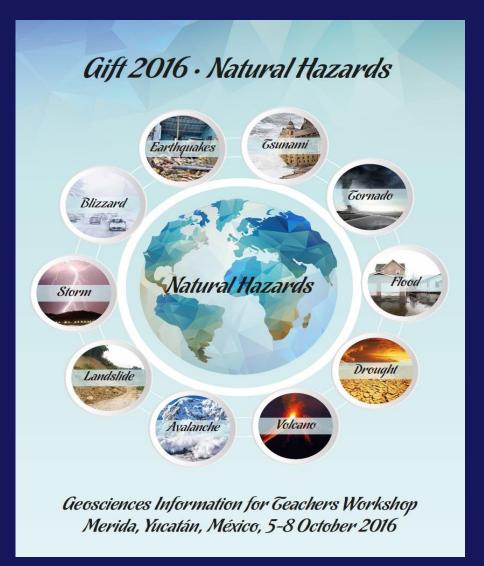
Origin of earthquakes in Latin America

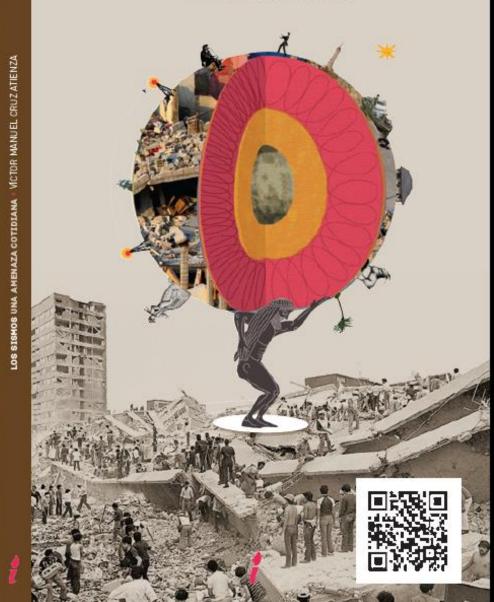


Raúl Madariaga Géosciences ENS y Universidad de Chile

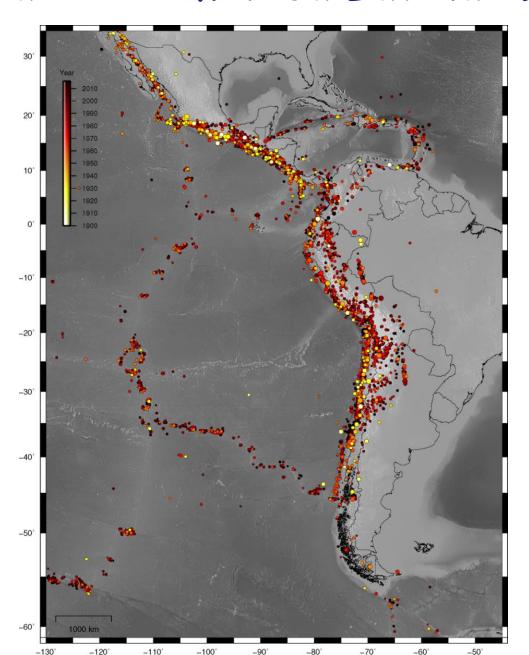
www.geologie.ens.fr/~madariag

LOS SISMOS UNA AMENAZA COTIDIANA

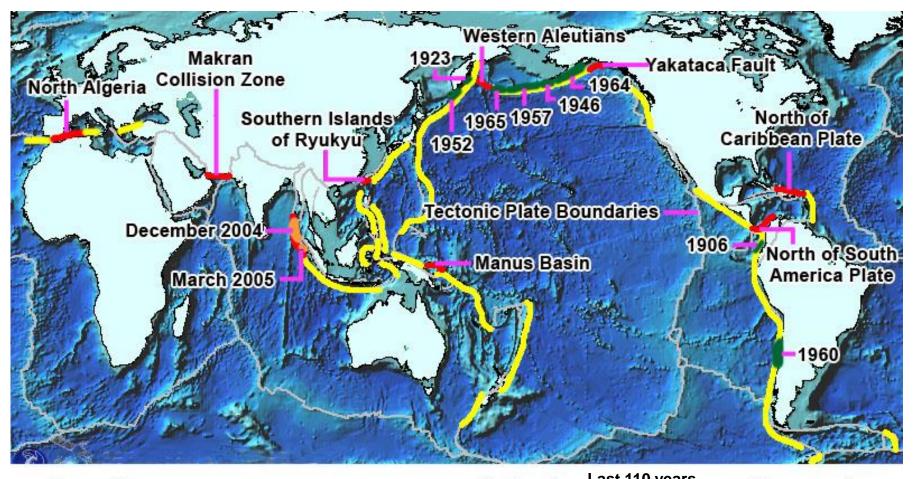
Víctor Manuel Cruz Atienza

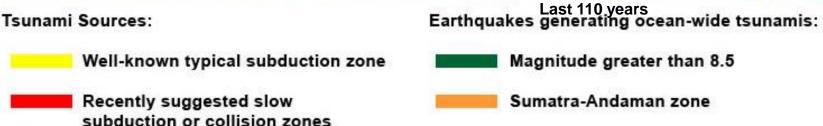


Sismicidad de America Latina 1990-2015

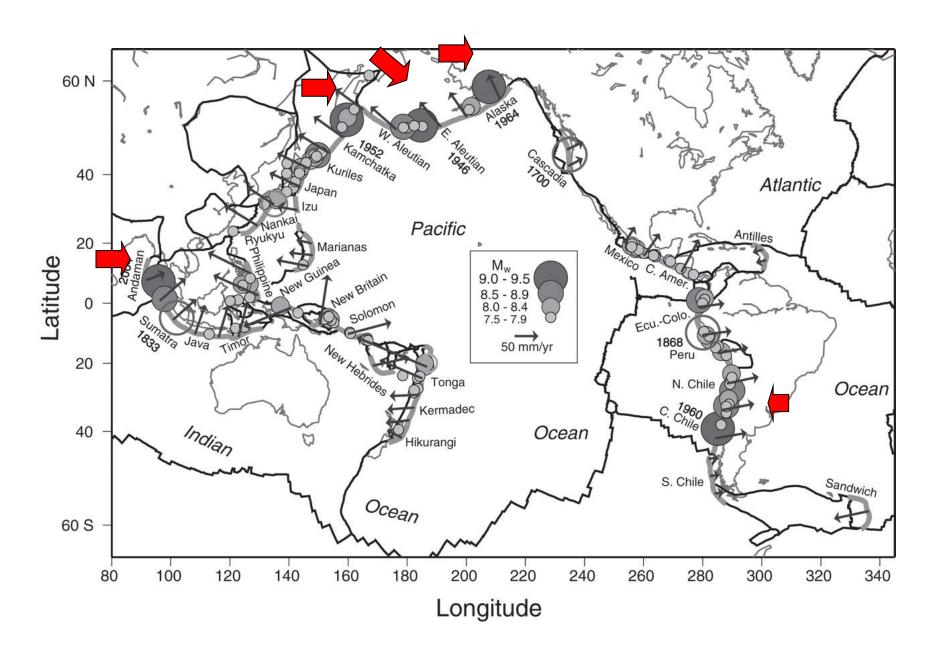


Las principales zonas de subducción





Grandes terremotos historicos



Los terremotos mas grandes desde 1900

Chile	22 Mai 1960	9 .75 38.2 S		73.1 W
Prince Williams Alaska	28 mars 1964	9.3	61 .9 N	147.6 W
Sumatra	26 Décembre 2004	9.1	3.30 N	95.8 E
Kamtchaka	4 Novembre 1952	9.0	52.8 N	160.1 W
Tohoku-oki	11 Mars 2011	9.0	38.3 N	142.5 E
Chile	27 Février 2010	8.8	35.6 S	72 W
Wharton Sea	11 Avril 2012	8.8	3.5 S	92.8 E
Colombia Ecuador	31 janvier 1906	8.8	1.0 N	81.5 W
Andreanoff, Alaska	9 Mars 1957	8.6	51.6 N	175.4 W
Rat Island, Aleutiennes	4 février 1965	8 .7	51.2 N	178.5 S

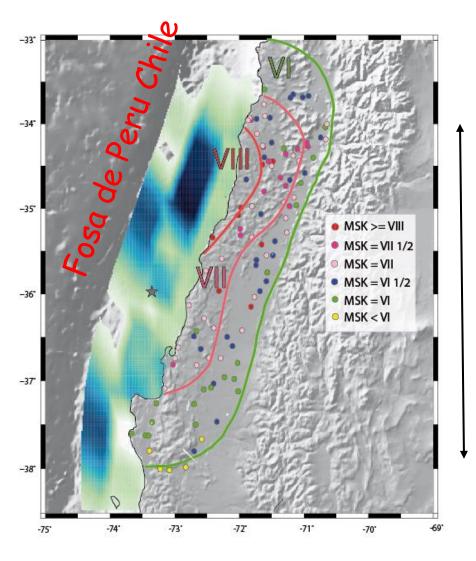
Magnitud: una medida logarítmica de la energía radiada por el terremoto

Magnitud de Gutenberg and Richter

 $M_{GR} \sim 2/3 \log E_r$

 E_r energía radiada por el terremoto

Sismo de Maule del 27 febrero 2010



Magnitud 8.8

Deslizamiento 5m hacia el mar

450 km

Gran Tsunami

Pocos daños directos

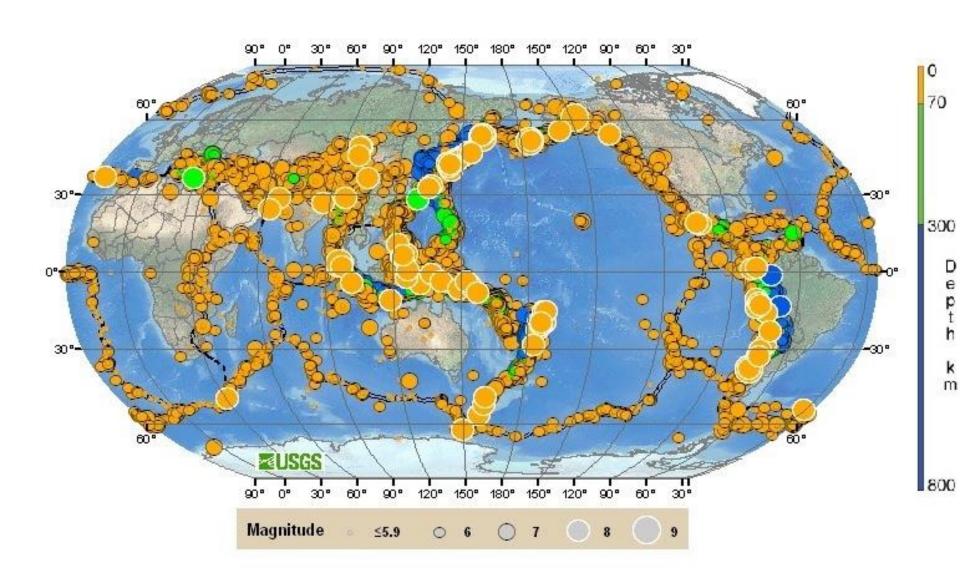
Noción de Intensidad (Mercalli)

I - Muy débil.	Imperceptible Aceleración menor a $0.5 \text{ Gal} = 0.5 \text{ cm/s}^{23} \frac{4}{3}$
II - Débil.	Perceptible solo por algunas personas en reposo,. Aceleración entre 0,5 y 2,5 Gal. 3 4
III - Leve.	Perceptible dentro de edificios altos. Aceleración entre 2,5 y 6,0 Gal. 4
IV - Moderado.	Perceptible por la mayoría de personas Aceleración entre 6,0 y 10 Gal. ³ ⁴
V - Poco fuerte.	Sacudida sentida casi por todas las personas Aceleración entre 10 y 20 Gal. ³ ⁴
VI - Fuerte.	Daños leves en viviendas de material ligero. Aceleración entre 20 y 35 Gal. ³ ⁴
VII - Muy fuerte.	Ponerse de pie es difícil. Daños considerables en estructuras pobremente construidas. Aceleración entre 35 y 60 Gal. 4
VIII - Destructivo.	Daños leves en estructuras especializadas. Daño severo en estructuras pobremente construidas. Aceleración entre 60 y 100 Gal. 4
IX - Muy destructivo.	Pánico generalizado. Daños graves en estructuras Aceleración entre 100 y 250 Gal. 3 4
X - Desastroso.	Vías ferroviarias dobladas. Destruccion de estructuras no antisismicas Aceleración entre 250 y 500 Gal. 4
XI - Muy desastroso.	Pocas estructuras permanecen en pie. Puentes destruidos Aceleración mayor a 500 Gal. 4
XII - Catastrófico.	Destrucción total con pocos

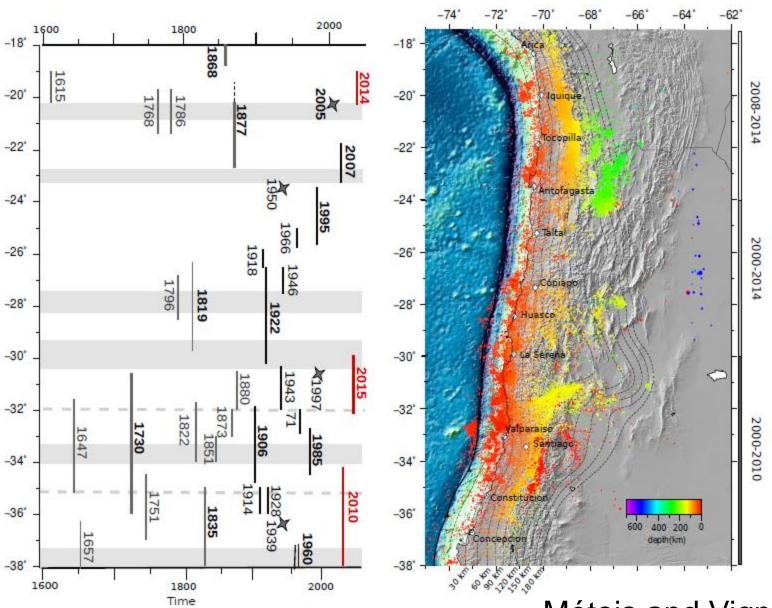
El mas grande Terremoto Valdivia 1960 Intensidad < X



Sismicidad mundial entre 1990-2010, Mw>5



Sismicidad historica y actual de Chile



Métois and Vigny 2016

Que es un terremoto?



Geometry of Landers fault system

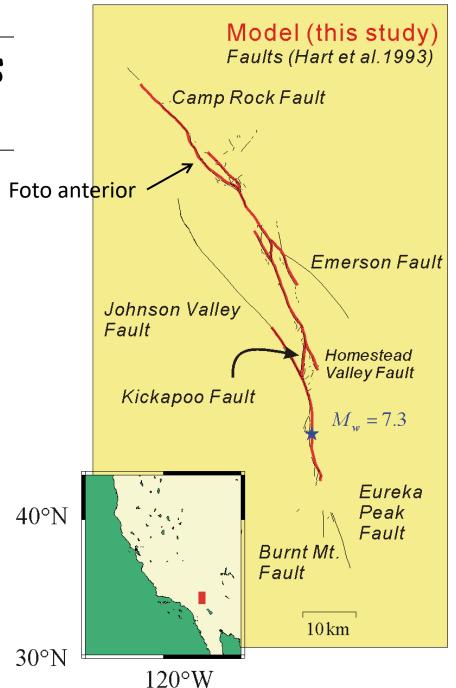
Figure shows the fault traces

(Hart et al., 1993)

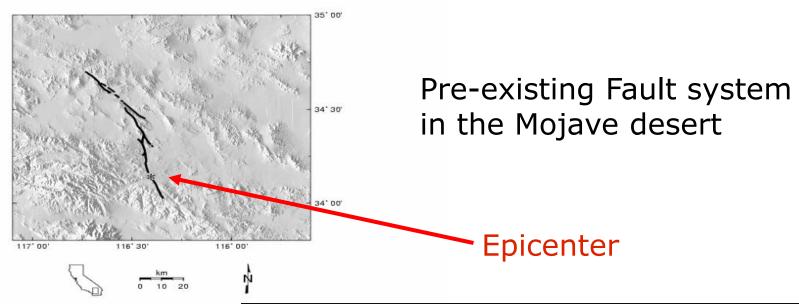
which ruptured during the 1992 earthquake,

and those which did not

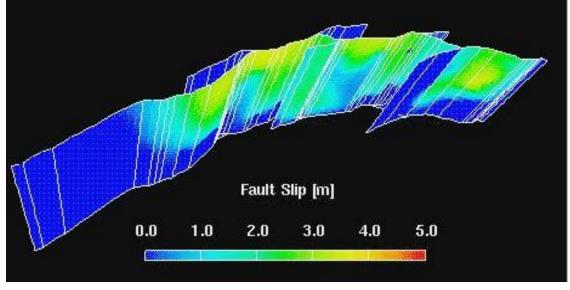
break then



Earthquakes as dynamic shear ruptures

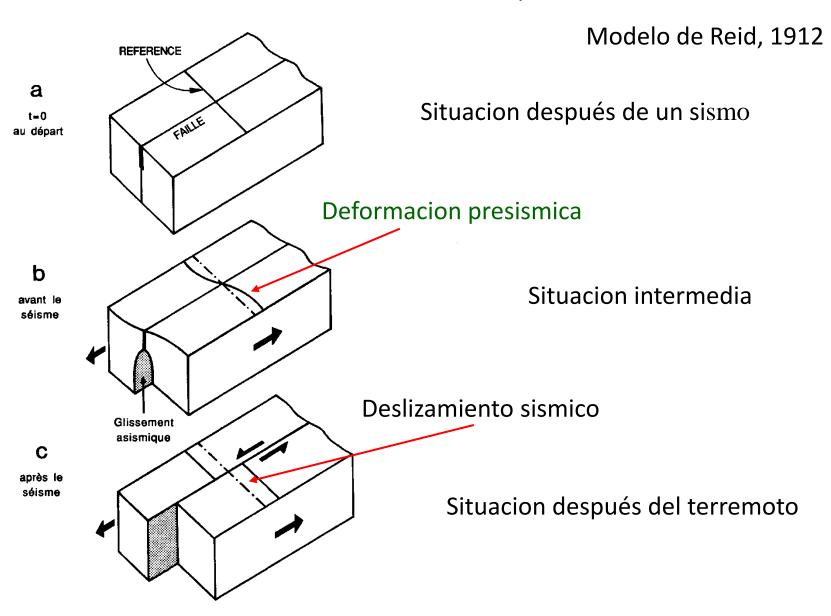


Final slip observed on the fault as determined from Geology, Geodesy and Seismology

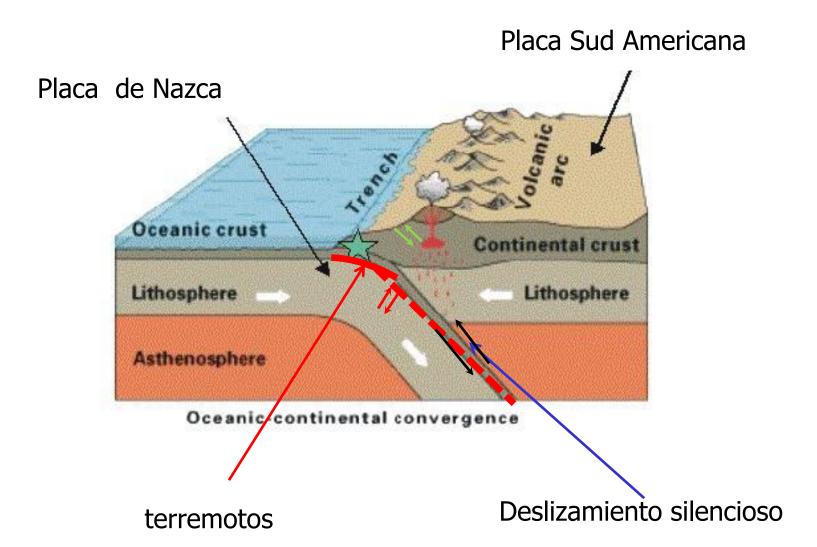


Modèle ENS (Peyrat, Aochi, Olsen, Madariaga)

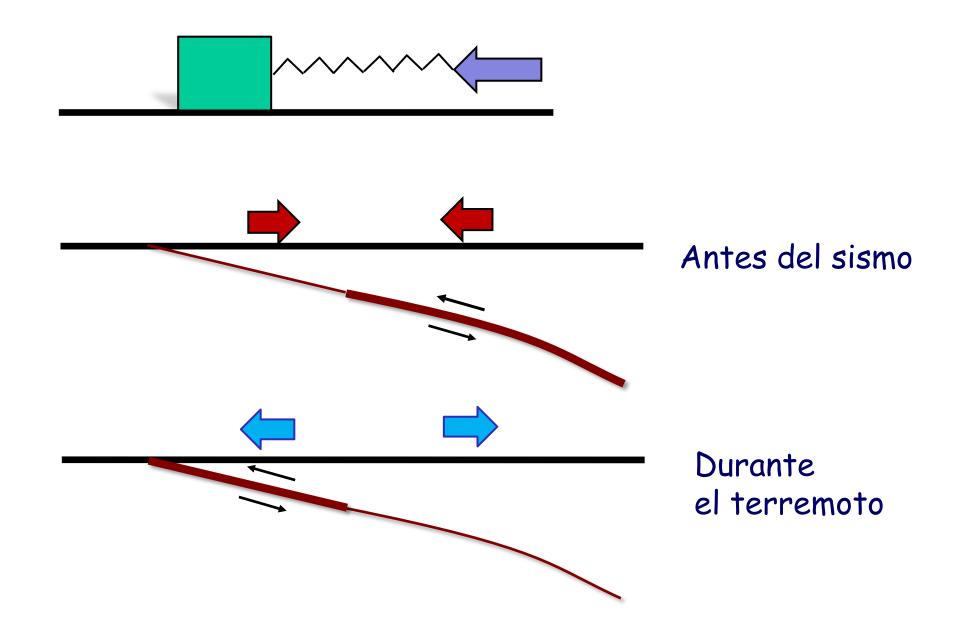
Modelo del rebote sismico



Origen de grandes terremotos chilenos



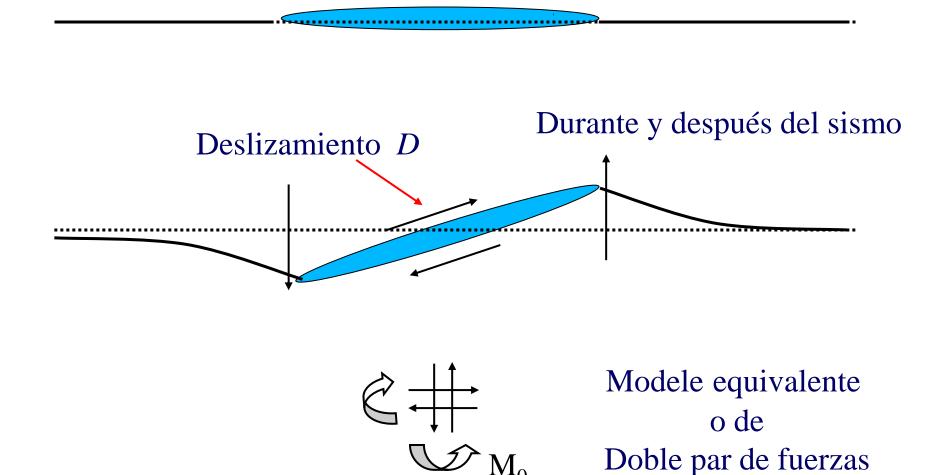
Modelo de Gatillo Elástico en zonas de subducción



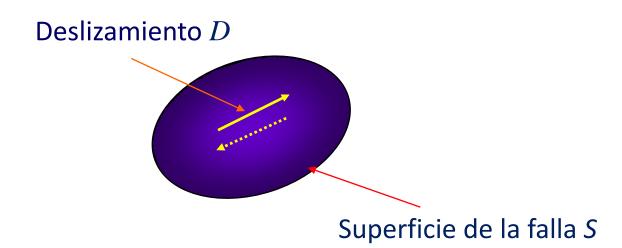
Que es un terremoto? II

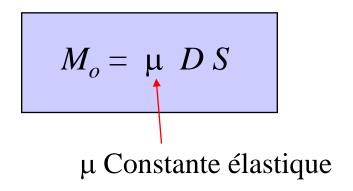
Modelo de ruptura sismica (dislocacion)

Antes del sismo



Définicion de Momento sismico





Ley de escala de los terremotos

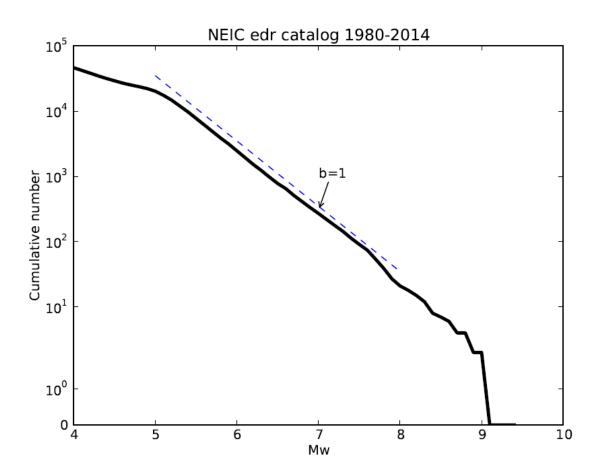
$$\log_{10} M_0(Nm) = 1.5M_w + 9.3$$

Magnitude	Moment	Longueur	Durée	Glissement	
(M_w)	(Nm)	(km)	(s)	(m)	
10	10^{24}	1000?	300?	100?	
9	3.10^{22}	300	100	30	
8	10^{21}	100	30	10	
7	3.10^{19}	30	10	3	
6	10^{18}	10	3	1	

Ley de Gutenberg Richter

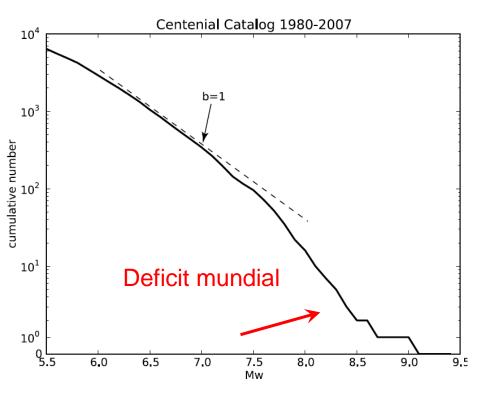
El logaritmo del numero N de sismos mayores a una cierta Magnitud crece como

$$Log N = a - b M$$

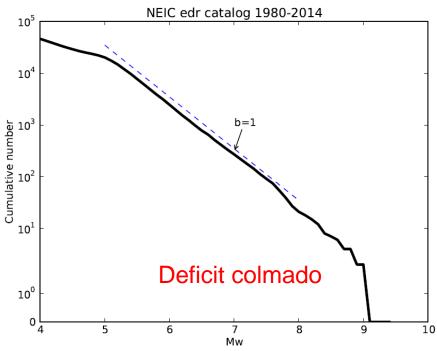


Ley de Gutenberg-Richter en el mundo

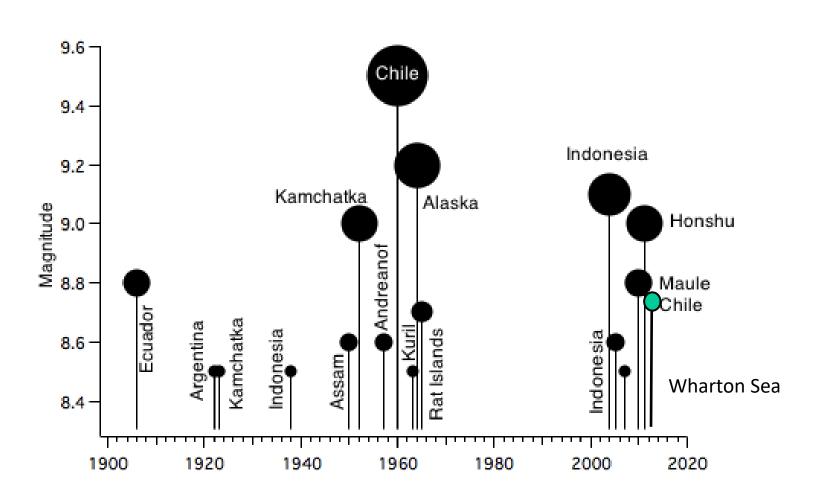
Situacion en 2008



Situacion en 2014



La sismicidad es aleatoria e imprevisible



El terremoto de Ecuador de 2016

Sismo de Muisne, Ecuador de 16 abril 2016 Situacion tectonica del sismo

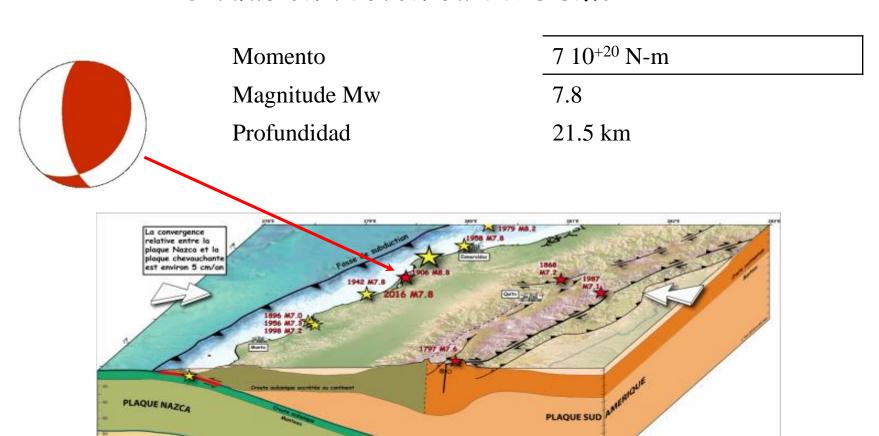
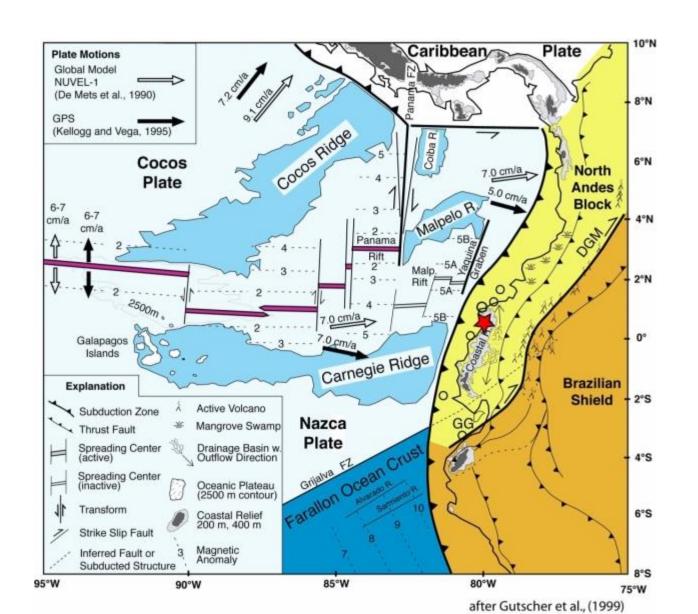


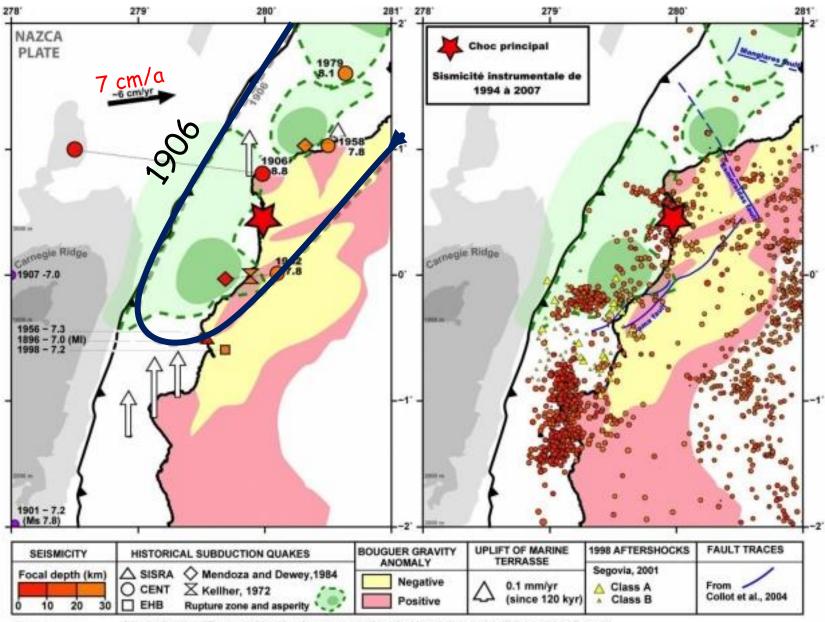
Schéma de la zone de falle sismogène interplaque capable de générer des méga-séismes

Traces de failles inverses // Traces de failles

Sismo de Muisne, Ecuador de 16 de abril de 2016 Magnitud 7.8

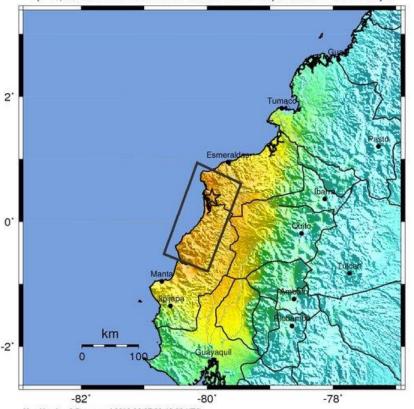


Sismicidad de Ecuador. Grandes y pequeños sismos



Distribucion de Intensidades del sismo de Muisne

USGS ShakeMap : NEAR THE COAST OF ECUADOR Apr 16, 2016 23:58:36 UTC M 7.8 N0.38 W79.92 Depth: 20.6km ID:us20005j32



Map Version 9 Processed 2016-06-27 22:18:28 UTC

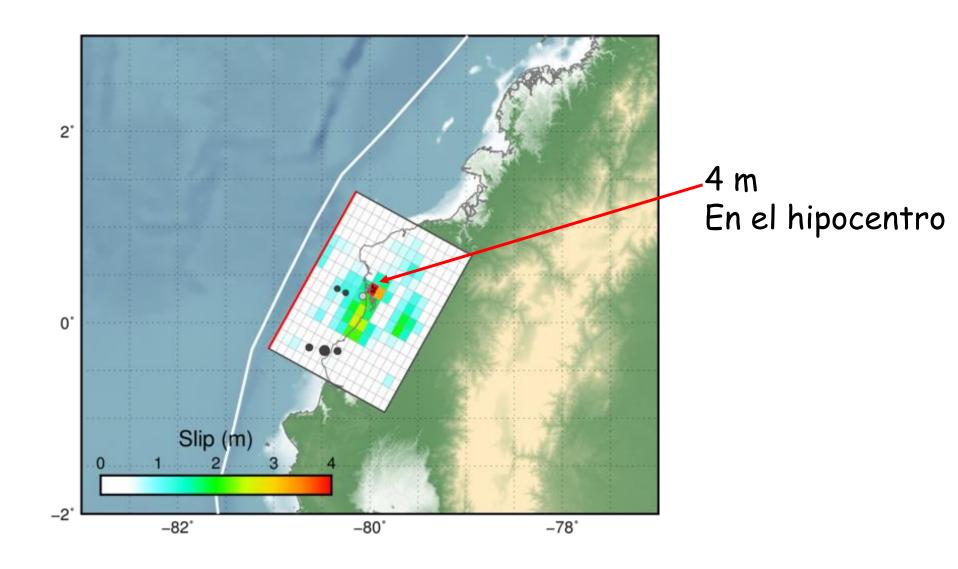
PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	9.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	-1	11-111	IV	V	VI	VII	VIII	1X	X+.



Colapso de estructuras



Distribucion de deslizamiento muy localizado

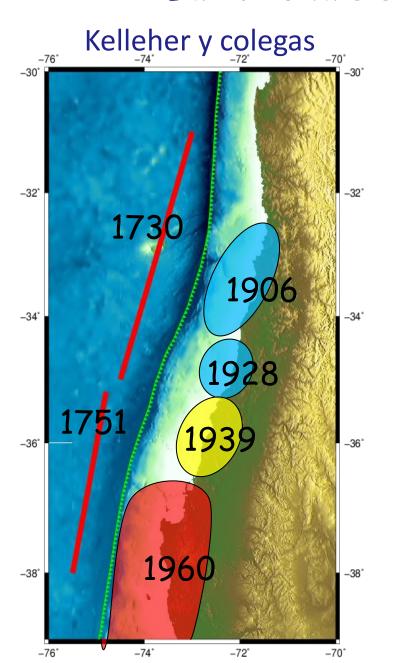


El gran terremoto del Maule de 2010

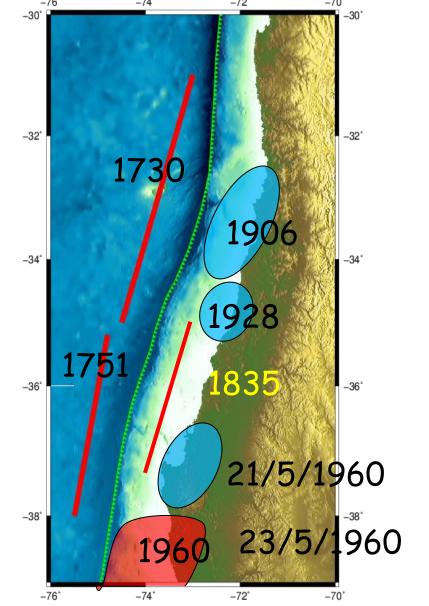
El mega terremoto Mw 8.8 de Maule en Chile central 27 de Febrero de 2010



La brecha sismica de Chile central

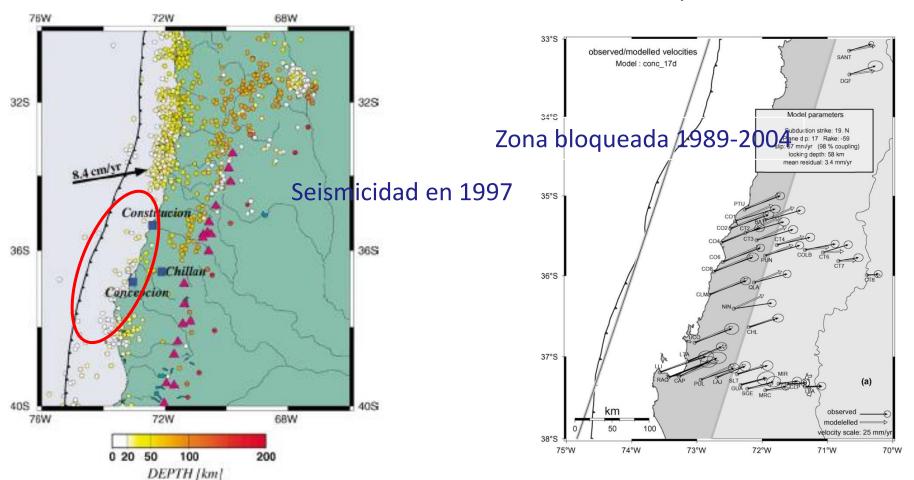






Exploracion de la brecha de Maule

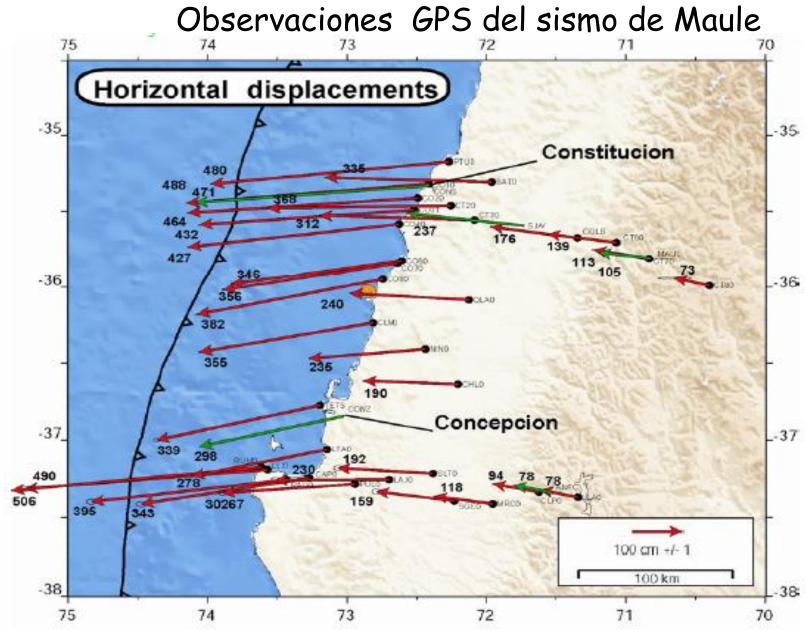
1997 -2010 Chile DGF, France IPGP, ENS, Naples



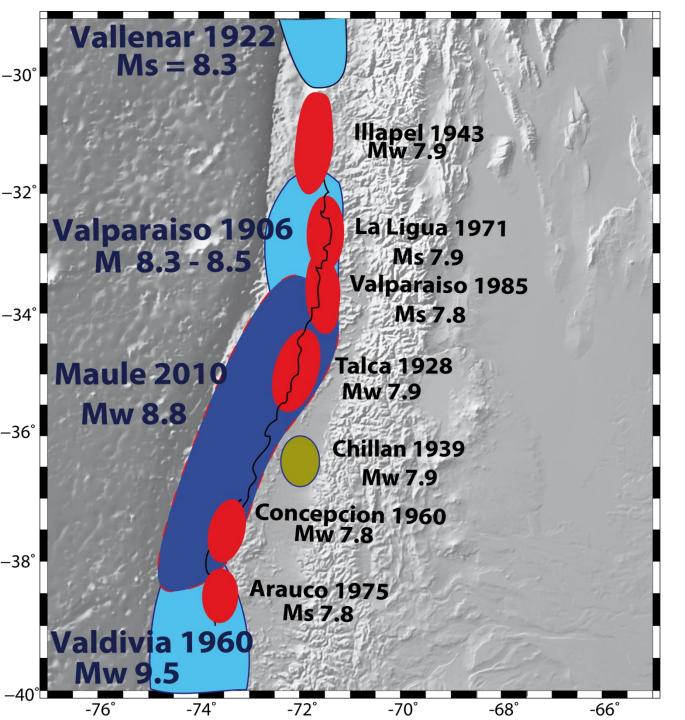
Campos et al, 2002

Ruegg et al, 2002, 2010

"the southern part of the Concepción—Constitución gap has accumulated a slip deficit that is large enough to produce a very large earthquake of about Mw= 8.0–8.5. This is of course a worst case scenario that needs to be refined by additional work"



Red GPS de Ruegg, Vigny, et al (1997-2010)



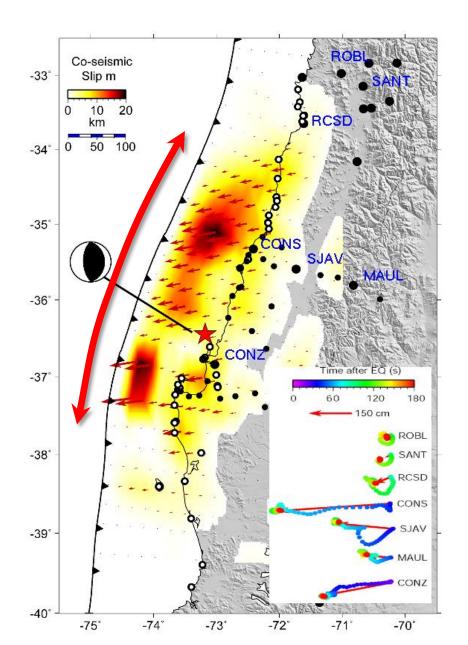
Central Chile

Terremoto del Maule

Sismicidad desde 1922

Mw>7.5

Desplazamiento inferido para el sismo de Maule



Deslizamiento Co-sísmico

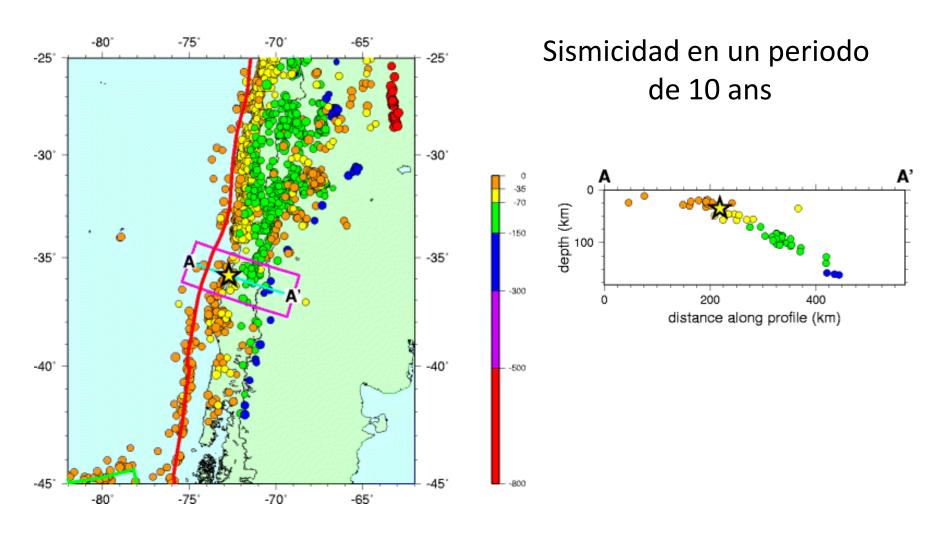
Máximo 20 m

Falla de 400x140 km

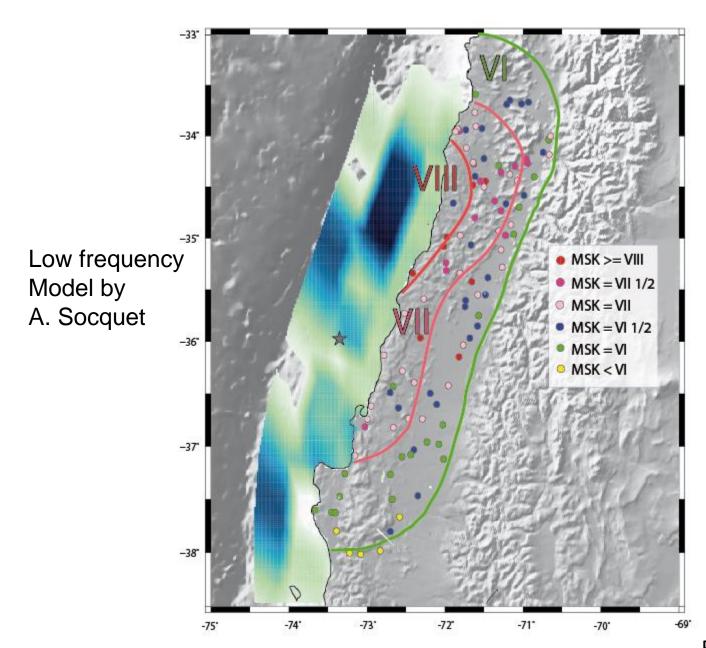
De Vigny et al Science 2011

Maule 2010 un mega sismo de subduccion

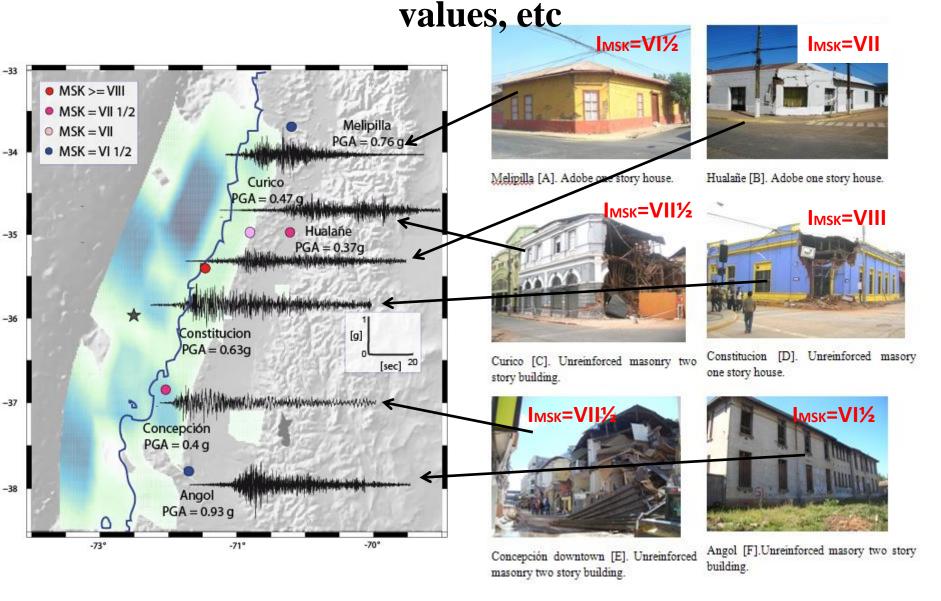
Seismicity Cross Section



Isosistas del Terremoto de Maule

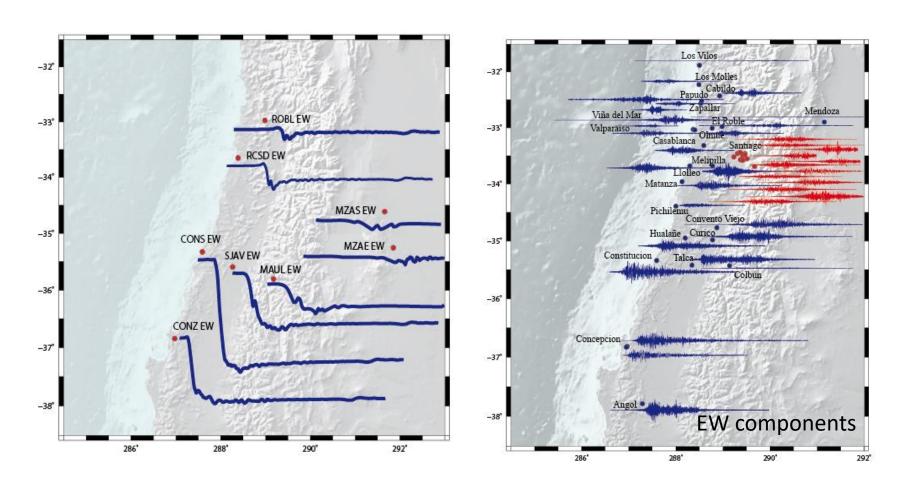


Low Damage despite High PGA, High Arias Intensity



Ruiz and Astroza (2011)

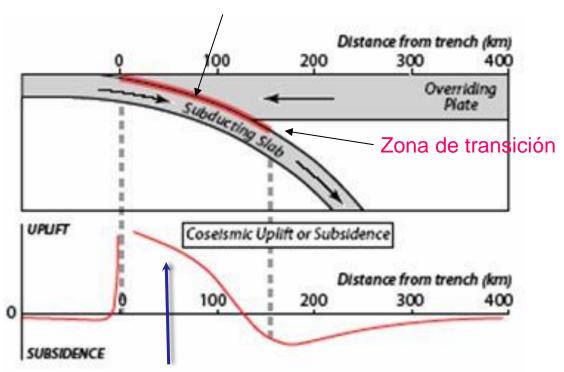
Baja Frecuencia y alta frecuencia cGPS (0 – 0.5 Hz) – Strong Motion (0.01 – 25 Hz)



cGPS: Vigny et al. (2010) Strong Motion Data: Barrientos (2010), Boroschek

Generación de tsunamis por grandes terremotos en zones de subduccción

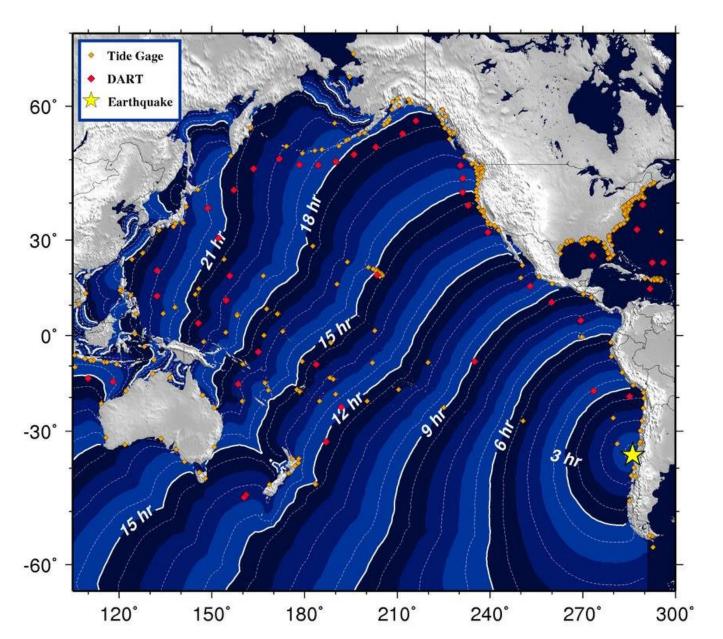
Zone de ruptura



Desplazamiento vertical de la plataforma marina

Esto genera una onda de gravedad de gran longitud de onda o tsunami

Tsunami del Terremoto 8.8 de Maule



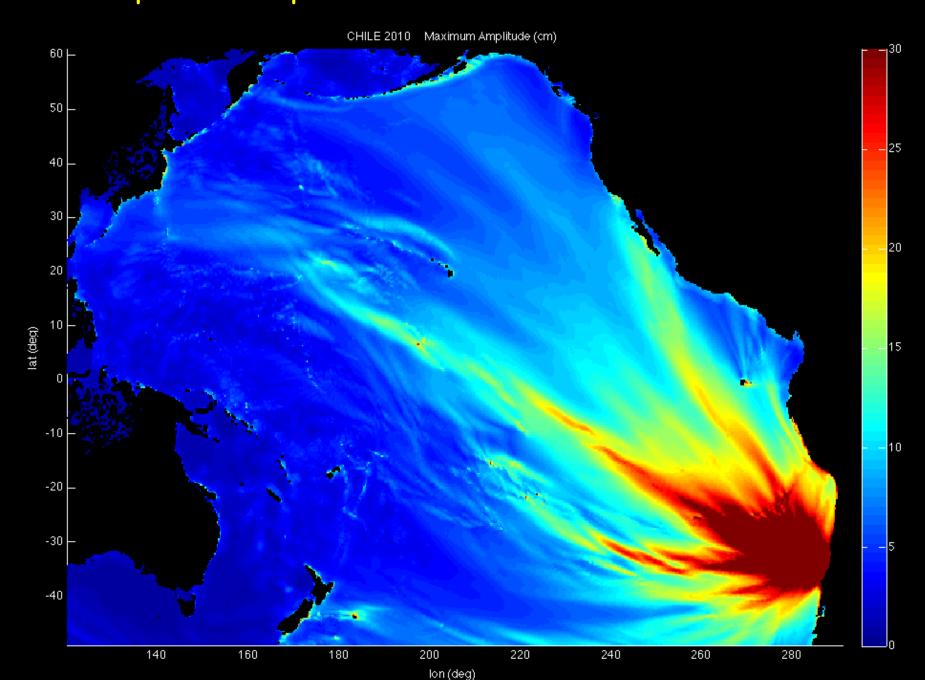
El tsunami

Es una onda De gravedad en el mar

Avanza a 700 km/h

Como un avion

Tsunami producido por el terremoto de Chile del 27/02/10



Efectos del tsunami en la zona epicentral

