

CURSO ESPECIALIZADO

PELIGROSIDAD SÍSMICA

Método Determinista
(DSHA)

Organizado por:



SESIÓN 5: Reproducción del terremoto del 2010 de Chile Mw 8.8

DOCENTE DEL CURSO

**Mag. Ing. Jorge
Trujillo**

TIPOS DE FALLA (REFERENTE AL MECANISMO FOCAL)

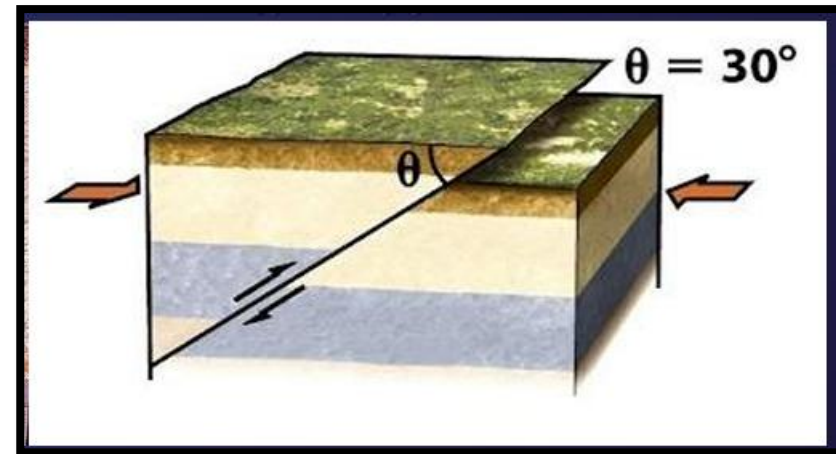
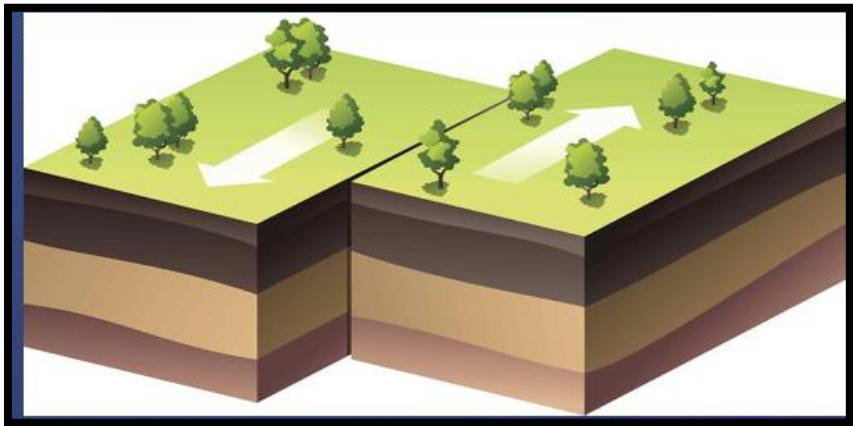
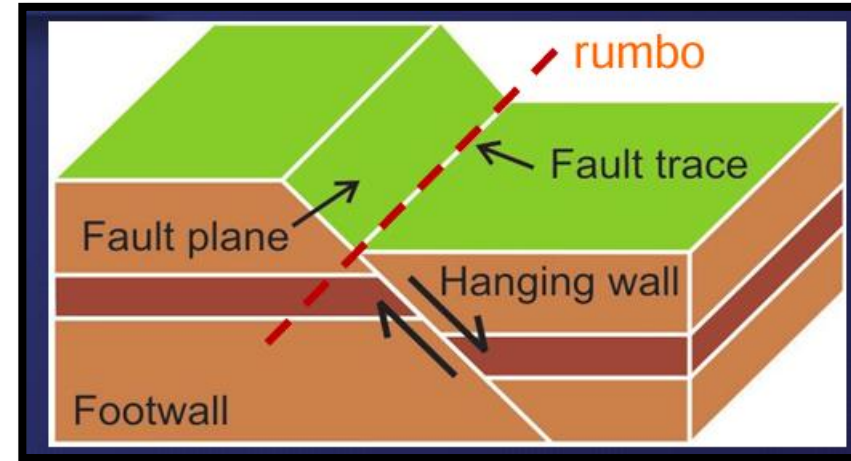
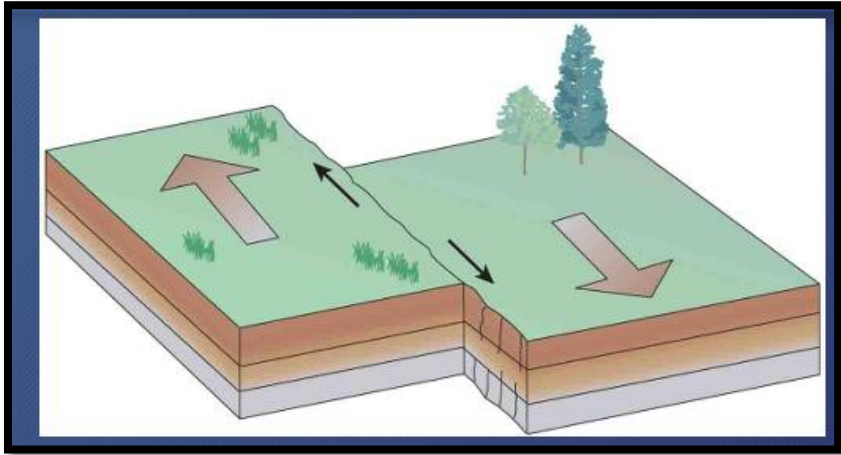




Foto cortesía de P. Murphy



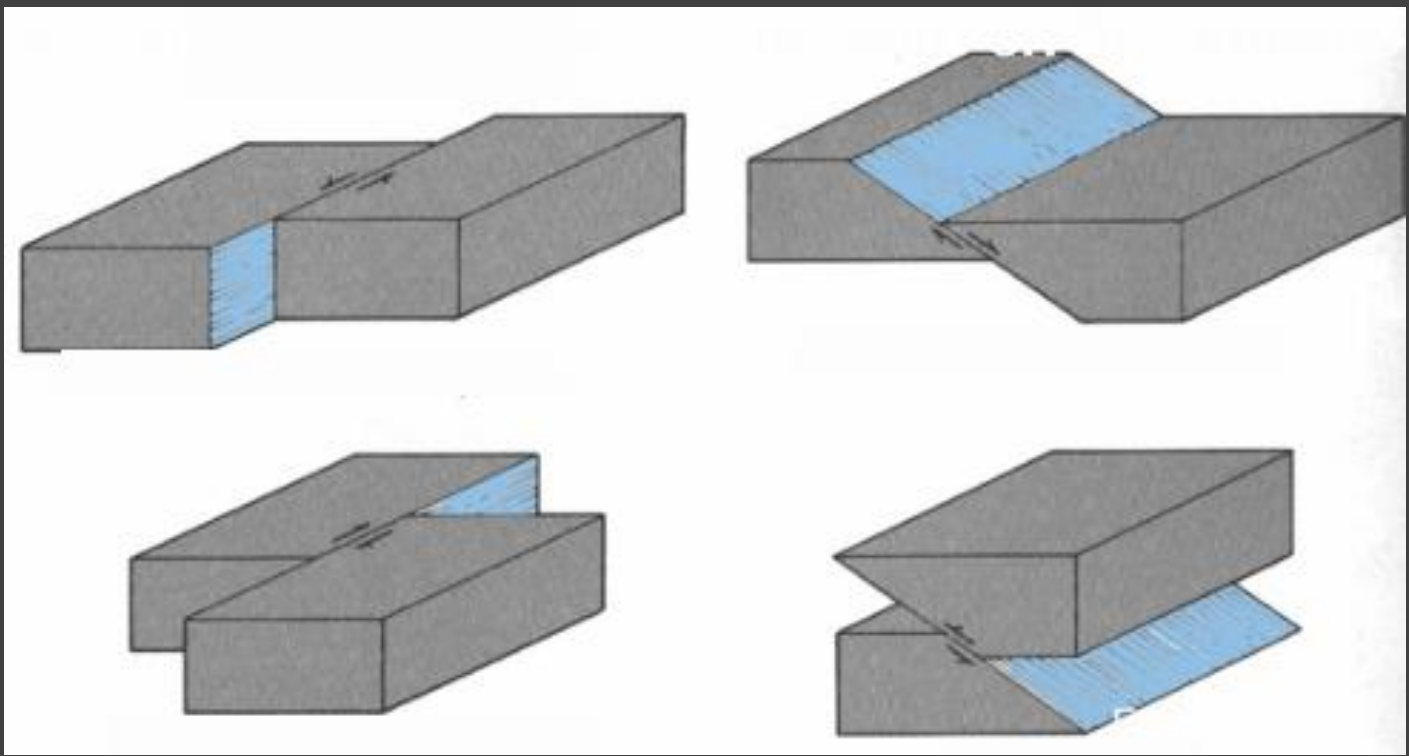






Angelier et al., 2003





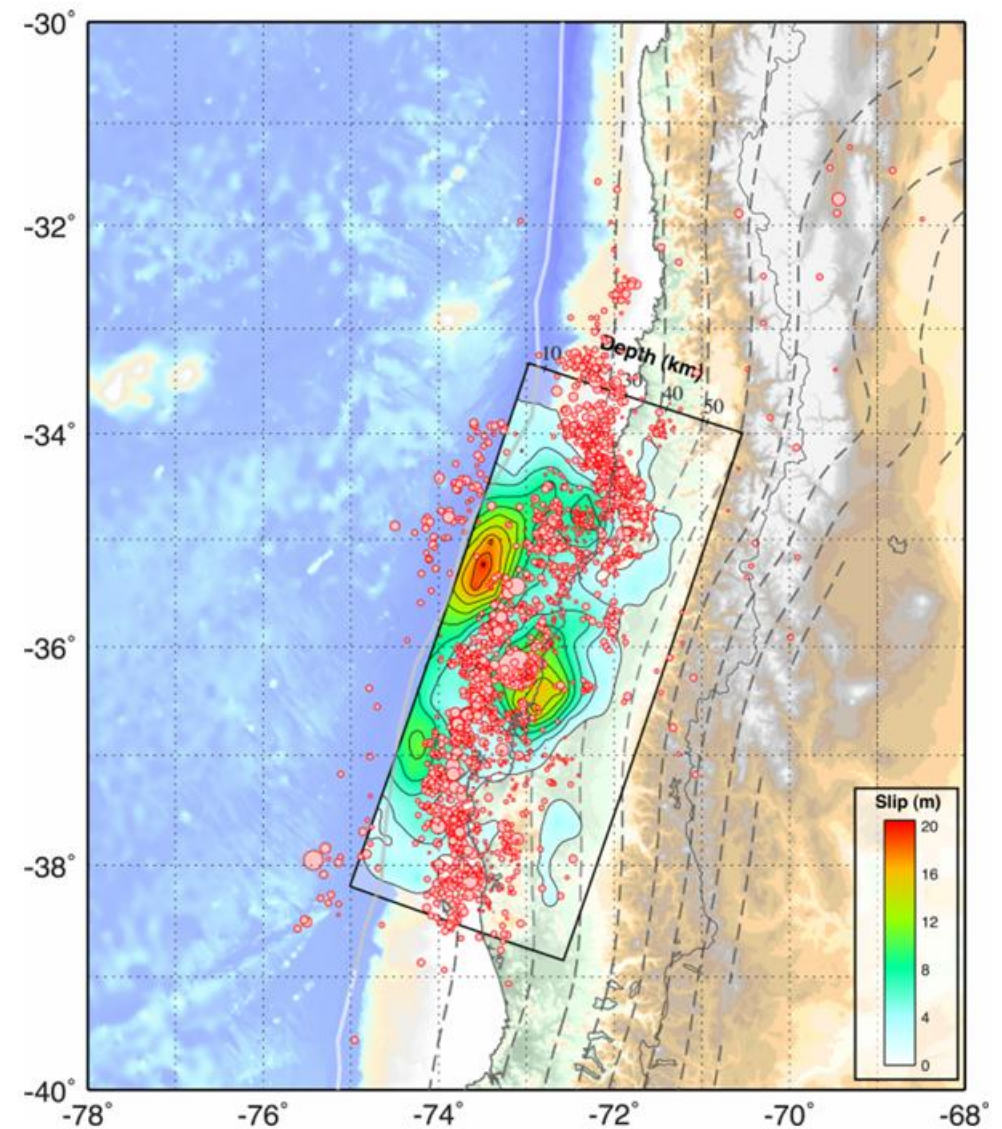
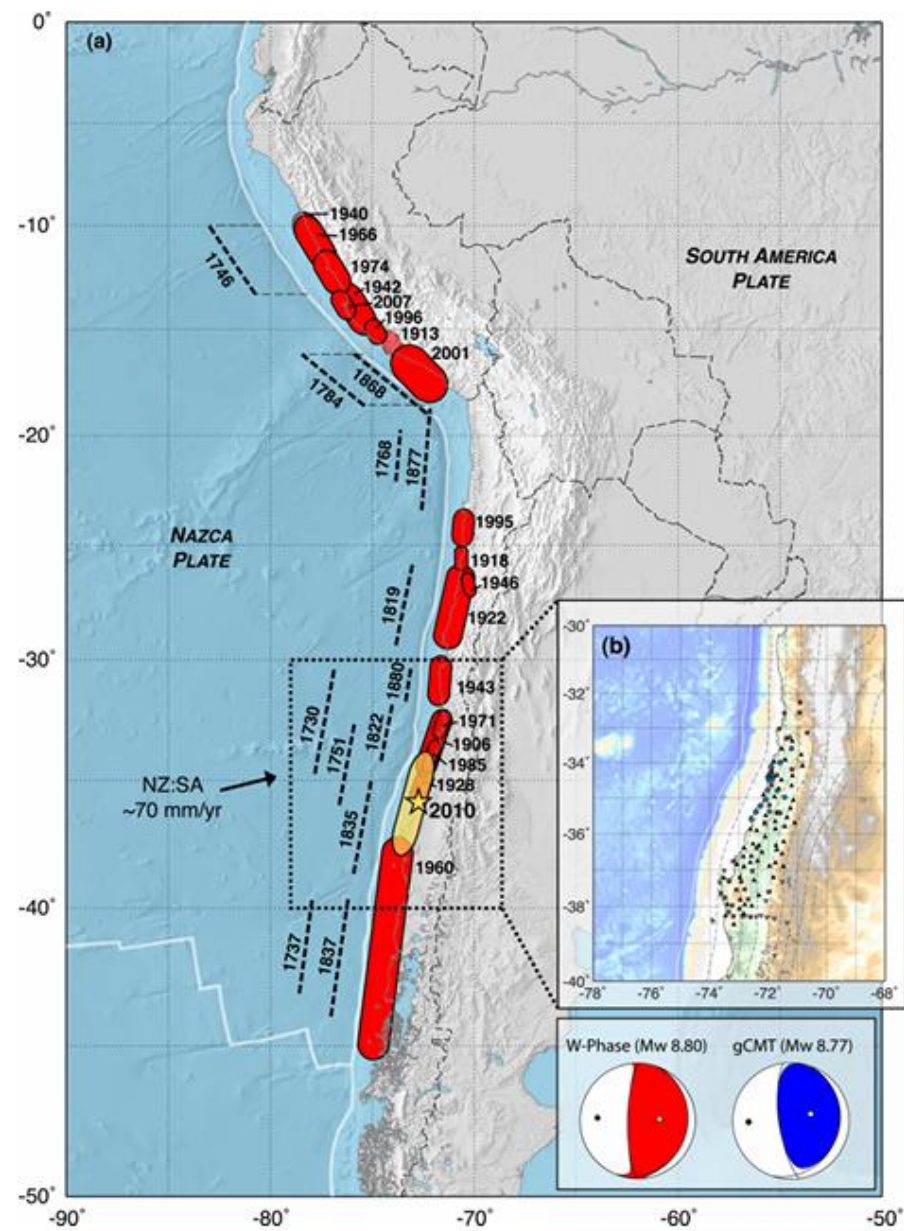
EVALUAR EL GRAN TERREMOTO DE CHILE DE 2010, MW 8.8 IMPLEMENTANDO EL METODO DETERMINISTA (DSHA) CON ARGIS PRO

El terremoto de Maule (Mw 8.8) rompió un segmento de ~500–600 km de la interfaz de subducción frente a Chile central.

El día 27 de febrero de 2010, a las 03:34 horas (hora local), la zona centro-sur de Chile fue sacudida por un terremoto de magnitud 8,8 Mw, seguido por un tsunami que devastó amplias áreas costeras desde Valparaíso hasta la Araucanía. Las intensidades máximas alcanzaron IX en la escala de Mercalli Modificada, especialmente en ciudades como Concepción y Talca. Este sismo se considera uno de los más destructivos de la historia reciente del país. La Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI) —organismo que en 2023 fue reemplazado por el actual Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED)— informó las siguientes cifras oficiales:

- *Víctimas fatales: entre 723 y 799 personas.*
- *Desaparecidos: 19 personas.*
- *Heridos graves: alrededor de 500.*
- *Damnificados: aproximadamente 2 millones de personas.*
- *Viviendas afectadas: más de 200 000 viviendas destruidas o seriamente dañadas.*
- *Infraestructura pública dañada:*
- *40 hospitales afectados, de los cuales 17 quedaron inutilizables.*
- *Más de 4 000 escuelas dañadas, equivalente al 45 % de los centros educativos de la zona afectada.*
- *Más de 2 000 puntos de infraestructura pública dañados (puentes, carreteras y servicios básicos).*
- *Impacto económico: pérdidas cercanas a US\$ 30 000 millones, equivalentes al 18 % del PIB nacional en ese año.*





Fuente: Hayes et al (2013). Seismotectonic framework of the 2010 February 27 Mw 8.8 Maule, Chile earthquake sequence



TERREMOTO DE CHILE 1960, MW9.5



DOCUMENTAL DEL TERREMOTO DE CHILE 2010, MW8.8



El terremoto de Hawái del 21 de junio de 2011, se situó al noroeste de la isla de Oahu, a unos 40 km al suroeste de la ciudad de Honolulu. Se trata de un sismo de tipo inverso, con un mecanismo focal que se relaciona con la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa de Hawái. El terremoto tuvo una magnitud de 8.8, lo que lo convierte en uno de los más potentes jamás registrados en la zona. La profundidad del hipocentro fue de 22.9 km, lo que indica que se trata de un terremoto de tipo inverso. El terremoto de Hawái del 21 de junio de 2011, se situó al noroeste de la isla de Oahu, a unos 40 km al suroeste de la ciudad de Honolulu. Se trata de un sismo de tipo inverso, con un mecanismo focal que se relaciona con la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa de Hawái. El terremoto tuvo una magnitud de 8.8, lo que lo convierte en uno de los más potentes jamás registrados en la zona. La profundidad del hipocentro fue de 22.9 km, lo que indica que se trata de un terremoto de tipo inverso.

Parámetros sísmicos	USGS(TP)	Melnick	Xiaopeng Tong	Han Yue (TP)	Gavin Hayes (TP)	Final
Magnitud (Mw)	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
Profundidad (km) hipo	22.9	---	---	25	22	22.9
Intensidad Max	IX	----	----	----	----	IX
Latitud	-36.122°S	----	----	36.29°S	-36.122°S	-36.122°S
Longitud	-72.898°O	----	----	73.24°W	-72.90°w	-72.90°w
Azimut (Strike)	9°/19°	----	----	34°S – 38.5°S	16°	19°
Buzamiento (dip)	17.5	----	15/18/12	----	14°/18°	17.5°
Mecanismo focal	Inversa	Inversa	Inversa	Inversa	Inversa (104°)	Inversa (104°)

(TP): Tiene plano de ruptura

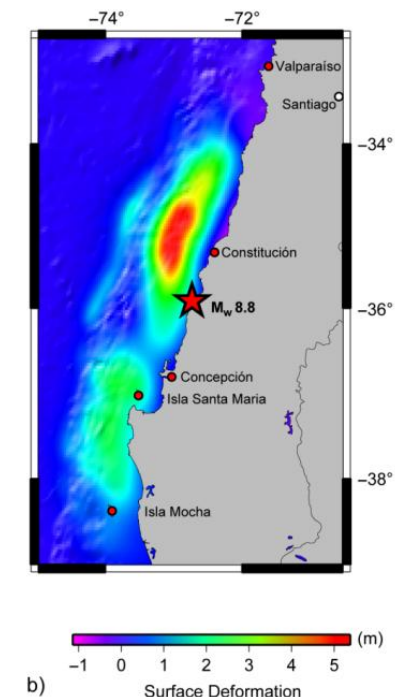
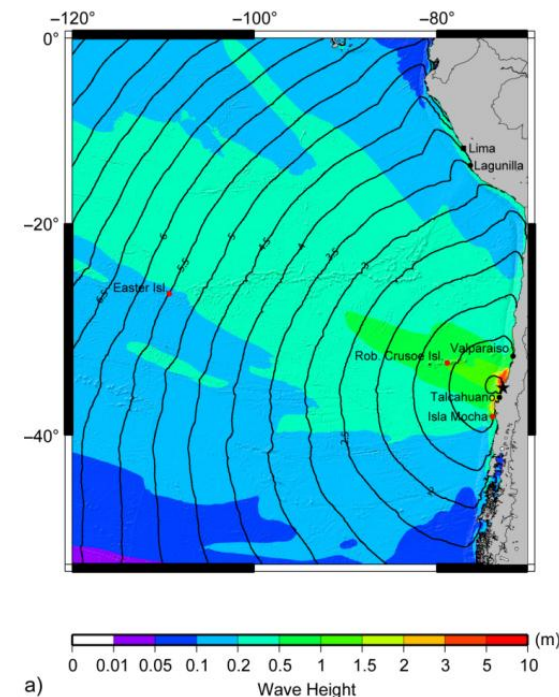
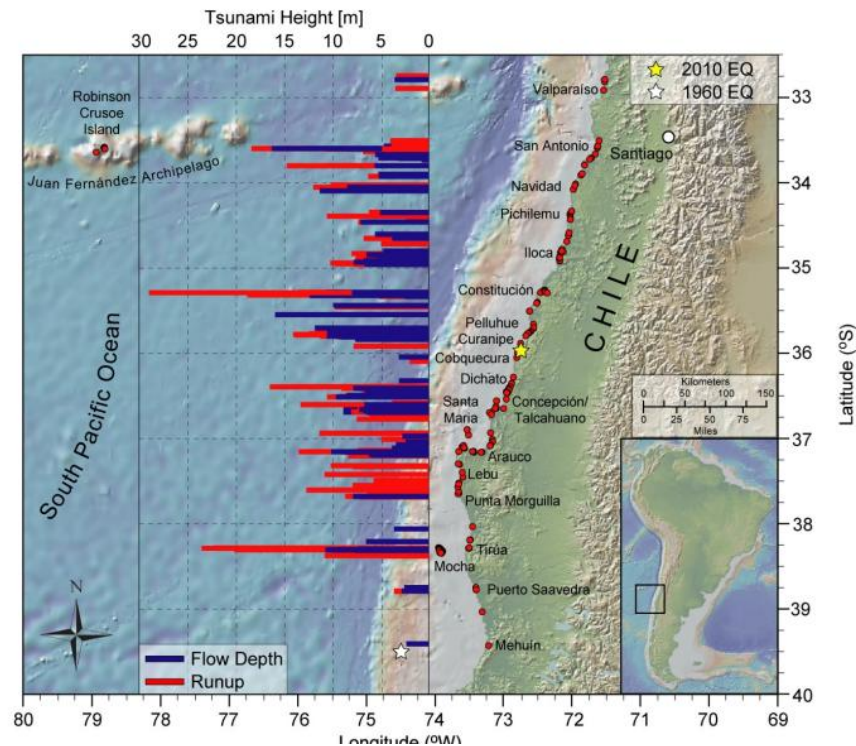


OBJETIVO PRINCIPAL

Reproducir el terremoto de Chile del 2010 de **Mw 8.8** implementando el método determinista (DSHA) en un SIG con la aplicación ArcGIS Pro

Fuente sísmica

El escenario sísmico es el terremoto de Chile del 2010 con epicentro en las coordenada aproximada de longitud -72.9° y latitud de -36.122° , con emplazamiento en la zona de influencia de Chile (Concepción, Coronel, Talca, Linares, Los Angeles). La magnitud máxima es de Mw. 8.8. Haciendo uso de las relaciones alternativas de subducción de Hayes et al (2017), que a partir de la magnitud se obtiene la longitud y ancho del plano de ruptura. Este terremoto generó un gran tsunami con olas desde 2 a 5 metros. Pero se habla de Run up de hasta 30m en Constitución.



Fuente: Hermann M. Fritz 2011 Observations and Modeling of the 27 February 2010 Tsunami in Chile



FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE MODELAMIENTO DEL PLANO DE RUPTURA

Con la correlación de Hayes (2017),
con una Mw8.8 se tiene **L=440.6km**
con **Wr=186.9km**

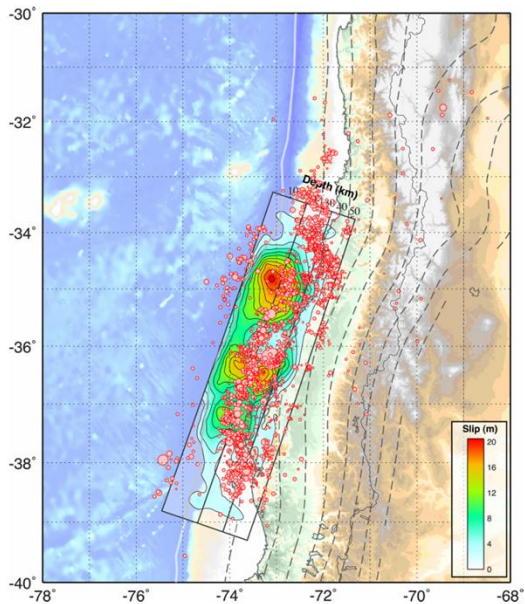
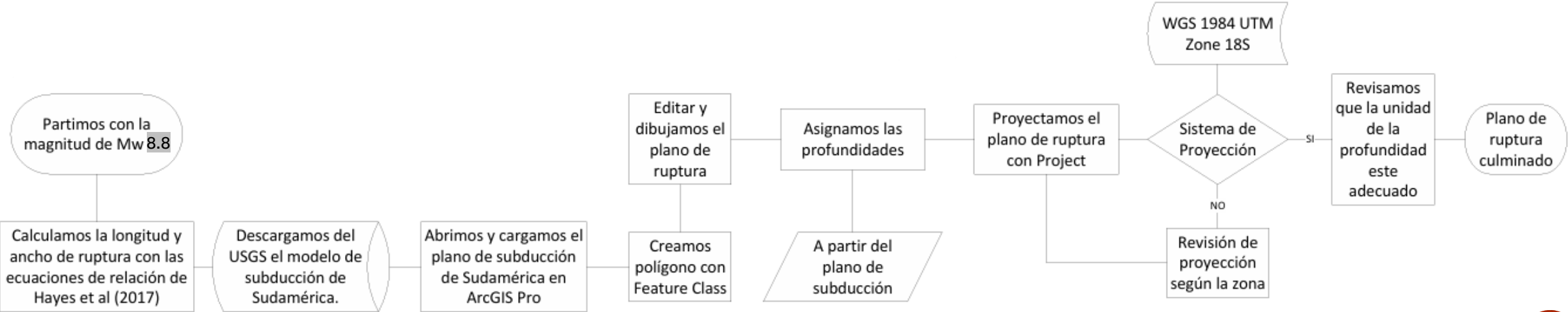
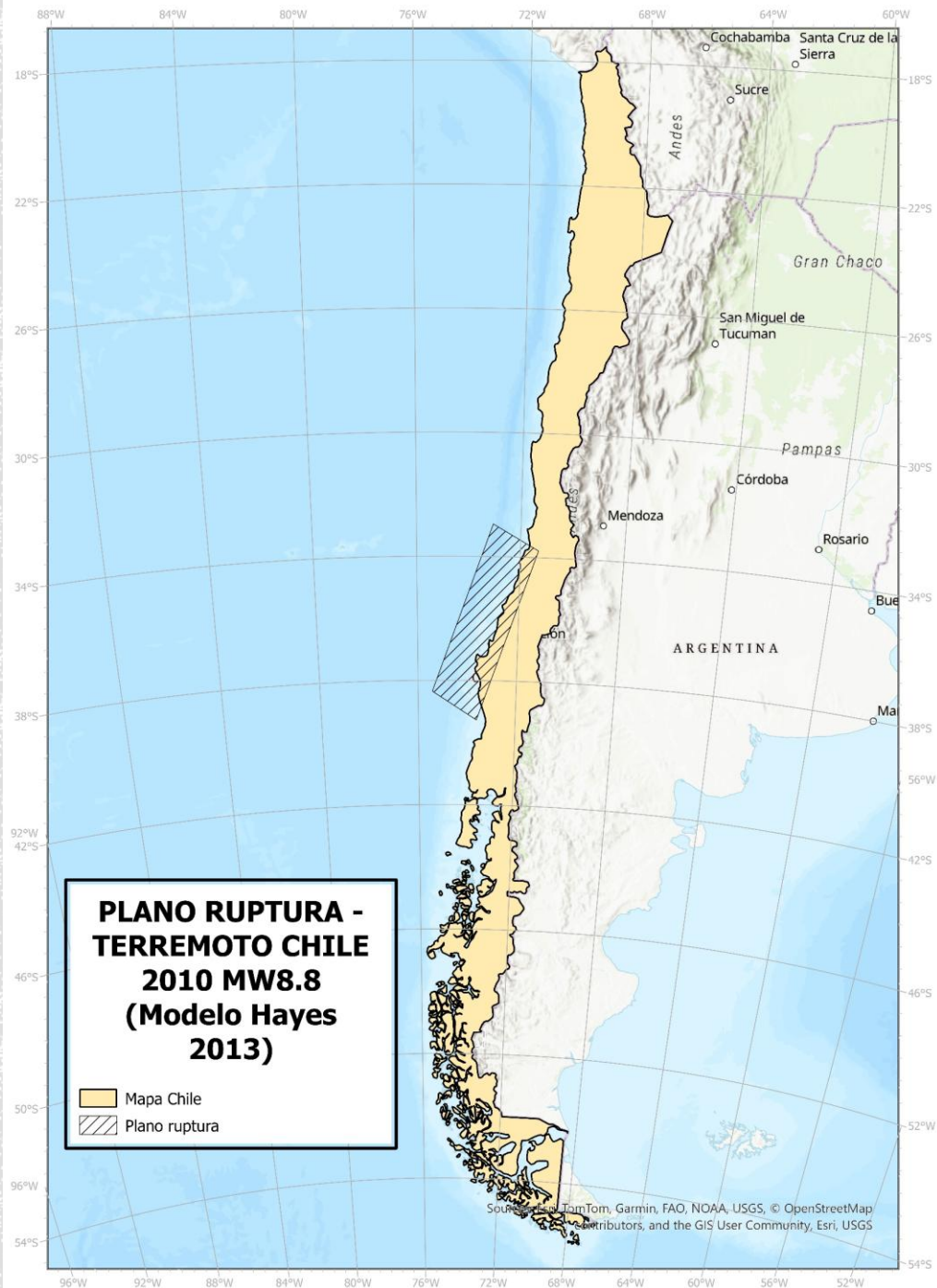


Figure 6. Co-seismic slip model from the inversion of teleseismic data over three planes (black rectangles encompassing slip distribution) approximating the subduction zone interface (grey dashed contours, from Slab1.0, Hayes *et al.* 2012). Slip is contoured in 4 m intervals. Overlain on this slip model is the relocated aftershock catalogue, sized by magnitude. The thick transparent white line represents the inferred location of the Nazca-South America Plate boundary.

CONCLUSION: SE USA DIMENSIONES DEL INFORME FINAL DEL USGS regular, SEGÚN Hayes(2013)

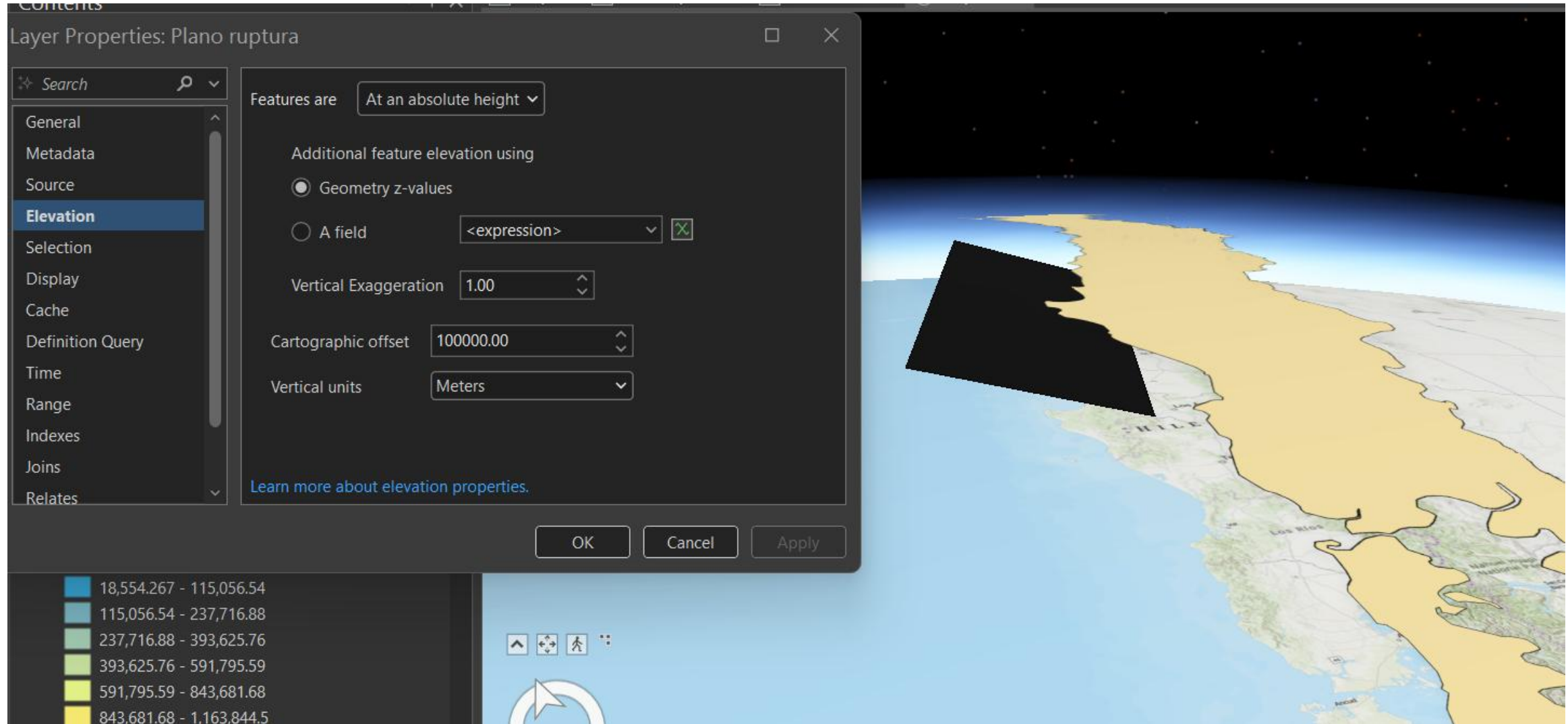




PLANO DE RUPTURA



VISTA 3D: PLANO DE RUPTURA



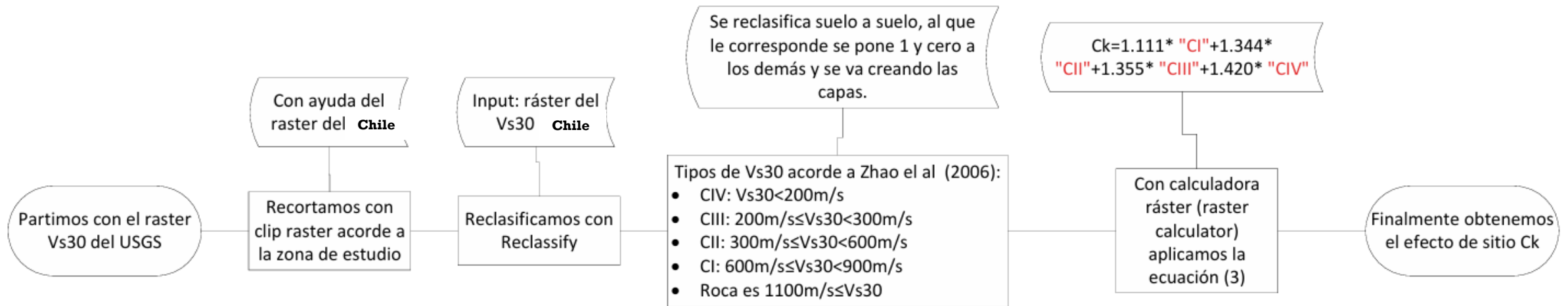
EFFECTO DE SITIO

$$C_k = C_1 * C_I + C_2 * C_{II} + C_3 * C_{III} + C_4 * C_{IV}$$

Coeficientes de efecto de sitio

Coeficientes para efecto de sitio					
Periodo	CH	C1	C2	C3	C4
PGA	0.293	1.111	1.344	1.355	1.42

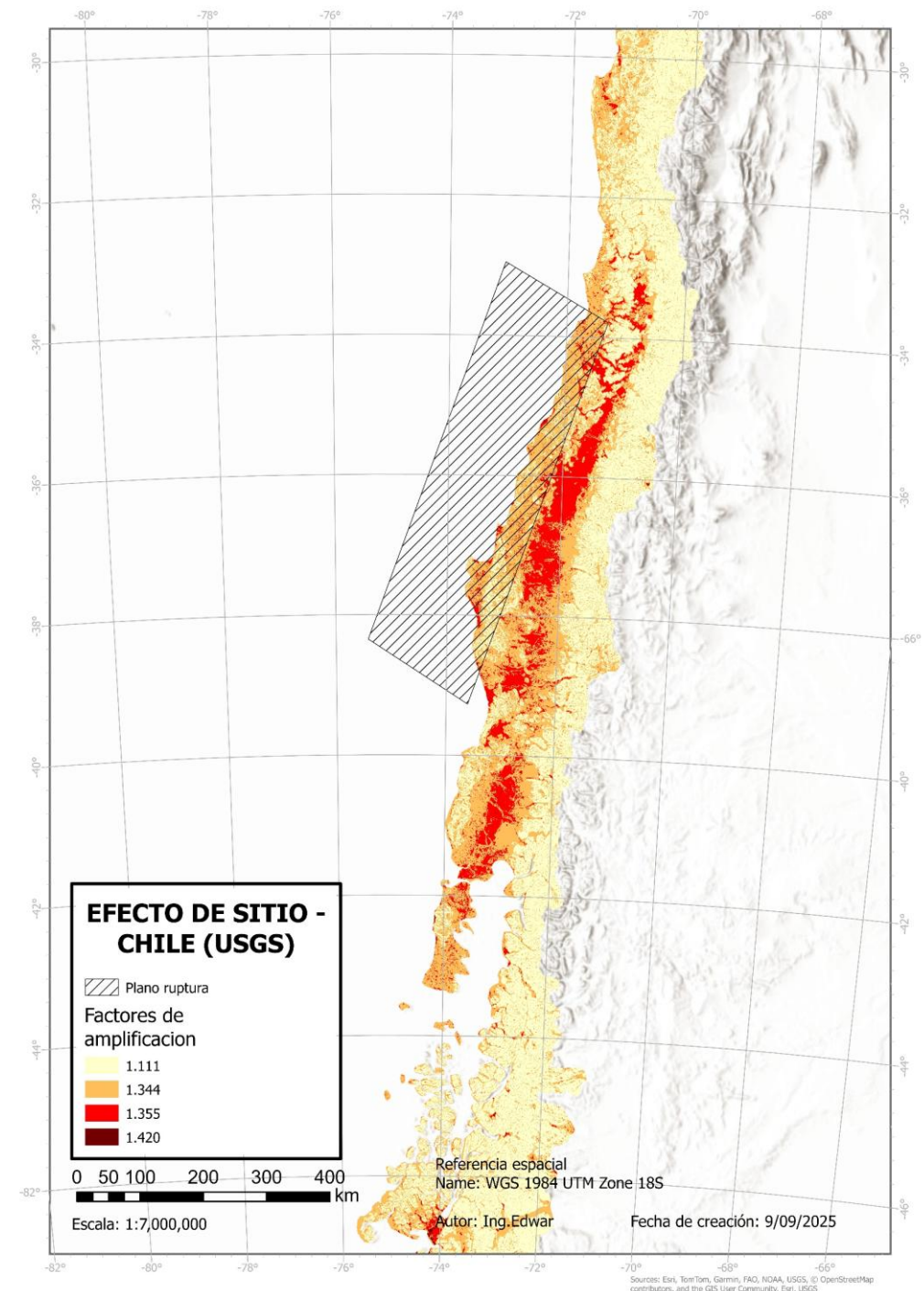
Fuente: Zhao et al., 2006



Copiar: $1.111 * "CI" + 1.344 * "CII" + 1.355 * "CIII" + 1.420 * "CIV"$



EFFECTO DE SITIO (AMPLIFICACIÓN POR TIPOLOGÍA DE SUELO)



ACELERACIÓN SÍSMICA

$$\begin{aligned}\log_e(y_{i,j}) = & aM_{wi} + bx_{i,j} - \log_e(r_{i,j}) \\ & + e(h - h_c) \delta_h + F_R + S_I + S_S \\ & + S_{SL} \log_e(x_{i,j}) + C_k + \xi_{i,j} + \eta_i,\end{aligned}\quad (1)$$

$$r_{i,j} = x_{i,j} + c \exp(dM_{wi}), \quad (2)$$

Tabla del modelo GMPE de Zhao et al (2006)

Coeficientes del modelo GMPE de Zhao et al (2006)								
Periodo (seg)	a	b	c	d	e	SR	Ss	SsL
PGA	1.101	-0.00564	0.0055	1.08	0.01412	0.251	2.607	-0.528

Fuente: Zhao et al (2006)



$$\log(y) = aM + bX - \log(r) + e(h - h_c)\delta_h + FR + S_I + S_s + S_{SL} \log(X) + C_k + \varepsilon + \eta$$

Donde:

- y : Parámetro de movimiento del suelo (por ejemplo, aceleración pico del suelo, PGA).
- M : Magnitud momento del sismo.
- X : Distancia al epicentro o a la fuente sísmica.
- r : Distancia hipocentral o métrica de distancia ajustada.
- h : Profundidad focal del sismo.
- h_c : Profundidad de referencia.
- δ_h : Indicador de profundidad (1 si $h > h_c$, 0 en caso contrario).
- FR : Término de corrección para mecanismos de falla inversa en sismos corticales.
- S_I : Término de corrección para sitios de tipo roca.
- S_s : Término de corrección para sismos de intraplaca (slab).
- S_{SL} : Coeficiente relacionado con la propagación en el slab.
- C_k : Corrección por tipo de suelo, donde k indica la categoría del suelo (por ejemplo, roca, suelo duro, suelo medio, suelo blando).
- ε : Término de error aleatorio intraevento.
- η : Término de error aleatorio interevento.



Es importante destacar que algunos términos se aplican únicamente en contextos específicos. Por ejemplo:

- FR : Se utiliza solo para sismos corticales con mecanismos de falla inversa.
- S_I : Se aplica para sitios clasificados como roca.
- S_s y $S_{SL} \log(X)$: Se aplican en sismos de intraplaca (slab).

Para un sismo de **interfase**, los términos FR , S_s y $S_{SL} \log(X)$ no se incluyen, ya que no son relevantes en este contexto.

$$\log(y) = aM + bX - \log(r) + e(h - h_c)\delta_h + \cancel{FR} + \cancel{S_I} + \cancel{S_s} + \cancel{S_{SL} \log(X)} + C_k + \cancel{\varepsilon} + \cancel{\eta}$$



for a spectral period T , M_w is the moment magnitude, x is the source distance in kilometers, and h is the focal depth in kilometers. The reverse-fault parameter F_R applies only to crustal events with a reverse-faulting mechanism and is zero for all other events. The tectonic source-type parameter S_I applies to interface events and is 0 for all other type events, and S_S applies to subduction slab events only and is zero for all other type events. S_{SL} is a magnitude-independent path modification term for slab events to account for the complex seismic wave travel path for slab events. C_k is the site-class term for a given site class. Subscript i denotes event number and j denotes record number from event i . Coefficient h_c is a depth constant. When h is larger than h_c , the depth term $e(h - h_c)$ takes effect, with δ_h being a dummy variable that equals 0 for $h < h_c$ and 1 for $h \geq h_c$. When h is larger than 125 km, $h = 125$ km is selected so that a constant factor is used for deeper earthquakes (i.e., depth is capped at 125 km). Random variable η_{ij} is the intra-event error (error that represents the variability from the median predicted value for a



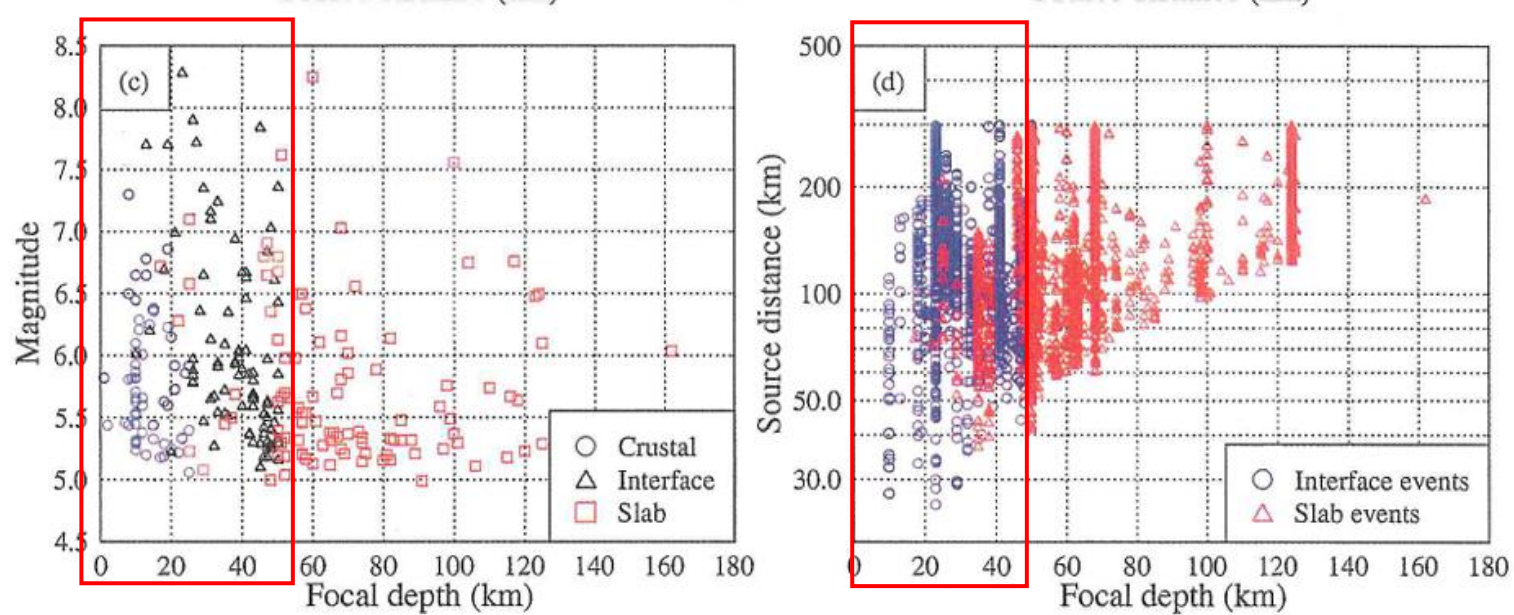


Figure 1. Magnitude-distance distribution for (a) data from Japan; (b) overseas data; (c) magnitude-focal depth distribution; and (d) source distance-focal depth distribution of Japanese data.

Si la profundidad del terremoto es menor al de referencia se considera $\delta h=0$, al contrario, si la profundidad de terremoto es mayor a la profundidad de referencia $\delta h=1$

El rango de profundidades del terremoto de 2010 es de -23km (si se considera más crítico es cuando se tiene una menor profundidad, por tal motivo se considera que el terremoto tiene una profundidad menor al de referencia que viene a ser de 0 a -50km)

$$\log(y) = aM + bX - \log(r) + \cancel{e(h - h_c)\delta_h} + \cancel{FR} + \cancel{S_I} + \cancel{S_s} + \cancel{S_{SL} \log(X)} + \cancel{C_k} + \cancel{\varepsilon} + \cancel{\eta}$$



ACELERACIÓN SÍSMICA

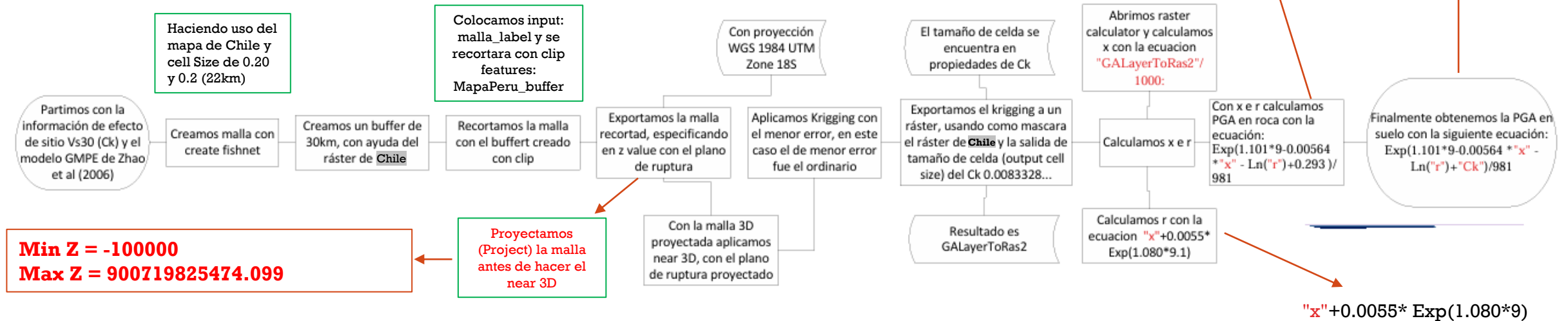
$$\text{Log}(y) = aM_{wi} + bx_{ij} - \log(r_{ij}) + e(h-h_c)\delta h + FR + SI + SS + SSL \log(x_{ij}) + C_k + \xi_{ij} + n_{ij}$$

$$r_{ij} = x_{ij} + c \exp(dM_{wi})$$

Tabla del modelo GMPE de Zhao et al (2006)

Coeficientes del modelo GMPE de Zhao et al (2006)								
Periodo (seg)	a	b	c	d	e	SR	SS	SSL
PGA	1.101	-0.00564	0.0055	1.08	0.01412	0.251	2.607	-0.528

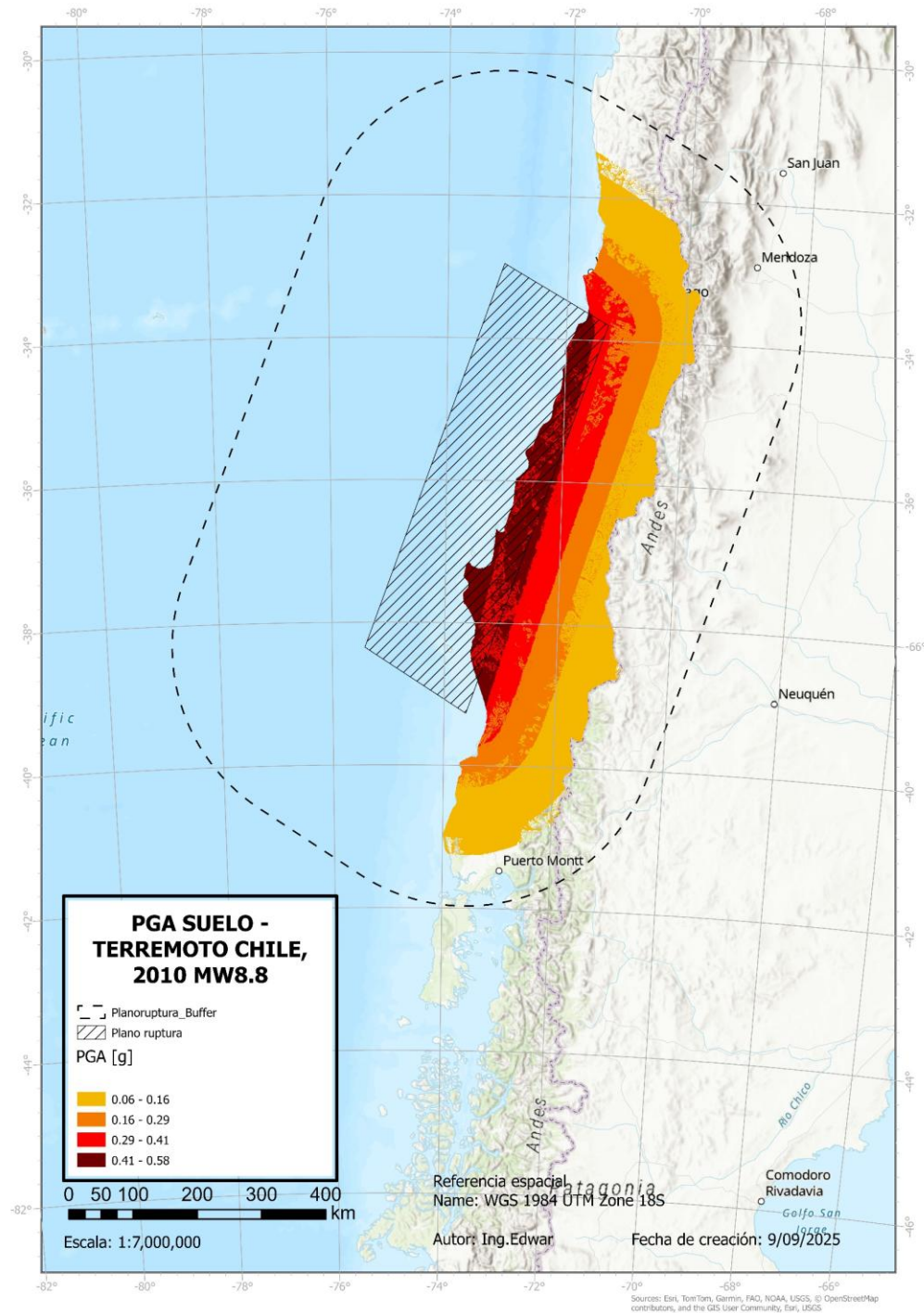
Fuente: Zhao et al (2006)



$$\text{Log}(y) = aM_{wi} + bx_{ij} - \log(r_{ij}) + C_k$$



RESULTADO DE ARCCIS PRO

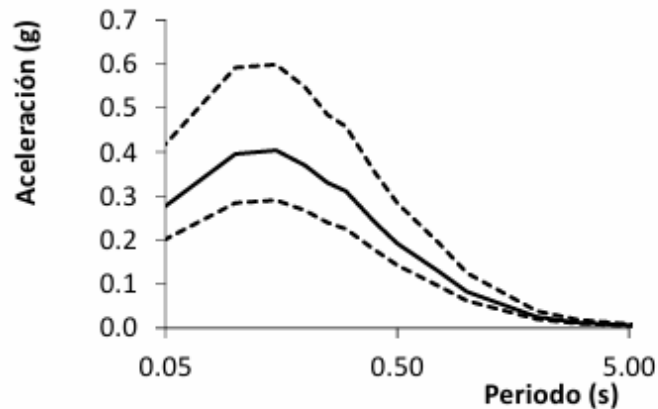


PELIGROSIDAD SÍSMICA

Métodos DETERMINISTA

El movimiento sísmico se debe a UN ESCENARIO SÍSMICO CONCRETO, relacionado con la ocurrencia de **un único terremoto**.

Resultado: en un punto concreto
Espectro de respuesta específico (SRS)

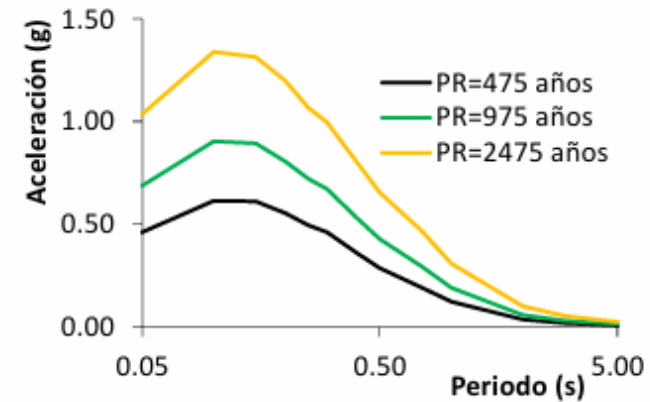


Métodos PROBABILISTA

Probabilidad de que un cierto valor del parámetro de movimiento sea excedido en un emplazamiento específico durante un determinado periodo de tiempo.

$$P(y > Y, t) = \tau \iiint P(y > Y, t | m, r, \varepsilon) \cdot p(m) \cdot p(r) \cdot p(\varepsilon) \, dm \, dr \, d\varepsilon$$

Resultado en un punto concreto:
Espectro de peligrosidad uniforme (UHS)





GRACIAS POR LA ATENCIÓN

☎ 92 777 0169

✉ seismicx.proyectos@gmail.com

🌐 <https://seismicx.github.io/Intranet-DHSA/>