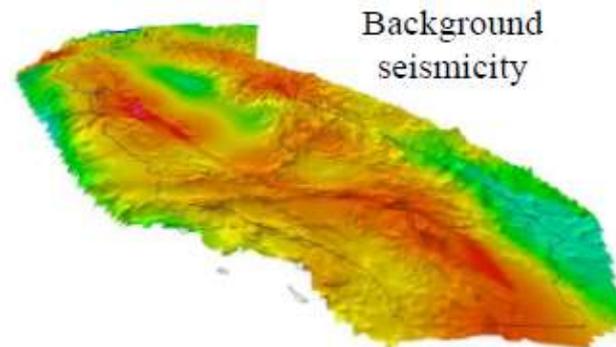
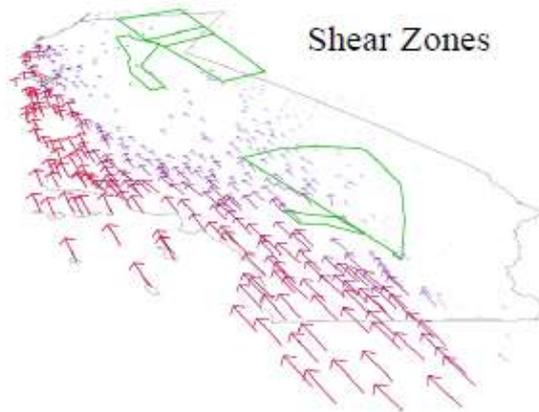
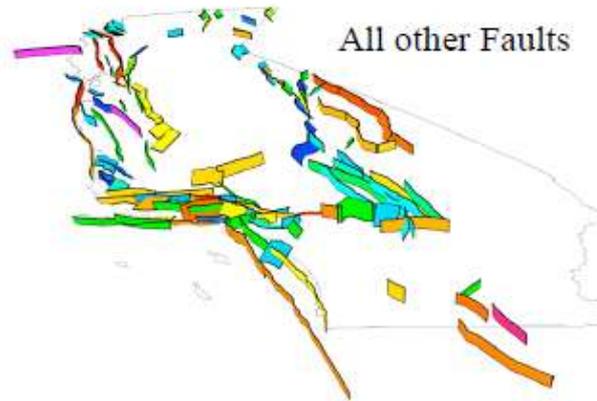
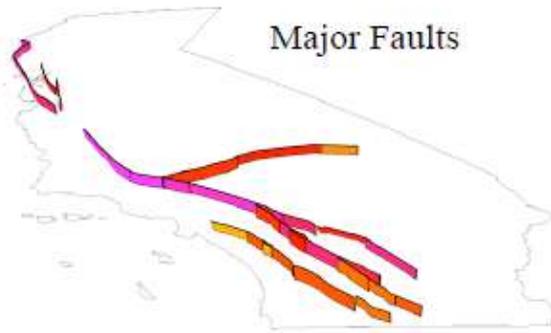
QUATERNARY FAULTS MAP AND DATA BASE



<http://earthquake.usgs.gov/hazards/qfaults/>

MAPAS NEOTECTÓNICOS COMO BASE PARA MAPAS DE METADATOS

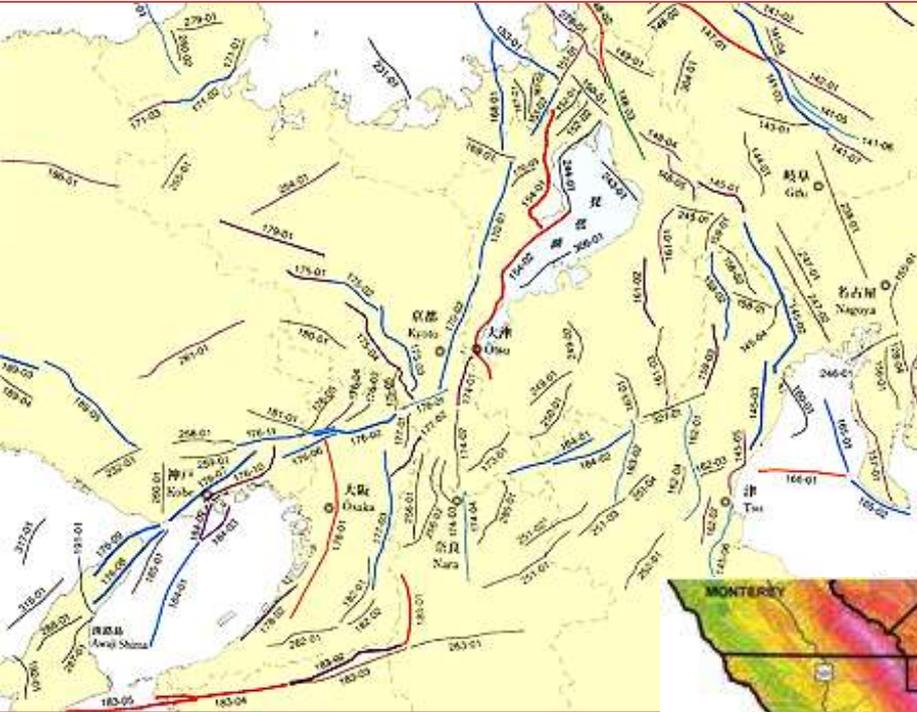
Putting it all together



Quake
rates on
known
faults

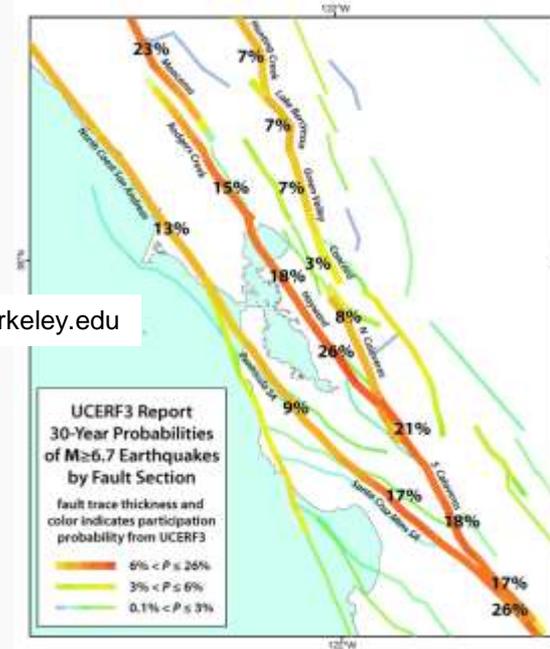
Quake
rates
elsewhere

MAPAS NEOTECTÓNICOS COMO BASE PARA MAPAS DE METADATOS

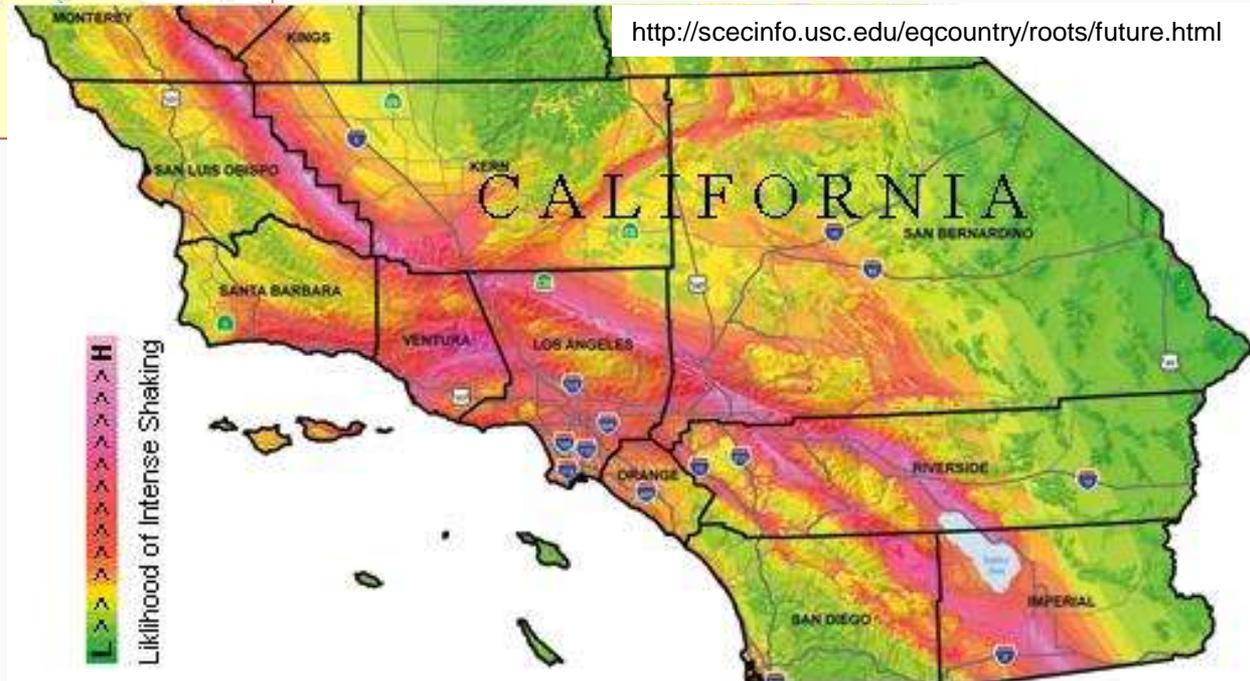


GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN
FAULT RUPTURE PROBABILITY MAP

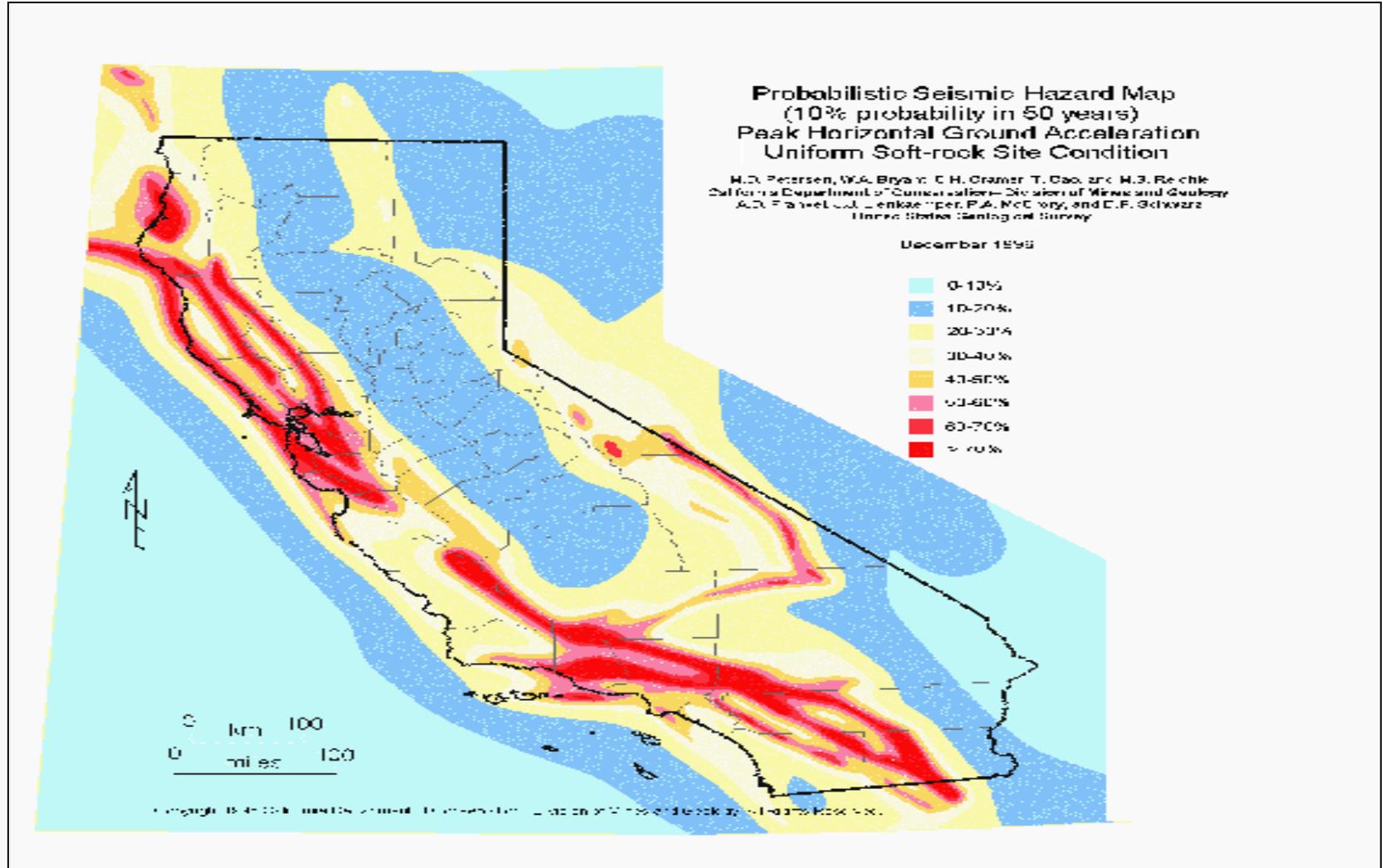
seismo.berkeley.edu



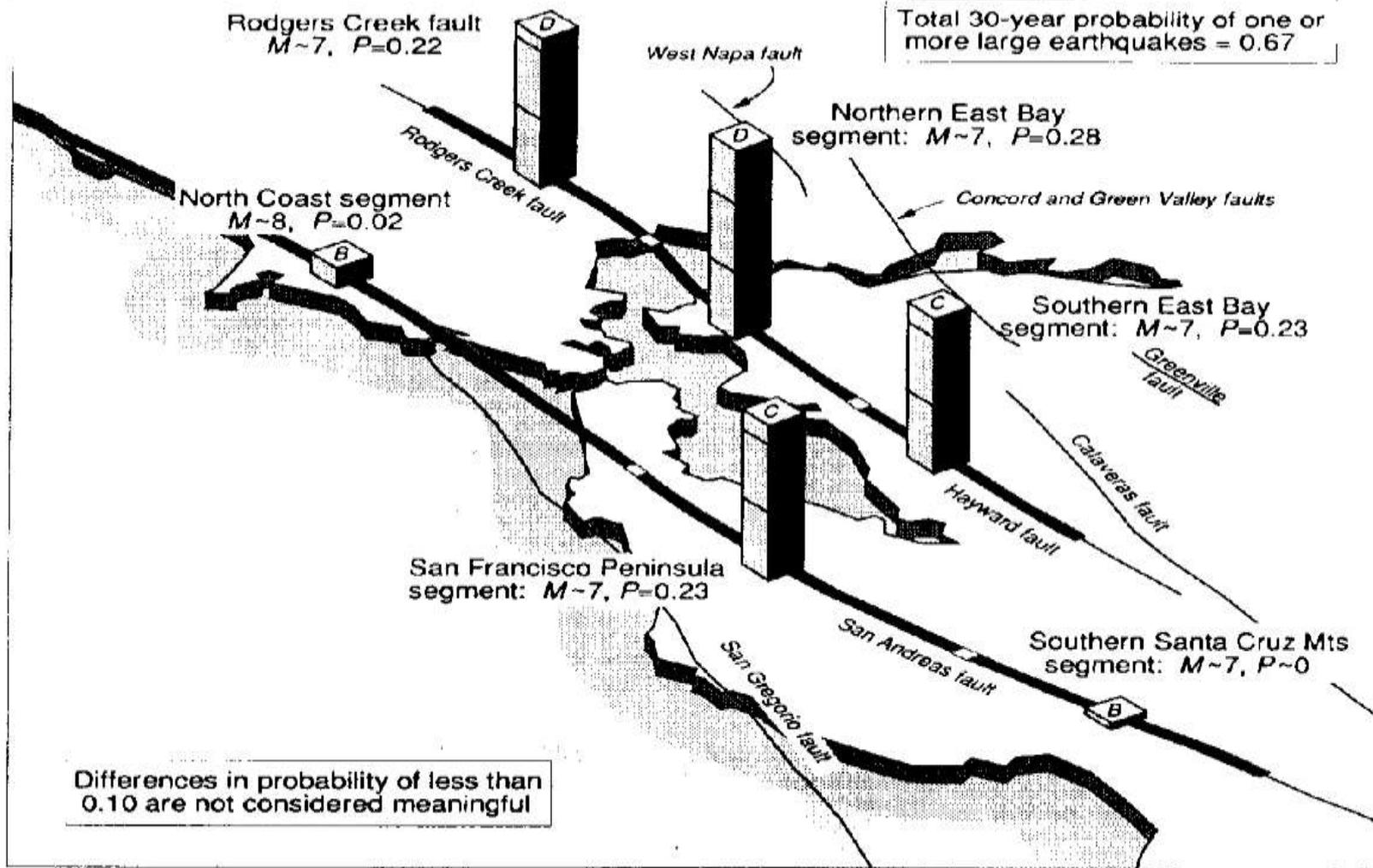
<http://sceinfo.usc.edu/eqcountry/roots/future.html>



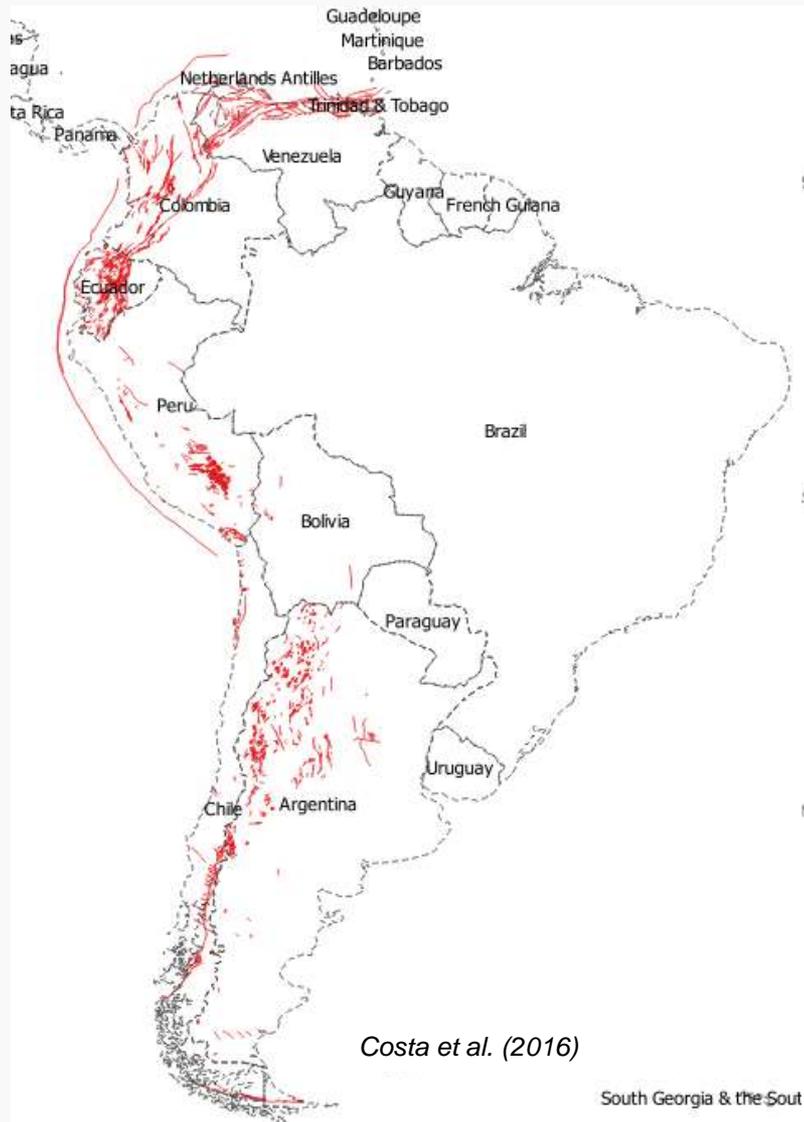
PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD MAPS



Total 30-year probability of one or more large earthquakes = 0.67

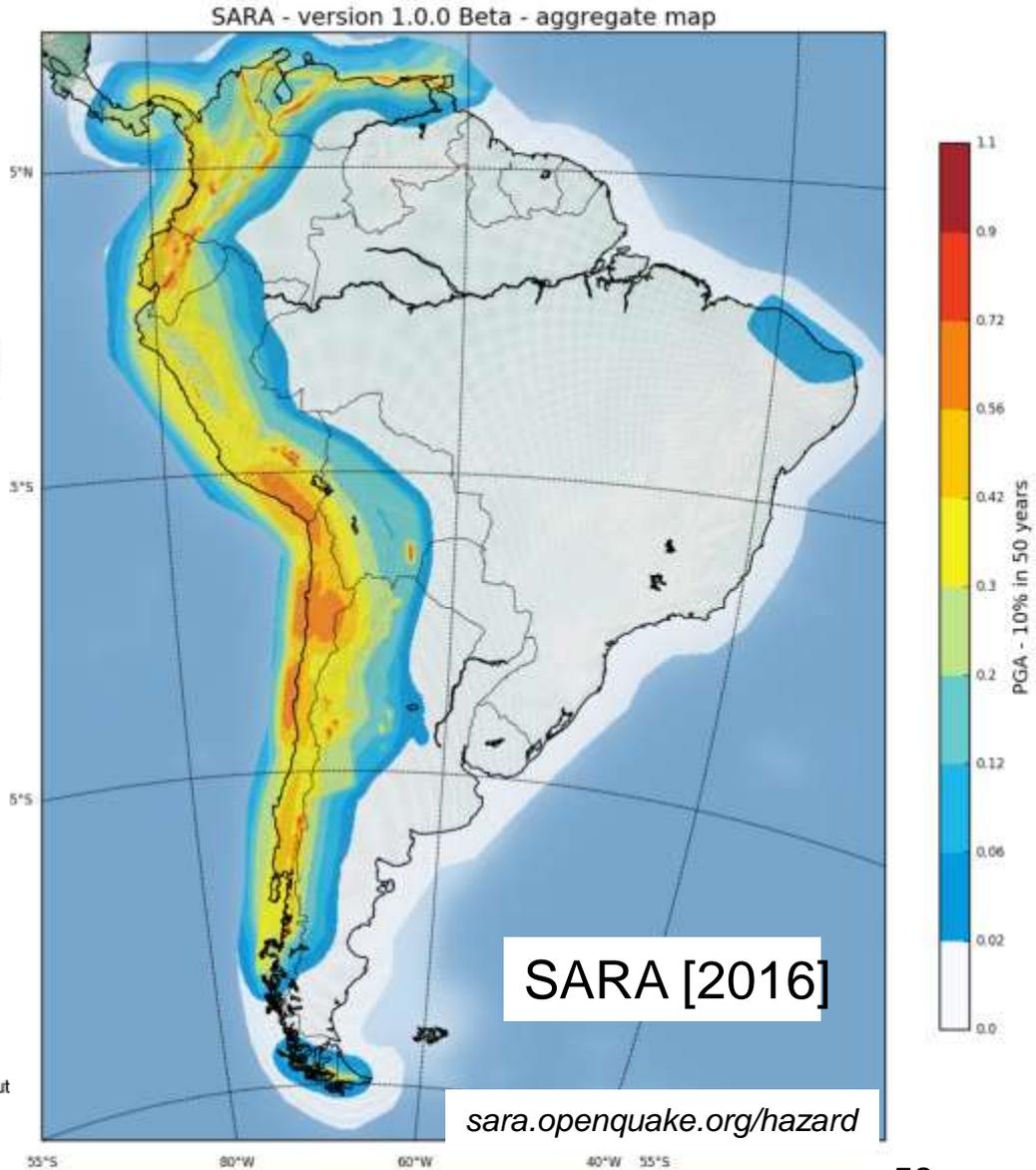


Differences in probability of less than 0.10 are not considered meaningful



Costa et al. (2016)

South Georgia & the South



SARA [2016]

sara.openquake.org/hazard

. DATOS NEOTECTÓNICOS/PALEOSISMOLÓGICOS
(SLIP RATE, ELAPSED TIME, TPM, RECURRENCIA)



. ANÁLISIS PROBABILÍSTICO/DETERMINÍSTICO DEL PELIGRO SÍSMICO
(PGA, TPM)



ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE DESPLAZAMIENTO DE FALLAS
(CO-SEISMIC SURFACE SLIP)



ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE DEFORMACIÓN TECTÓNICA EN SUPERFICIE)



MUCHAS GRACIAS!



Morelia, México