

GUÍA PEDAGÓGICA

Máquina de terremotos



Objetivos:

Conocer y experimentar la naturaleza de los terremotos y enunciar los avances de la ciencia y la tecnología en materia de sismología, especialmente en Chile.

Contexto y fundamentos

En Chile vivimos en medio de un paisaje tectónico. La deformación de las rocas en el interior de la Tierra requiere de un trabajo considerable. La energía necesaria es aportada por la gravedad terrestre y los desplazamientos horizontales de las placas tectónicas, las que ejercen presión en las rocas de la corteza de la Tierra provocando la deformación.

A estas fuerzas que actúan en las profundidades de la Tierra se les denomina esfuerzos y son las responsables de los pliegues, fallas y terremotos en la corteza terrestre.

El paisaje que vemos es el resultado de la relación entre deformación y esfuerzos. Esta conexión no es simple y depende de numerosos factores. La disciplina que se ocupa de estudiar las leyes de comportamiento de los materiales en la tierra es la Reología.

Deformación frágil versus deformación dúctil

La deformación de las rocas se produce de manera compleja, interviniendo diferentes mecanismos que dependen del tiempo (cinemática). A tasas lentas, las rocas deforman plásticamente, como cuando se modela plasticina. A tasas rápidas, la deformación es frágil, es decir, se producen fallas o fracturas, como cuando se quiebra un cristal.

Las fuerzas horizontales que actúan en la corteza terrestre, como resultado del movimiento de las placas, son responsables de la deformación de las rocas. Esta deformación es absorbida de manera dúctil por las rocas a escalas de tiempo geológicas (miles a millones de años), y de forma frágil cuando se producen fracturas o fallas (terremotos), a escala de unos pocos segundos. Además, la presencia de fluidos en la corteza terrestre facilita la ocurrencia de deformación frágil.

¿Qué es un modelo de deformación a escala?

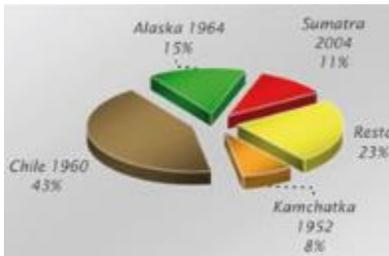
Un “modelo analógico” a escala es un experimento que intenta representar el proceso de deformación de la corteza terrestre debido a fuerzas tectónicas y explicar la formación del paisaje: montañas, pliegues y fallas.

Durante cientos de años, los científicos intentaron comprender cómo se producían las montañas y cuál podía ser el mecanismo que operaba en la tierra que permitiera comprender la creación de relieve, actuando contra la fuerza de gravedad y al mismo tiempo produciendo enormes deformaciones horizontales

que generaban pliegues y fallas tectónicas. El científico norteamericano Bailey Willys diseñó este experimento a fines del siglo XIX, cien años antes de apareciera la teoría de la Tectónica de Placas.

Sismicidad en Chile

La actividad sísmica en el planeta no se distribuye de manera uniforme, se organiza a lo largo de las fronteras de las placas tectónicas y la mayor parte de la energía sísmica en el mundo se libera en las zonas de subducción.



Energía sísmica liberada en el planeta entre 1900-2000

En la subducción de Chile ocurren todos los tipos de terremotos posibles y se libera más del 40% de la energía sísmica de la tierra. La **subducción** es el proceso en el cual una placa pasa por debajo de otra, produce una transferencia de deformación hacia la placa superior. Esta deformación puede ser monitoreada mediante medidas GPS sobre la superficie de la Tierra.

Los mega terremotos son terremotos de magnitud mayor a 8 ($M > 8$). Éstos ocurren en las zonas de subducción. Sin embargo, hay terremotos que suceden en áreas continentales, por ejemplo dentro de la corteza terrestre producidos por fallas geológicas que se activan cada cierto tiempo y tienen profundidades menores que 20 km. Estos sismos, pese a tener magnitudes menores ($M < 7$), pueden llegar a producir gran impacto y destrucción por su mayor cercanía a las zonas pobladas.

El terremoto de Maule (magnitud 8.8) del 27 de febrero de 2010 es un típico terremoto de subducción. Los sismos de Chusmiza, ocurrido en el desierto del norte de Chile el año 2001, y el de Las Melozas, en el Cajón del Maipo en la Región

Metropolitana en 1958, son ejemplos de sismos continentales en la corteza superior.

La distribución de los sismos tampoco es homogénea a lo largo de nuestro país. Se localizan más eventos en algunas regiones que en otras y las magnitudes y profundidades de los sismos también son variables.

El terremoto de Valdivia de 1960, el de Atacama de 1922 y el de Maule de 2010 son parte de los mayores terremotos del planeta de los últimos 100 años. Dentro de los terremotos históricos más devastadores en Chile, se encuentran los de 1835 de Concepción, el de 1868 de Arica y el de 1877 de Iquique. Estos grandes sismos vinieron acompañados de violentos tsunamis que arrasaron con lo poco que quedó en pie después del terremoto.

GRANDES SISMOS REGISTRADOS EN CHILE					
SIGLO XVI	SIGLO XVII	SIGLO XVIII	SIGLO XIX	SIGLO XX	SIGLO XXI
• 1570, 8 feb. Concepción	• 1604, 17 jun. La Serena	• 1722, 24 mayo Santiago	• 1819, 3, 4 y 11 abr. Copiapó	• 1906, 16 agost, Valparaíso	• 2005, 18 junio, Tarapacá
• 1575, 16 dic. Valdivia	• 1604, 24 nov. Arica	• 1730, 24 mayo Valparaíso	• 1822, 19 nov. Copiapó	• 1918, 4 dic., Copiapó	• 2007, 21 abr, Aysén
	• 1615, 6 dic. Arica	• 1737, 24 dic. Valparaíso	• 1835, 20 feb. Concepción	• 1922, 10 nov., Copiapó	• 2010, 27 feb., Maule
	• 1643, 5 sep. Santiago	• 1751, 24 mayo Concepción	• 1837, 7 nov. Concepción	• 1928, 1 dic., Talca	• 2014, 1 abril, Iquique
	• 1647, 13 may. Santiago	• 1796, 30 marzo, Copiapó	• 1868, 13 agosto, Arica	• 1939, 24 enero, Chillán	• 2015, 16 sept., Canela
	• 1650, 31 marz. Arica		• 1877, 9 mayo, Iquique	• 1943, 6 abril, La Serena	
	• 1657, 15 marzo, Concepción.		• 1879, 2 feb., Punta Arenas	• 1949, 17 dic. , Punta Arenas	
	• 1681, 10 marzo, Arica			• 1958, 4 sept., Las Melosas	
				• 1960, 21 y 22 mayo, Valdivia	
				• 1965, 28 marzo, La Ligua	
				• 1971, 8 julio, Illapel	
				• 1985, 3 marzo, Santiago	

Tecnologías para el estudio de los terremotos

Los sismólogos hoy tienen una mejor comprensión sobre la física que explica la ocurrencia de los terremotos. Las nuevas tecnologías han mejorado notablemente los instrumentos digitales de observación de señales sísmicas y se hoy se logra medir la deformación de la corteza por satélites (GPS) que orbitan a más de 30 mil km de altitud con niveles de detalle y precisión difíciles de imaginar hace sólo un par de décadas. Actualmente se puede identificar y definir, sobre bases científicas, regiones donde se estaría preparando un gran terremoto.

¿Qué es un GPS?

Las siglas significan Global Positioning System o Sistema de Posicionamiento Global que permite fijar a escala mundial la posición (latitud, longitud y altura) de un objeto o persona en cualquier lugar del globo terráqueo. El sistema está compuesto por una red de 24 satélites denominada NAVSTAR, situados en una órbita a unos 20.200 km. de la tierra, y unos receptores GPS que permiten determinar una posición en cualquier lugar, de día o de noche, y bajo cualquier condición meteorológica.

Cada satélite da 2 vueltas diarias al planeta, una cada 12 horas. Las trayectorias y la velocidad orbital han sido calculadas para que formen una especie de red alrededor de la tierra, por lo que en todo momento hay 5 satélites a la vista en cualquier zona, de manera que un equipo receptor GPS pueda entregar la posición que ocupa al captar y procesar las señales emitidas por un mínimo de 3 satélites. Podemos clasificar los equipos receptores según su precisión: navegadores, cartográficos y geodésicos.

Los nuevos instrumentos digitales de observación sísmológica construidos estos últimos años con tecnología moderna permiten identificar diferentes tipos de terremotos según las modalidades de liberación de la energía sísmica. La ciencia hoy ha comprendido que el proceso de acumulación de energía potencial elástica deformando los materiales rocosos de las capas más superficiales de la Tierra, se

realiza en periodos de tiempo que comprenden desde decenas de años a varias centenas años. Como las placas se mueven a varios centímetros por año unas respecto a otras, la acumulación de energía es enorme.

Al contrario de lo que comúnmente se piensa, el terremoto no es la sacudida brusca del suelo que ocurre cuando las ondas sísmicas alcanzan la superficie de la Tierra. El terremoto es el proceso de liberación de esa energía potencial almacenada por años y liberada en el foco o hipocentro. Hoy sabemos que sólo una pequeña fracción de esa energía liberada se irradia en forma de ondas elásticas. El resto se consume para alimentar la propagación de la ruptura sísmica a lo largo de la superficie de falla y el resto se disipa en forma de calor.

EJERCICIO “Máquina de terremoto” (1 hora)

Esta actividad tiene tres etapas:

- a. Medición
 - b. Registro
 - c. Socialización de resultados en el grupo.
1. Se utiliza un prototipo de máquina de terremotos (que se puede construir en el aula) para poner en evidencia el comportamiento aleatorio de los sismos, y explicar el fenómeno de ruptura en fallas tectónicas. Se explica la tipología de terremotos de Chile y el modelo de máquina de terremotos que se usará.
 2. Cada vez que se produzca un desplazamiento sobre el plano inclinado, se procede a medir la longitud desplazada y los intervalos de tiempo entre cada desplazamiento.
 3. Se repite la experiencia varias veces para disponer de al menos 4 medidas que representen el comportamiento del sistema. Es necesario girar de manera constante la manivela para producir una “carga” uniforme en el tiempo. Las medidas se registran en una tabla.

4. Se grafican las medidas en una figura representando los desplazamientos con respecto a los intervalos de tiempo entre cada uno de ellos.
5. Se discuten los resultados para observar la irregularidad de los saltos (a pesar de la constancia de la “carga”) y concluir sobre el carácter caótico del sistema y explicar la fricción.
6. Se concluye sobre la dificultad de predecir terremotos y se relaciona con los conceptos vistos en esta guía pedagógica.