



Clase 5 - Sismología

513113 Introducción a la Geofísica
Pedagogía en Ciencias Naturales

Matt Miller, Daniel Marcos
Departamento de Geofísica
Universidad de Concepción
mrmiller@udec.cl
www.mttmlr.com



Introducción - Objetivos

- Relacionar las condiciones en los bordes de placas tectónicas con la distribución global de terremotos.
- Inferir el lugar donde se originan los terremotos en una zona de subducción.
- Describir el ciclo sísmico y sus fases inter-sísmica y co-sísmica.
- Reconocer los parámetros sísmicos hipocentro, epicentro, foco.
- Clasificar los tres tipos típicos de fallas.
- Distinguir entre magnitud e intensidad.
- Dibujar e explicar registros de terremotos locales y telesísmicos.
- Resumir el pensamiento científico actual en el desafío de predecir terremotos.



Las Placas Tectónicas

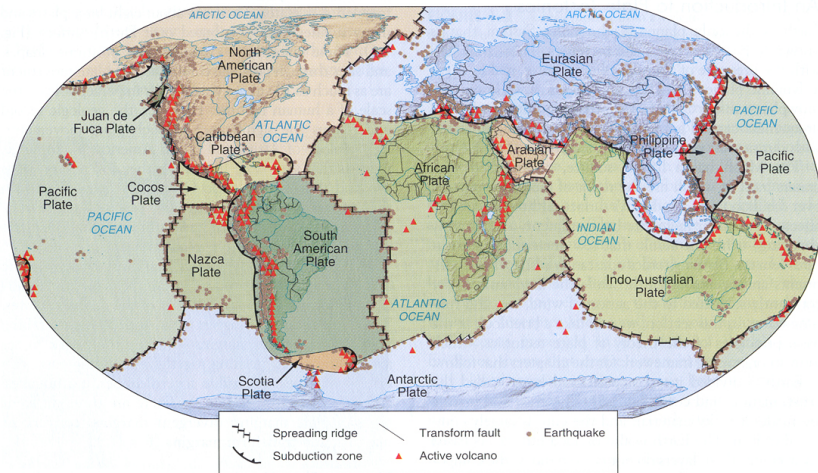


Figura 1: Las placas tectónicas, dorsales oceánicas, fallas transformantes, terremotos, zonas de subducción y volcanes activos. (Fuente: James Jackson)



Las Placas Tectónicas

- La mayoría de los terremotos se generan en los bordes de las placas (roce entre placas en una falla).
- Algunos terremotos se generan en fallas corticales dentro de una placa (deformación cortical en una falla superficial).
- Además, existen terremotos asociados con la actividad volcánica (fluidos abriendo grietas, por ejemplo).
- Volcanes se generan en zonas de subducción (por ejemplo, en Chile).
- Se requieren condiciones particulares (ángulo de subducción, velocidad y edad de la placa que subduce) para generar un arco volcánico.
- También existen volcanes asociados con puntos calientes en el manto (por ejemplo, Rapa Nui o Hawaií).



Zonas de Subducción

- Una placa oceánica (mayor densidad) subduce bajo una placa continental.
- Hay deformación del continente, y se forman cadenas de montañas, como la de los Andes.
- En la zona sísmogénica, hay fricción entre las placas, produciendo terremotos. A mayores profundidades, la temperatura sube y la placa pierde su rigidez.

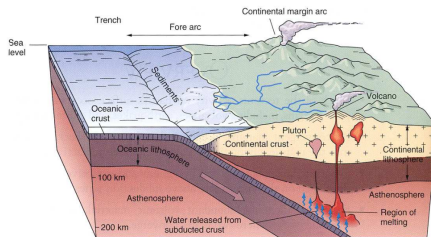


Figura 2: Una zona de subducción, representativa de la situación en Chile.
(Fuente: James Jackson)



Zonas de Subducción - Ciclo Sísmico

- Las primeras dos imágenes de la Figura 3 muestran la fase inter-sísmica; la última la fase co-sísmica (terremoto).
- La fase inter-sísmica puede demorar cientos de años para cargar una fase co-sísmica grande.
- Se nota la deformación de una columna de agua producida por el rebote de la placa.
- Los terremotos que producen tsunamis en Chile típicamente tienen largos de ruptura de cientos de kilómetros.

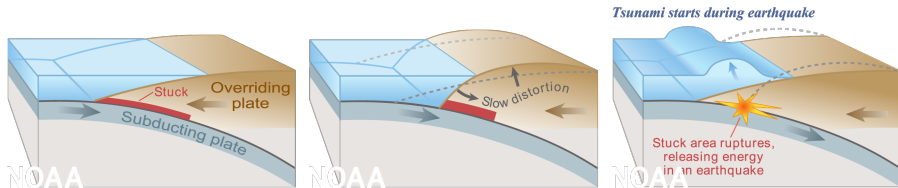


Figura 3: El ciclo sísmico en una zona de subducción, representativa de la situación en Chile. (Fuente: NOAA)



Parámetros de Terremotos

- El hipocentro es la posición, y el tiempo de origen, donde ocurre el primer movimiento en la falla (lat, lon, prof, tiempo).
- El foco es la posición donde ocurre el primer movimiento en la falla (lat, lon, prof).
- El epicentro es la posición en la superficie directamente encima de donde ocurre el primer movimiento en la falla (lat, lon).

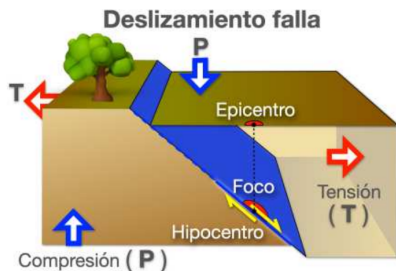


Figura 4: Hipocentro, foco y epicentro. (Fuente: Carlos Tassara: UNAP)



Tipos de Fallas

- Falla Normal: Son fallas de tensión horizontal perpendicular a la falla en zonas de divergencia.
- Falla Inversa: Son fallas de compresión horizontal perpendicular a la falla en zonas de convergencia.

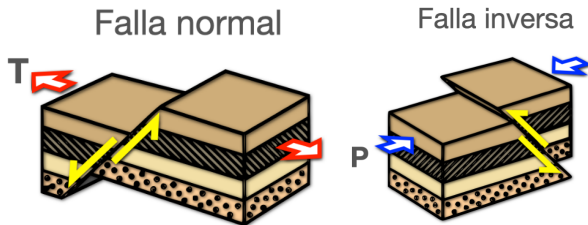


Figura 5: El deslizamiento en una falla normal y una falla inversa durante un terremoto.
(Fuente: Carlos Tassara: UNAP)



Tipos de Fallas

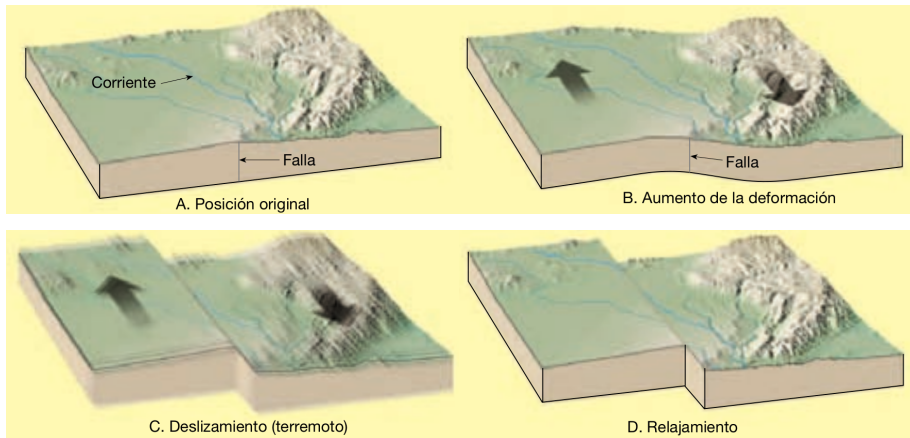


Figura 6: La deformación y eventual deslizamiento en una falla de desplazamiento horizontal (desgarre). (Fuente: Tarbuck y Lutgens Fig. 11.4)



Tipos de Fallas

- Falla de Desgarre: Son fallas que se mueven de forma lateral y pueden ser lateral izquierda o lateral derecha. Un ejemplo famoso es la falla de San Andrés en California.



Figura 7: Esta reja se desplazó 2,5 metros durante el terremoto de 1906 en San Francisco. (Fuente: Tarbuck y Lutgens Fig. 11.3)



Magnitud e Intensidad

- Una representación de la energía total liberada durante un terremoto → magnitud.
- Una representación de que tan dañino es un terremoto en una ubicación particular → intensidad.
- La escala de intensidad modificada de Mercalli es un intento de comparar la aceleración del suelo registrado en acelerómetros con la escala tradicional de intensidad de Mercalli. Si hay suficientes instrumentos registrando el terremoto, estas intensidades instrumentales pueden ser interpoladas sobre una área y representada en un mapa.

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	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Worden et al. (2012)

Figura 8: La escala modificada de Mercalli: Percepción de intensidad, daños potenciales, aceleraciones y velocidades máximas del suelo, intensidad instrumental. (Fuente: USGS)



Magnitud e Intensidad

- Un terremoto superficial de menor magnitud puede producir mayor intensidad, a una escala local, que un terremoto más profundo de mayor magnitud.

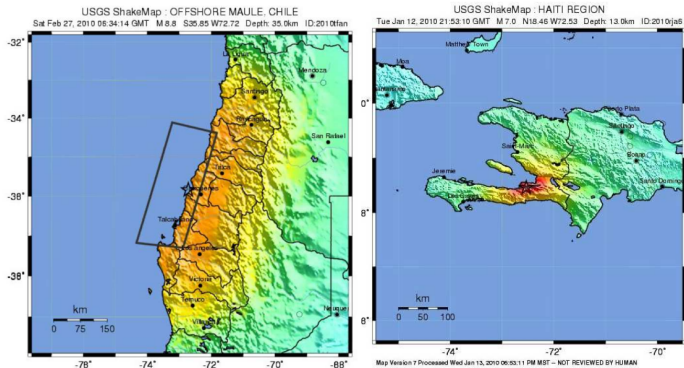


Figura 9: ShakeMaps para Maule, 2010 (izquierda) y Haití, 2010 (derecha).
(Fuente: [USGS ShakeMap](#))



Registros de Terremotos

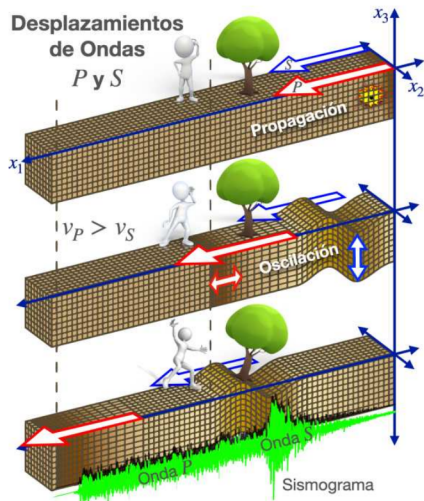


Figura 10: Representación simplificada de la propagación de ondas sísmicas. (Fuente: Carlos Tassara: UNAP)



Registros de Terremotos

- En la Figura 10, las ondas P longitudinales en azul causan un cambio de volumen en el medio (compresiones y extensiones) mientras que se propagan.
- Las ondas S transversales en rojo causan una cizalle del medio (sin cambio de volumen) mientras que se propagan.
- El mecanismo de un terremoto produce ambas ondas P y S. En un sismograma, se aprecia que las ondas P viajan a mayor velocidad y entonces llegan antes que las S.
- Además la interacción de las ondas P y S en la superficie de la Tierra produce ondas de superficie - energía atrapada cerca la superficie terrestre que viaja más lento y llega después de las ondas de P y S.



Evento Local

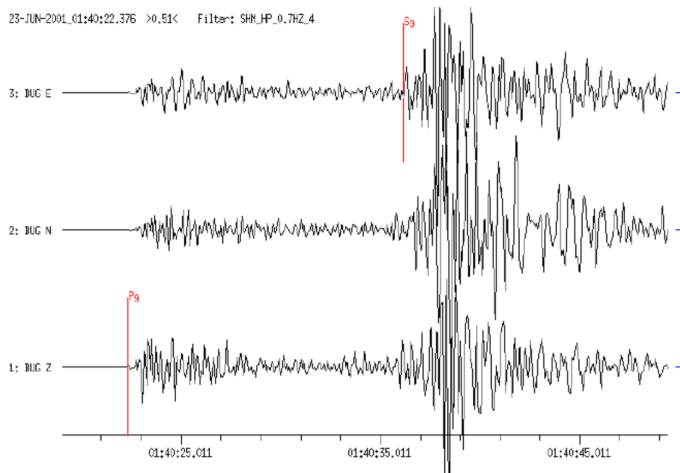


Figura 11: Sismograma de 3 componentes registrando un sismo local.
(Fuente: NMSOP)



- La Figura 11 muestra un sismo local (distancia entre la fuente y la estación es alrededor de 100 km). El sismo es de baja magnitud (menor que 4). La duración del registro es 30 segundos.
- Las ondas P y S generadas por el terremoto viajan por la corteza.
- La onda P es más pronunciada en la dirección vertical. Se siente con menor amplitud, con alta frecuencia.
- La onda S tiene su movimiento mas en la dirección horizontal, con mayor amplitud, y con menor frecuencia.
- A veces la onda P es difícil de sentir, la onda S sigue unos segundos después y es más notable.



Evento Telesísmico

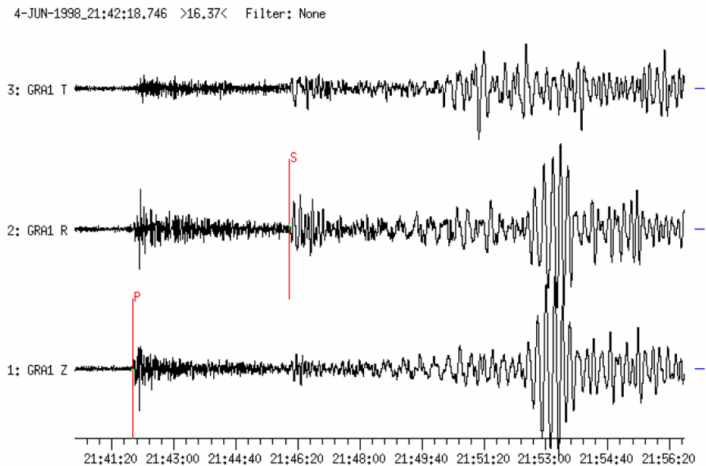


Figura 12: Sismograma de 3 componentes registrando un terremoto telesísmico.
(Fuente: NMSOP)



Evento Telesísmico

- El sismograma en Figura 12 esta a una distancia de 2500 km, magnitud 6,3.
- Eventos de mayor magnitud a distancias de cientos o miles de kilómetros, empiezan a mostrar más fases sísmicas debido a rebotes dentro de la Tierra y la interacción de las ondas P y S con la superficie de la Tierra.
- Se puede sentir las ondas de superficie (Love y Rayleigh), que vienen al final del registro y tienen un largo periodo de oscilación (baja frecuencia).
- Las ondas de superficie pueden estar amplificadas por el tipo de suelo en la ubicación del registro.
- Edificios con frecuencias resonantes similar a la frecuencia de las ondas de superficie pueden oscilar notablemente incluso a miles de kilómetros desde el epicentro.



¿Predicción de Terremotos?

- Aunque una cierta falla puede tener un terremoto característico que se repite en un tiempo característico, la predicción de los terremotos es difícil porque: 1) los valores pueden ser desconocidos, especialmente si el tiempo característico es muy largo; 2) el terremoto puede ocurrir en cualquier momento - el tiempo característico solamente es un promedio; 3) las condiciones físicas o reológicas (la deformación de la corteza) pueden cambiar en tiempo, y particularmente son afectadas por terremotos.
- Interesantes nuevas técnicas están en desarrollo, basadas sobre la hipótesis que rocas bajo estrés crítico emiten ondas electromagnéticas de muy baja frecuencia unas horas antes de un terremoto, (por ejemplo [Quakefinder](#)), pero todavía existen dudas sobre el éxito de esas técnicas.



Correlation of pre-earthquake electromagnetic signals with laboratory and field rock experiments

T. Bleier¹, C. Dunson¹, C. Alvarez¹, F. Freund², and R. Dahlgren³

¹Quakefinder, Palo Alto, Ca, USA

²NASA Ames Research Center, Moffett Field, Ca, USA

³Dept. of Physics and Astronomy, San José State University, San José, Ca, USA

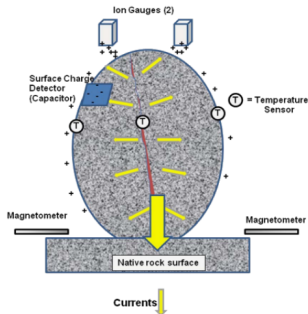


Figura 13: Rocas estresadas hasta su punto de fractura emitan señales electromagnéticas antes de fracturarse. (Fuente: Quakefinder)



- Las Figuras 14 y 15 muestran registros de un magnetómetro instalado en California cerca de una falla superficial.
- En un día "tranquilo" (Figura 14) existe poca variabilidad en el campo magnético durante el día.
- En un día de un terremoto (Figura 15), existe mayor variación en el campo magnético en las horas antes de un terremoto.
- Una hipótesis es que rocas estresadas hasta su límite elástica empiezan fracturarse, un proceso que libera partículas cargadas. Las cargas moviéndose generan grandes corrientes subterráneas que causan fluctuaciones en el campo magnético terrestre.



Typical "Quiet Day" at Site 609 near Alum Rock

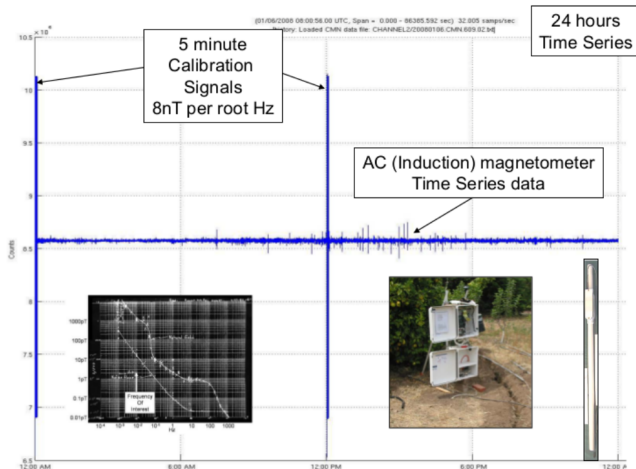


Figura 14: Registro de un día típico "tranquilo" en un magnetómetro en California.
(Fuente: Quakefinder)



Pulsations observed on day of Quake (10/30)

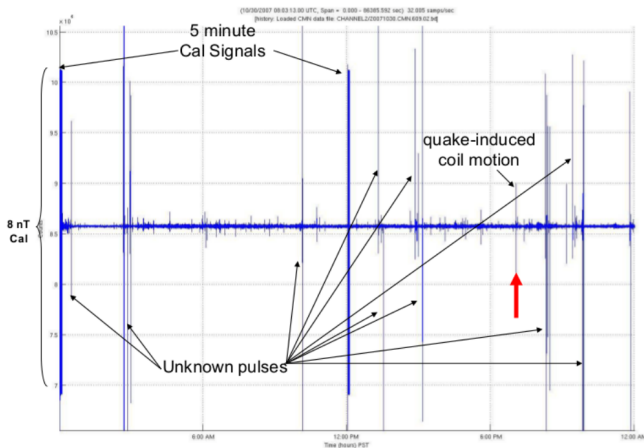


Figura 15: Registro de un día que contiene un terremoto en un magnetómetro en California. (Fuente: Quakefinder)



¿Luces antes de Terremotos?

- Una hipótesis es que descargas eléctricas en una falla podrían causar efectos de luz.
- También efectos de luz podrían ocurrir durante terremotos.
- Ojo: existen muchos efectos atmosféricos que también producen luces en el cielo!



Figura 16: Foto tomada en Yukon, Canadá mostrando siete luces encima de una falla sísmica, en un día de un terremoto. (Fuente: [Seismological Research Letters](#))



¿Comportamiento Animal antes de Terremotos?

- Muchas observaciones existen de comportamiento animal "extraño" antes de un terremoto.
- Una hipótesis es que ciertos animales pueden detectar variaciones electromagnéticas en el aire, responden a la acumulación de electricidad estática en el suelo, y están afectados por cambios químicos en aguas producidos por descargas eléctricas dentro de la Tierra.
- Por ejemplo, existen observaciones biológicas de una evacuación masiva de sapos antes del terremoto en L'Aquila en Italia.
- Si embargo, comportamiento sistemático antes de todos los eventos, y un mecanismo explicando lo que pasa, todavía nos elude.



¿Comportamiento Animal antes de Terremotos?

- Las abundancias relativas de animales en la Figura 17 fueran registradas usando una cámara de sensor de movimiento, entonces son datos estadísticos.
- Un terremoto de magnitud 7 ocurrió el día 24/08/2011.

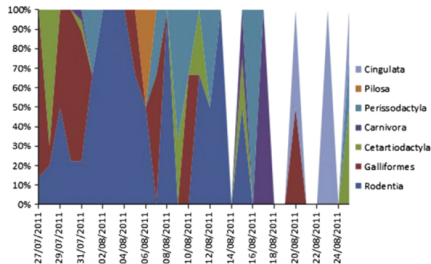


Figura 17: Abundancias relativas de diferentes animales en Parque Nacional Yanachaga en Perú durante un periodo de 1 mes que contenía un terremoto.

(Fuente: [Physics and Chemistry of the Earth](#))



¿Futuros Terremotos en Chile?

- Hoy en día, no es posible predecir terremotos con seguridad en las horas / días / meses antes de un evento.
- Es bastante probable que antes de algunos terremotos existan algunos precusores. Para tener un método predictivo, necesitamos que ciertos precusores existan antes de todos los terremotos.
- Mientras no se pueda determinar bien las fechas de los próximos terremotos, se pueden estudiar ejemplos históricos para estimar lo que podría venir dentro del próximo ciclo sísmico (100+ años).
- Predicciones en la sismología siempre han sido imprecisas, y siempre ocurren cosas inesperadas. ¡La única cosa que puedo decir con seguridad es que vamos a tener mas terremotos en Chile en el futuro!
- Varios de estos terremotos van a ser sorpresas, incluso para la comunidad científica.



Resumen - Conclusiones

- La mayoría de la sismicidad global ocurre en las fronteras entre placas tectónicas.
- En una zona de subducción, es el roce entre el continente y la placa oceánica que forma el proceso inter-sísmico.
- Las condiciones térmicas de la placa oceánica y su velocidad determinan la cantidad de sismicidad asociada con una zona de subducción.
- Deformación acumula durante la fase inter-sísmico durante muchos años. La fase co-sísmica libera esta deformación en un periodo de segundos a minutos.
- El hipocentro de un terremoto esta localizada en el tiempo y el espacio.
- Fallas normales están asociadas con extensión, fallas inversas con compresión, fallas de desgarra con movimiento lateral.



Resumen - Conclusiones

- Un terremoto tiene un solo magnitud, pero su intensidad puede variar de un lugar al otro.
- Mapas de intensidad se puede generar a unos minutos después de un terremoto para ver su potencial efecto sobre edificios.
- Terremotos superficiales pueden producir daños severos locales.
- Ondas sísmicas son la P, la S, y las superficiales.
- Para un evento local, la onda compresional P llega primero, seguido por la S (transversal, mayor amplitud).
- Antes de algunos terremotos, algunas fluctuaciones magnéticas han ocurridas.
- Potencialmente, nunca estaría posible predecir a un terremoto con minutos/horas/días de anticipación.
- Si algún día se podría predecir terremotos, potencialmente estaría usando mediciones magnéticas.



Preguntas

- 1 ¿Por qué la sismicidad en el Norte-Central de Chile es mayor que en el Sur?
- 2 ¿Cómo se generan tsunamis en una zona de subducción?
- 3 Define los términos: Hipocentro, Epicentro, Foco.
- 4 ¿La subducción de la Placa de Nazca en Chile corresponde a una falla normal o una falla inversa?
- 5 ¿Qué es la diferencia entre magnitud e intensidad?
- 6 De un ejemplo de una falla superficial peligrosa en Chile.
- 7 ¿Cómo se siente un terremoto local de baja magnitud? ¿Cómo se siente un terremoto grande a mayor distancia?
- 8 Mirar este video: [My dog Sophie senses the 6.5 earthquake](#) y discuta si el perro esta haciendo una predicción. ¿Qué realmente esta pasando aquí?



Lectura y actividades adicionales

- Leer sobre la amplificación de las ondas y riesgos sísmicos en Tarbuck y Lutgens p. 326 (Recuadro 11.2).
- Familiarizarse con la página del [Centro Sismológico Nacional](#).
- Familiarizarse con la página del [USGS](#) para terremotos.
- Buscar unos posibles terremotos devastadores en la página del [escenarios de ShakeMaps](#).
- Revisar información probabilística sobre efectos estimados de terremotos en tiempo real: [USGS - PAGER](#).
- Bajar / visualizar sismogramas desde el servicio de [WILBER3](#) de [IRIS](#).

