



Los temblores

Juan Espinoza G.

juan.espinoza@umce.cl

Departamento de Física

Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación

Introducción

Con esta guía didáctica y el estudio del contenido de esta producción audiovisual, se pretende que los estudiantes comprendan algunas de las características físicas de la estructura interna de la Tierra, cómo se originan los movimientos sísmicos, y cómo los científicos han descubierto algunas de estas propiedades.

Este programa de actividades, o guía didáctica para el profesor, se elabora sobre la base del modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación, el que puede ser analizado en diversas fuentes bibliográficas, tales como el libro editado por la UNESCO (Gil et al, 2005)¹, en el que se propone una nueva metodología para aumentar el interés de los estudiantes por la cultura científica, ante el fracaso o falta de interés por estudiar contenidos científicos en la educación secundaria. En el libro antes citado, el profesor encontrará ejemplos de programas de actividades para diversos temas científicos. Otra referencia del modelo se encuentra en el artículo en que se analiza la contribución de la historia y filosofía de la ciencia a la fundamentación del modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación (Gil, 1993)², en el que se comparan las principales tendencias en la enseñanza de las ciencias y se plantea que, además del cambio conceptual debe haber un cambio metodológico, considerando que existe una cierta semejanza, o paralelismo, entre las concepciones alternativas de los estudiantes, en algunos campos del conocimiento, y las concepciones históricas de la ciencia que fueron reemplazadas por los conocimientos actuales, hoy aceptados por la comunidad científica. Lo que ha ocurrido en la historia de la ciencia, según los autores del modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación, ha sido un cambio metodológico, al reemplazar las teorías antiguas por las nuevas, abandonando lo que podría denominarse como una *Física del sentido común*.

1 Gil Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Vilches, A. (2005) ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años. OREALC/UNESCO. Libro on line.

2 Gil Pérez, D. (1993) Contribución de la historia y filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. Enseñanza de las Ciencias, 1993, 11(2), 197-212.

El modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación está bien fundamentado teóricamente, puesto que, según diversos autores, cumple con ciertos elementos o factores necesarios que debe presentar la fundamentación de toda propuesta didáctica acerca de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, como lo plantea Campanario (2004) en su sitio web de La Enseñanza de las Ciencias en preguntas y respuestas³, y como lo planteó anteriormente en otro artículo⁴. A los elementos que se deben considerar se ha agregado, en los factores pertinentes, lo que plantea la nueva taxonomía de Marzano-Kendall⁵, como una alternativa para enriquecer el trabajo educativo desde su planificación. Entonces, los factores se pueden expresar en los siguientes términos:

- Naturaleza de la Ciencia (trata de la Filosofía, Historia y Sociología de la ciencia, o en otras palabras, cómo funciona la ciencia y del trabajo científico); hay que tener en cuenta que no todos los modelos o enfoques de enseñanza de las ciencias consideran explícitamente este factor en su fundamentación teórica.
- Psicología del aprendizaje de las ciencias (influenciado por suposiciones y teorías acerca de cómo se aprende, en que se puede considerar: desarrollo evolutivo; teoría de Ausubel; aprendizaje significativo; la teoría del esquema; la metacognición; taxonomía de Marzano-Kendall con su sistema interno, sistema metacognitivo y sistema cognitivo).
- Motivación y actitudes hacia las ciencias (esto también está relacionado con la metacognición, siendo la motivación y las actitudes procesos del sistema interno de los aprendices, según la taxonomía de Marzano-Kendall).
- Las concepciones alternativas: Lo que los alumnos saben hacer y piensan (donde se deben considerar: las ideas alternativas o preconceptos; las concepciones alternativas; las pautas de pensamiento y razonamiento; las concepciones epistemológicas).

El modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación está bien fundamentado teóricamente, En los trabajos del profesor Gil Pérez y las dos obras citadas del profesor Campanario se analiza el modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación, adoptado para la elaboración de este material didáctico, por lo que se remite a los docentes a estos trabajos.

Esta producción audiovisual, que se puede ver para ser analizada en clases, se encuentra en youtube en la dirección url <https://www.youtube.com/watch?v=WVP2UB-K988>. En el video se muestran diversos contenidos relacionados con los temblores, su descripción física, entre ellos están los del índice siguiente.

3 Campanario, J. (2004) La Enseñanza de las Ciencias en Preguntas y Respuestas. Visto en el año 2004. Hay en la web una versión más breve.

4 Campanario, J. y Moya, A. (1999) ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. Enseñanza de las ciencias, 1999, 17 (2), 179-192.

5 Marzano, R.J. y Kendall, J.S. (2007) The new taxonomy of educational objectives, California, USA, Corwin Press. Existe un resumen en español en internet.

Índice

- 1 . Estructura interna de la Tierra.
- 2 . Origen de los temblores.
- 3 . Tectónica de placas y sismicidad.
- 4 . ¿Qué es una onda en Física?
- 5 . Ondas sísmicas y su propagación.
- 6 . Hipocentro (o foco) y epicentro de un temblor.
- 7 . Localización de un sismo.
- 8 . Comparación entre fenómenos luminosos y las ondas sísmicas.
- 9 . Magnitud e intensidad de un sismo.
10. Las escalas Richter y Mercalli para la medición de un sismo.
11. Deriva continental.
12. Simulación de la convección en el manto terrestre.
13. Bordes de placas convergente, divergente y deslizante.
14. Dorsales oceánicas.
15. Formación de cordilleras.
16. Chile como país de alto riesgo sísmico.
17. La placa de Nazca y el Cinturón de Fuego del Pacífico.
18. Los grandes terremotos del mundo y de Chile.

Situación problemática

El conjunto de actividades planteadas responde a la siguiente situación problemática:

¿Cómo se originan los temblores, cómo se describe el interior de la Tierra, cuáles son sus características físicas principales y qué área de la ciencia estudia todos estos fenómenos?

Para resolver esta situación problemática, los estudiantes trabajando en grupos de 3 o 4 integrantes, deben, en primer lugar, responder los interrogantes planteados en la Actividad 1, de manera individual y después grupal, antes de ver el video.

Programa guía de actividades

Actividad 1. Antes de ver el video "Los Temblores", respondan los siguientes interrogantes. Escriban cada una de las opiniones y conocimientos de los integrantes del grupo de trabajo. Planteen hipótesis respecto a los interrogantes planteados. Tomemos estas ideas como planteamiento de hipótesis, las que se tienen que demostrar para aceptarlas.

- a) ¿Qué es un temblor?
- b) ¿Cómo se origina un temblor?
- c) ¿Qué diferencia existe entre temblor y terremoto?
- d) ¿Qué es la sismología?
- e) ¿Qué ocurre en el interior de la Tierra cuando se origina un temblor?
- f) ¿Cuál es la estructura interna de la Tierra?
- g) ¿Qué son las placas tectónicas?
- h) ¿Cuáles son las principales placas tectónicas?
- i) ¿Qué es una onda sísmica y cómo se compara con las ondas?
- j) ¿Qué es la deriva continental?
- k) ¿Cuáles son los principales bordes de placas?
- l) ¿Cuáles son los principales países de alto riesgo sísmico?
- m) ¿Cuál ha sido su experiencia mientras está temblando?

Comentarios A1.- Estas preguntas iniciales tienen el propósito de revisar lo que los estudiantes saben respecto a estos temas, sus concepciones alternativas y probables creencias⁶ acerca de estos conceptos. La investigación en didáctica de las ciencias⁷ muestra que los estudiantes y público general poseen preconcepciones acerca de conceptos científicos en general, lo que influye en el aprendizaje de las ciencias. En el tema de los terremotos y conceptos afines, se han investigado las concepciones alternativas en diversos niveles escolares. Las referencias a las investigaciones realizadas respecto a las concepciones alternativas acerca de los terremotos y otros conceptos de ciencias de la Tierra, asociados a ellos, son numerosas. Por ejemplo, en un documento⁸ se enlistan las publicaciones de las investigaciones, que tratan las preconcepciones que tienen estudiantes y profesores, desde el año 1982 hasta el 2011. En uno de los trabajos⁹ consultados se pregunta a estudiantes, de distintos niveles de primaria en Estados Unidos, los siguientes interrogantes: ¿Qué es un terremoto?; ¿Son lo mismo un terremoto y un volcán?; ¿Qué sucede en el suelo cuando ocurre un terremoto?; ¿Qué sucede bajo la superficie cuando ocurre un terremoto?; ¿Has estado alguna vez en un terremoto? ¿Qué sucedió?; ¿Qué sucedería a una persona si estuviese en un terremoto? Las respuestas son diversas y se presentan en tablas en distintas categorías, mostrando las creencias y concepciones alternativas de los estudiantes.

6 Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. 2ª edición (1992) Ideas científicas en la infancia y la adolescencia. Ed. Morata.

7 Children's ideas in science, on line con listas de preconceptos de todas las ciencias en: <http://homepage.mac.com/vtalsma/sylabi/2943/handouts/misconcept.html>

8 Student & teacher conceptions of earthquakes and other underpinning topics: 30 years of research. Updated, July 13, 2011. En: <https://www.unavco.org/education/professional-development/short-courses/course-materials/teacher-interpretation-development/2011-2012-PIRE-teacher-course-materials/Student-teacher-conceptions-of-earthquakes-reference-list.pdf>

9 Ross, K. y Shuell, T. (1993) Children's beliefs about earthquakes. *Science Education* 77 (2), pp 191-205.

En la web es posible encontrar una lista con preconcepciones¹⁰ de temas de las geociencias que están organizadas sobre la base de los principios de alfabetización en Ciencias de la Tierra.

En otros trabajos se estudian las concepciones alternativas acerca de los terremotos, la estructura interna de la Tierra, las placas tectónicas, las ondas sísmicas, por nombrar sólo los procesos geofísicos que tienen relación con el tema de este video. En Chile también se ha realizado una investigación de preconcepciones acerca de terremotos¹¹.

Algunas concepciones alternativas comunes que presentan los estudiantes acerca de los temas abordados en este video y en esta guía didáctica, tomadas de diversas investigaciones, se presentan a continuación. Se sugiere que el profesor esté atento para construir conocimientos a partir de ellos. Una selección de estas concepciones alternativas¹² de estudiantes y profesores, extraídas del artículo de Francek (2013), que abarcan los temas de terremotos, estructura interna de la Tierra, ondas sísmicas, entre otras que aparecen en el artículo, son:

- Erupciones solares y tormentas magnéticas originan terremotos (USGS, 2009).
- El tiempo atmosférico gatilla los terremotos (USGS, 2009).
- Los terremotos originan volcanes (USGS, 2009) .
- Los terremotos se pueden predecir (USGS, 2009).
- Los animales predicen los terremotos (USGS, 2009).
- Los terremotos se producen a determinadas horas del día (USGS, 2009).
- Se abren grandes y profundas fisuras cuando ocurren los terremotos (USGS, 2009).
- La magnitud Richter aumenta de amplitud e involucra una magnitud lineal en lugar de logarítmica (Krishna, 1994).
- Los terremotos ocurren debido al colapso de espacios huecos subterráneos (Kirby, 2011).
- Los terremotos y volcanes son estudiados conjuntamente debido a que ambos son provocados por presiones bajo el suelo (Barrow & Haskins, 1996).
- No se pueden unir las distribuciones de terremotos a aquellos terremotos de origen de foco profundo (King, 2000).
- Los terremotos y volcanes son estudiados juntos debido a que los terremotos causan los volcanes (Barrow & Haskins, 1996).
- Los terremotos son causados por el calor, la temperatura, el clima, el tiempo atmosférico, la gente, animales, la presión del gas, la gravedad, la rotación de la Tierra, la explosión del terreno o de los volcanes (Libarkin, Dahl, Belifuss & Boone, 2005).
- El viento que sopla a través de pasajes y cuevas subterráneos provocan los terremotos (Kirby, 2011).
- La predicción de los terremotos es posible (Coleman & Soellner, 1995).
- El foco de un terremoto está donde primero todos los tipos de ondas son emanados (Wampler, 2002).

10 List of common Geoscience misconceptions organized by the Earth Science Literacy Principles.

Vergara, C., Pinto, L., Bustamante, K., González, P., Jiménez, J. y Cofré, H. (2017) European Science Education Research Association ESERA, 2017, Dublin City University. En: https://keynote.conference-services.net/resources/444/5233/pdf/ESERA2017_1474_paper.pdf

12 Francek, Mark (2013) A compilation and review of over 500 Geoscience misconceptions. International Journal of Science Education, vol. 35, N° 1, January 2013, pp 31 – 64.

-
- Las ondas sísmicas tienen relación con el movimiento de partículas en largas distancias netas (Kirby, 2011).
 - Las ondas sísmicas van desde la corteza al núcleo, pero no del núcleo a la corteza (Kirby, 2011).
 - Las ondas S (ondas secundarias) no alcanzan el otro lado de la Tierra desde donde el terremoto se originó a que ellas no pueden pasar a través de los océanos (Kirby, 2011).
 - Los terremotos son eventos raros (Kirby, 2011).
 - Las hendiduras del suelo que se abren durante un terremoto se tragan a la gente y los edificios (Kirby, 2011).
 - El más grande terremoto es de magnitud 10 (Kirby, 2011).
 - Los terremotos son originados por cambios de la gravedad o del campo electromagnético (Tsai, 2001).
 - Los terremotos se deben a fuerzas sobrenaturales (Tsai, 2001).
 - El calor es la fuerza que está detrás de los terremotos ((Leather, 1987).
 - El clima o tiempo atmosférico caliente es la fuerza detrás de todos los terremotos (Leather, 1987).
 - Un terremoto no es posible que ocurra en algunos países, como Inglaterra y otros (Leather, 1987).
 - Muchos de los terremotos ocurren sólo en climas calientes (Leather, 1987).
 - Lava fluye desde el suelo durante un terremoto (Leather, 1987).
 - Los terremotos se originan debido a que los niños encienden un fuego y olvidan apagarlo (Simsek, 2007).
 - Un terremoto ocurre debido a que Dios necesita que sigan su camino (Simsek, 2007).
 - Los terremotos ocurren debido a que Dios está cavando con una pala (Simsek, 2007).
 - Los terremotos ocurren debido a la ebullición del agua subterránea (Simsek, 2007).
 - Los terremotos ocurren debido a deslizamientos del suelo (Simsek, 2007).
 - Los terremotos ocurren debido al agua que proviene del subsuelo (Simsek, 2007).
 - Los terremotos ocurren debido a las tormentas (Simsek, 2007).
 - Los terremotos ocurren debido a lluvias intensas (Simsek, 2007).
 - Los estados físicos de la Tierra, ya sea sólido, parcialmente sólido, líquido, con la profundidad (King, 2000).
 - El estado físico de la Tierra varía con la profundidad entre las capas de la Tierra (King, 2000).
 - El núcleo de la Tierra está líquido o fundido (Libarkin, 2005).
 - Las variaciones de velocidades de las ondas S como una función de la profundidad (King, 2000).
 - El campo magnético de la Tierra está originado por la gravedad (Dahl et al, 2005)
 - La corteza de la Tierra es de varios cientos de kilómetros de espesor (Libarkin & Anderson, 2005).
 - La corteza de la Tierra es de varios cientos de kilómetros de espesor (Steer, Knight, Owens & McConnell, 2005).

Actividad 2. Vean y analicen el video “Los Temblores” anotando las principales ideas presentadas, los conceptos y leyes físicas que se describen y su aplicación para explicar las características físicas de la estructura interna de la Tierra y el origen de los temblores.

Comentarios A2.- Una vez que los estudiantes hayan planteado por escrito sus ideas acerca de los interrogantes anteriores, se puede exhibir y analizar la producción audiovisual, recordándoles que pongan especial atención a sus principales ideas, que tomen notas y dibujen algunos esquemas y experimentos mostrados. Si es necesario, el video puede ser exhibido nuevamente o la exhibición se puede hacer por partes. Como se manifestó en la introducción, la exhibición de este video presenta la oportunidad de tratar algunos contenidos de termodinámica, tal como la propagación del calor y la estructura interna de la Tierra; la densidad y la diferenciación química de las capas de la Tierra; el concepto de onda en Física, su aplicación a las ondas sísmicas y su propagación; comparación entre fenómenos luminosos y las ondas sísmicas; las escalas sismológicas y la medición de temblores; la energía liberada en un terremoto; la deriva continental y la convección en el manto; entre otros conceptos.

En esta guía para el docente se presenta con mayor profundidad los contenidos abordados en el video, como también se aplican conceptos, leyes y teorías físicas, tratados en el nivel medio de escolaridad y primer año universitario, para que el docente profundice y sepa de dónde provienen esos contenidos, aunque no sean tratados en clase, dependiendo del nivel en que se aplique esta guía didáctica. Para analizar los contenidos tratados en el video, al final de esta guía didáctica se presentan diversas referencias, ya sean artículos de revistas, textos y libros especializados.

Actividad 3. Analicen el posible interés que tiene el estudio de los temblores.

Comentarios A3.- El interés de este tema, al igual que las Ciencias de la Tierra en general, es de suma importancia, particularmente para Chile que está ubicado en una de las zonas más sísmicas del planeta, y que en toda su historia ha sufrido muchos movimientos sísmicos. Las Ciencias de la Tierra, o las Geociencias, como también se las denomina, han llegado al currículo escolar de primaria y secundaria en todo el mundo, y en Chile, no es la excepción, estando en los programas escolares desde comienzos del siglo XXI y, en especial, el tema de los terremotos. En un artículo¹³ de promoción de la Sociedad de Geología de Estados Unidos se preguntan ¿Por qué estudiar y enseñar Ciencias de la Tierra?, y se responde con el propósito de promover la formación de geocientíficos y también obtener un conocimiento general de ellas, puesto que vivimos en el planeta Tierra. Se recomienda que el profesor lea este artículo como también el video, con una duración de 6:43 minutos, de la misma sociedad científica, que se encuentra en youtube en la url: <https://www.youtube.com/watch?v=n1fLhOZdcr4>. En los párrafos siguientes se hace una revisión en la literatura especializada para documentar el interés de las Ciencias de la Tierra en general, y el tema de los terremotos en particular.

Un extenso estudio¹⁴ acerca de la educación en Ciencias de la Tierra (o Geociencias) en el currículo

13 ¿Por qué Ciencias de la Tierra? Este artículo se puede ver en la internet en: https://www.earthsciweek.org/sites/default/files/SEED/WES_Spanish.pdf

14 King, Chris (2008) Geoscience education: an overview. *Studies in Science Education* Vol. 44, N° 2, september 2008, p. 187-222.

lo escolar de distintos países de Europa y América enfocándose en diversas áreas que distinguen a las geociencias de otras áreas del currículo y que son: las metodologías particulares del conocimiento geocientífico, la perspectiva de sistemas holísticos, habilidades geocientíficas espaciales, la comprensión del tiempo geológico, las metodologías y atributos del trabajo de campo de las geociencias, y que también abarca áreas como: un análisis de las concepciones alternativas en geociencias, y estudios del desarrollo profesional de los profesores en geociencias. En el artículo se analiza cada una de estas áreas y se pone de manifiesto en la sección acerca de las concepciones alternativas de los estudiantes en geociencias, aquellas concepciones relativas a los terremotos, entre otros. Esta revisión de las geociencias muestra, por ejemplo que: a) se necesita investigar acerca de los métodos de enseñanza efectivos que abarquen amplias áreas de estudio de las geociencias, b) los materiales desarrollados para la enseñanza de las geociencias necesitan ser evaluados en distintos contextos curriculares, c) el conocimiento de diferentes metodologías para la enseñanza de las geociencias necesitan ser aplicadas e investigadas, d) enfoques para una enseñanza efectiva de la comprensión del concepto de tiempo geológico, e) hay muchas oportunidades para el desarrollo y evaluación de enfoques para el trabajo de campo en geociencias, f) las concepciones alternativas en geociencias son generalizadas y necesitan ser identificadas y estudiadas, g) estudiar la efectividad de la formación profesional en educación en geociencias, su implementación y el impacto en la sala de clase.

Respecto a las concepciones alternativas en geociencias, que ya se mencionaron en una actividad anterior, y como unión al artículo anterior, es preciso mencionar el inventario conceptual en geociencias (Geoscience Concept Inventory, GCI)¹⁵ que es un cuestionario que presenta una diversidad de preguntas acerca de distintos temas de las Ciencias de la Tierra. El cuestionario es una prueba de opción múltiple de unos 70 ítems validados que pueden ser aplicados con estudiantes, el que hasta el momento está en inglés. Los ítems del cuestionario cubren temas de geofísica general, como también las ideas fundamentales de física y química, tales como gravedad y radiactividad, que son esenciales para comprender los conceptos de las Ciencias de la Tierra.

Un tema de especial interés para los profesores de Física consiste en la relación entre Ciencias de la Tierra y la Física, que es posible encontrar en la web en el libro¹⁶ *Physycs of the Earth*. El propósito que se propusieron los autores Stacey y Davis es la de explorar los principios físicos de los diferentes tópicos de las Ciencias de la Tierra, lo que requiere que el lector esté familiarizado con un gran número de ideas interrelacionadas. Algunos capítulos que tienen relación con esta guía didáctica son: propiedades elásticas e inelásticas, mecánica de las rocas, cinemática de los procesos que dan origen a los terremotos, propiedades dinámicas y térmicas de los terremotos, entre otros. Se sugiere a los profesores revisar algunos de los capítulos de este libro.

Por otra parte, se han establecido unos principios¹⁷ de alfabetización en Ciencias de la Tierra en que se dan las grandes ideas de la Ciencias de la Tierra y los conceptos que la sustentan. A grandes rasgos, esta alfabetización consiste en que se comprenda la influencia de la

15 Geoscience concept inventory se puede encontrar en la internet, que también revisa otros Concept Inventory: <https://geocognitionresearchlaboratory.com/2018/11/20/the-geoscience-concept-inventory/>

16 Stacey, F. y Davis, P. (2008) *Physics of the Earth*. Editorial Cambridge University Pres, UK. Ver en file:///C:/Users/56992/Downloads/PhysicsEarth-Stacey-Davis2008%20(1).pdf

17 Principios de alfabetización en Ciencias de la Tierra. (2009) de la web www.earthscienceliteracy.org.

Tierra en la humanidad y la de ésta sobre la Tierra. Estas mismas ideas se presentaron en un simposio (Pedrinaci et al, 2012)¹⁸ en una propuesta curricular para la alfabetización en Ciencias de la Tierra en que se sintetizan las ideas básicas que todo estudiante secundario debería conocer al finalizar sus estudios. Este artículo fue publicado también en una revista de enseñanza de las Ciencias de la Tierra, en que agregaba bibliografía e ilustraciones en color¹⁹. Con el propósito que se analicen estas grandes ideas, se transcriben a continuación.

Idea clave 1.- La Tierra es un sistema complejo en el que interaccionan las rocas, el agua, el aire y la vida.

Idea clave 2.- El origen de la Tierra va unido al del Sistema Solar y su larga historia está registrada en los materiales que la componen.

Idea clave 3.- Los materiales de la Tierra se originan y modifican de forma continua.

Idea clave 4.- El agua y el aire hacen de la Tierra un planeta especial.

Idea clave 5.- La vida evoluciona e interacciona con la Tierra modificándose mutuamente.

Idea clave 6.- La tectónica de placas es una teoría global e integradora de la Tierra.

Idea clave 7.- Los procesos geológicos externos transforman la superficie terrestre.

Idea clave 8.- La humanidad depende del planeta Tierra para la obtención de sus recursos y debe hacerlo de forma sostenible.

Idea clave 9.- Algunos procesos naturales implican riesgos para la humanidad.

Idea clave 10.- Los científicos interpretan y explican el funcionamiento de la Tierra basándose en observaciones repetibles y en ideas verificables.

Cada una de estas ideas claves se describe con otras diversas ideas secundarias, pertinentes a la idea clave principal.

Actividad 4. ¿Qué es un temblor? ¿Cómo se origina un temblor?

Comentarios A4.- Un temblor es el movimiento brusco del suelo que se provoca en una falla de la corteza terrestre. Esta falla es el origen del movimiento sísmico que se propaga por el interior y la superficie de la Tierra. En estos enunciados hay algunos conceptos que se verán más adelante, como los que aparecen en la siguiente definición: Un terremoto es el movimiento violento del suelo provocado por el paso de una onda sísmica emitida desde una falla a lo largo de la cual tiene lugar²⁰. O también la siguiente definición: Un terremoto es la vibración de la tierra producida por la rápida liberación de energía^{21 22}. Han aparecido los conceptos de temblor, sismo, terremoto, falla, corteza terrestre, onda sísmica, vibración, liberación de energía. Por ejemplo, en la ilustración siguiente se ilustra una falla que provoca un movimiento sísmico, propagándose un frente de onda desde la falla. Aparecen otros conceptos como epicentro y foco (o hipocentro) que se estudiarán más adelante.

18 Pedrinaci, E. et al (2012) Alfabetización en Ciencias de la Tierra: Propuesta curricular. Simposio sobre Enseñanza de la Geología, Huelva, 2012.

19 Pedrinaci et al. (2013, diciembre) Alfabetización en Ciencias de la Tierra. En Revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra en internet: file:///C:/Users/56992/Downloads/Aepect_21-2117-129.pdf

20 Press, Frank y Siever, Raymond. (23002) Understanding Earth. 3a edición, Editorial W.H. Freeman, New York.

21 Tarbuck, Edward y Lutgens, Frederick. ((2000) Earth Science. 9a edición, Editorial Prentice Hall, New Jersey.

22 Tarbuck, Edward y Lutgens, rederick. (2010) Ciencias de la Tierra, una introducción a la geología física. Octava edición, Editorial Pearson-Prentice Hall, Madrid.

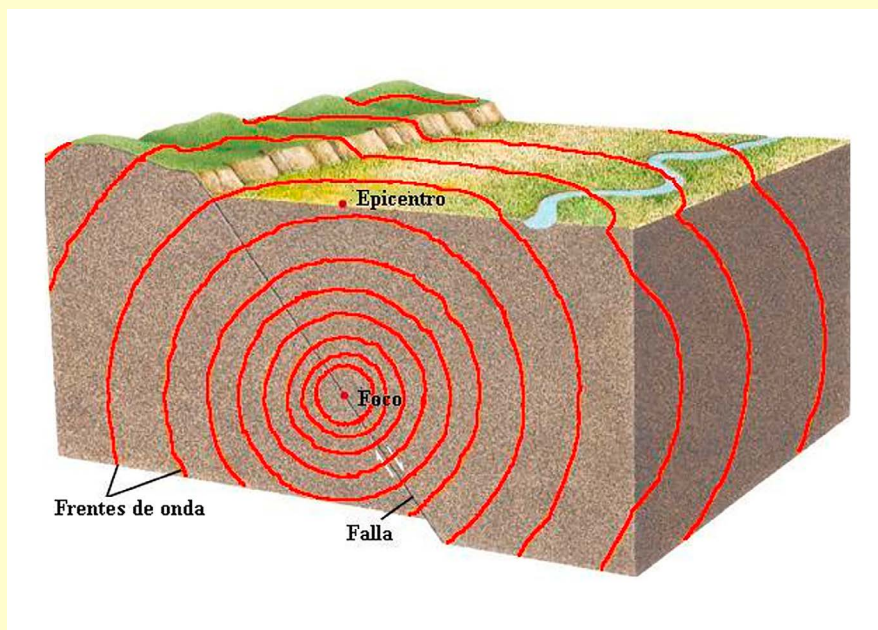


Figura1

Actividad 5. ¿Qué diferencia conceptual existe entre temblor, sismo y terremoto?

Comentarios A5.- En general, todos estos conceptos corresponden a un movimiento brusco del terreno producido en una falla. En inglés se designa por earthquake a este concepto.

Según el diccionario de la RAE se tiene:

- Temblor corresponde a un terremoto de escasa intensidad.
- Terremoto es una sacudida del terreno, ocasionado por fuerzas que actúan en el interior del globo.
- Sismo es un terremoto o sacudida de la tierra producida por causas internas, sismo.
- Seísmo: terremoto, sismo.

En Chile, acostumbrados a los movimientos sísmicos, se designa como temblor a un movimiento del suelo de magnitud Richter 6,5 y menor. A un movimiento sísmico mayor que 6,5 ya se considera como un terremoto.

Actividad 6. ¿Qué es la sismología y cuál es su campo de estudio?

Comentarios A6.- La sismología es el área de la ciencia que tiene por objetivo el estudio de los terremotos, su origen en cuanto a localización, orientación, mecanismo y medida, las ondas sísmicas que se generan, su propagación y el medio físico por donde se propagan. El profesor puede encontrar más información acerca de este tema y el de otras actividades de esta guía en un libro online²³.

²³ Nava, A. (1998) Terremotos. 3ª edición. Editorial Fondo de Cultura Económica, México.

Actividad 7. ¿Cuál es la estructura interna de la Tierra y cómo se llegó a esta diferenciación?

Comentarios A7.- El esquema (Figura 2) ilustra las principales capas de la Tierra; desde el exterior hacia el interior, se tiene: la **corteza**, tanto oceánica como continental, siendo su espesor de unos 40 km y alcanzando unos 70 km en las zonas montañosas y unos 5 km en los océanos; el **manto**, el que se divide en manto superior, contiguo a la corteza, y manto inferior, el que limita con el núcleo; el **núcleo externo** es líquido, y donde se origina el campo magnético de la Tierra; y el **núcleo interno**, sólido y muy denso. Mediante el estudio de la propagación de las ondas sísmicas registradas se puede conocer las capas del interior de la Tierra. Por otra parte, cuando la Tierra estaba completamente fundida, al comienzo de su historia, los materiales de mayor densidad, como el hierro y el níquel, se hundieron provocando el proceso de diferenciación química, dando origen a las capas interiores de la Tierra.

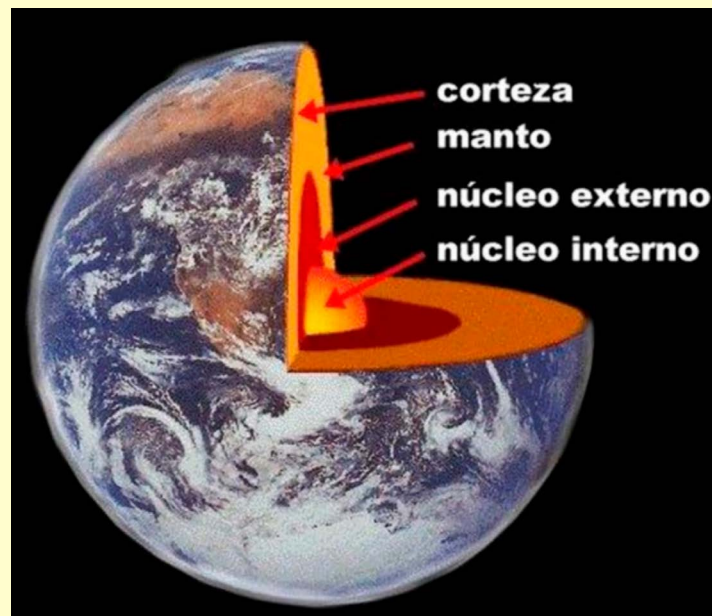


Figura 2

La figura 3 ilustra las capas de la Tierra y sus dimensiones, tomada del Tarbuck²⁴, en donde el lado izquierdo de la sección transversal muestra que el interior de la Tierra, como se mencionó antes, se divide en tres capas distintas según sus diferentes composiciones: la corteza, el manto y el núcleo. El lado derecho ilustra las cinco principales capas del interior de la Tierra según sus propiedades físicas y su resistencia mecánica: la litosfera, la astenosfera, la mesosfera, el núcleo externo y el núcleo interno. Los diagramas en bloque situados en la parte superior de la figura muestran una perspectiva aumentada de la porción superior del interior de la Tierra.

24 Tarbuck, Edward y Lutgens, rederick. (2010) Ciencias de la Tierra, una introducción a la geología física. Octava edición, Editorial Pearson-Prentice Hall, Madrid.

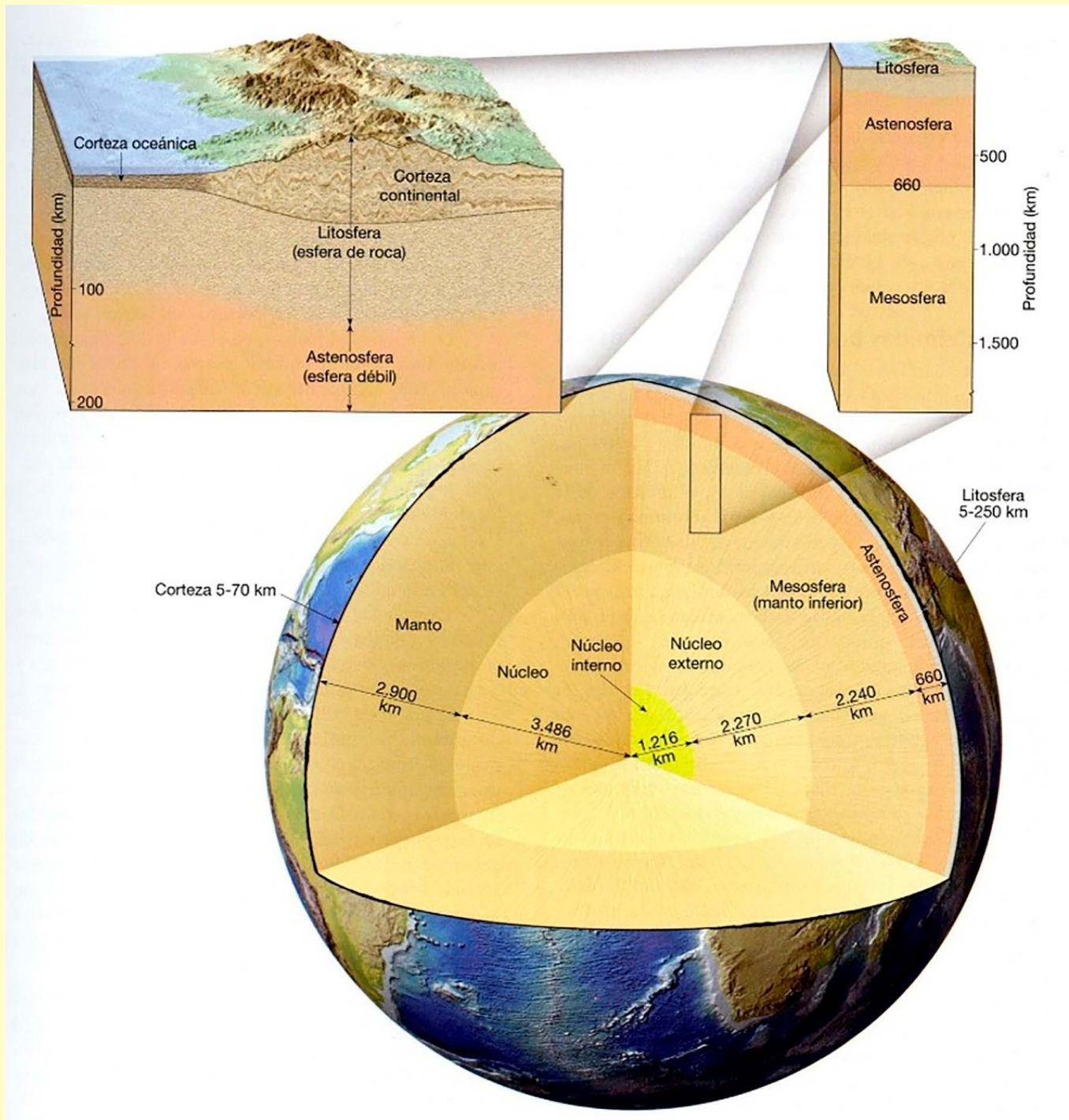


Figura 3

Actividad 8. Construyan un modelo a escala de la estructura interna de la Tierra.

Comentarios A8.- El propósito de esta actividad consiste en elaborar un modelo a escala, bi o tridimensional, de la estructura interna de la Tierra²⁵, determinando el volumen y masa de cada capa. La actividad se adaptó de una serie de materiales acerca de educación en Ciencias de la Tierra²⁵. Algunos procesos de la ciencia que se practican en esta actividad son: medir, diseñar experimentos, elaborar modelos, identificar variables, usar números y herramientas matemáticas, interpretar datos, inferir. Los principales materiales necesarios son los siguientes: cartulina, esfera grande de plumavit, lápices de color, témperas para pintar el modelo tridimensional, calculadora, regla de 30 cm, cinta adhesiva, cortacartón.

En la tabla 1 se presentan los datos para las distintas capas de la Tierra, dando las profundidades medidas desde la superficie. Se trata de completar la tercera columna considerando una escala de 1 cm = 100 km, es decir, que 1 cm del modelo representa 100 km de la Tierra real, con lo cual el trozo de torta que se va a dibujar será de 63,78 cm, correspondiente al radio ecuatorial de la Tierra de 6378 km.

Tabla 1

	Valor real (km)	Valor a escala (1 : 10 millones)
Radio de la Tierra	6378	63,8 cm
Profundidad a la base de la corteza (promedio)	35	
Profundidad a la base de la litosfera (promedio)	100	
Profundidad a la base del manto superior	670	
Profundidad a la frontera manto – núcleo	670	
Profundidad a la frontera núcleo exterior – núcleo interior	5155	

En el pliego de papel o cartulina dibujar una línea central, segmentada, como indica la figura 4. Después de dibujar el arco que representa la superficie de la Tierra a una distancia de 63,8 cm desde su centro, trazar las diagonales para completar el trozo de torta, el que corresponde a un segmento de 15° del interior de la Tierra. ¿Cómo se puede trazar este arco de la superficie de la Tierra? Estas dimensiones pueden ser modificadas a otra escala si se desea. La línea central segmentada se puede borrar para dibujar las fronteras de las capas internas de la Tierra.

²⁵ Braille, Larry (visto el 2012 y siguientes) Ver en <https://web.ics.purdue.edu/~braille/indexlinks/educ.htm>

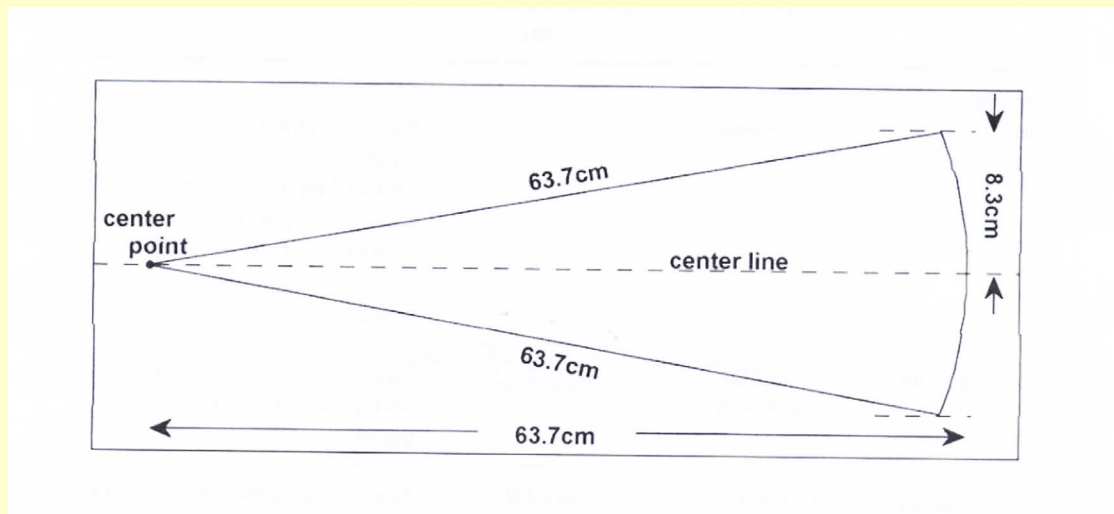


Figura 4

Completar el modelo a escala, en forma de torta, del interior de la Tierra dibujando los arcos a las distancias apropiadas, según los cálculos de la tabla 1. Utilizar un hilo atado a un lápiz para dibujar los arcos. Las fronteras entre las capas y zonas de transición se pueden visualizar en la figura 5, en donde cada capa se ha coloreado mediante un color apropiado a las propiedades físicas de cada una.



Figura 5



Figura 6

Cada grupo de estudiantes hace un pedazo de la torta, es decir, de la estructura interna de la Tierra. En la figura 6 se han colocado juntos dos modelos de torta de la estructura interna de la Tierra. También se puede construir un modelo 3D de la estructura interna de la Tierra mediante una esfera de plumavit como se ilustra en la figura 7, que en este caso tiene un diámetro de 20 cm. ¿Cuál sería la escala para este modelo? Elaboren una tabla como la N° 1 para el modelo 3D, considerando el diámetro de la esfera que consigan.



Figura 7

Actividad 9. ¿Qué son las placas tectónicas? ¿Cuáles son las principales placas tectónicas?

Comentarios A9.- La litosfera de la Tierra está quebrada y constituida por más de una docena de placas, algunas de ellas se deslizan (borde transformante o deslizante) o chocan entre ellas (borde convergente), o se separan entre sí (borde divergente), cuando ellas se mueven apoyadas sobre una capa del interior de la Tierra. Las placas se crean en los bordes divergentes y son recicladas en los bordes convergentes, en un proceso continuo de creación y destrucción. La figura 8, tomada de "Explorations in Earth Science"²⁶, un mapa que muestra las placas tectónicas y otros detalles que indican algunas características de las placas. En la Tabla 2 se interpretan algunos detalles mostrados en el mapa. Se debe en el mapa que una gran concentración de actividad sísmica y volcánica de la Tierra se distribuye alrededor del océano Pacífico, coincidiendo con el borde de varias placas convergentes, formando lo que se denomina el cinturón de fuego.

26 Braille, Larry (2006) Visto el 2012 y años siguientes. Mapas tomados de "This Dinamic Planet", de Simkin et al. Ver en: <http://web.ics.purdue.edu/~braille/edumod/platepuzz/platepuzz.htm>

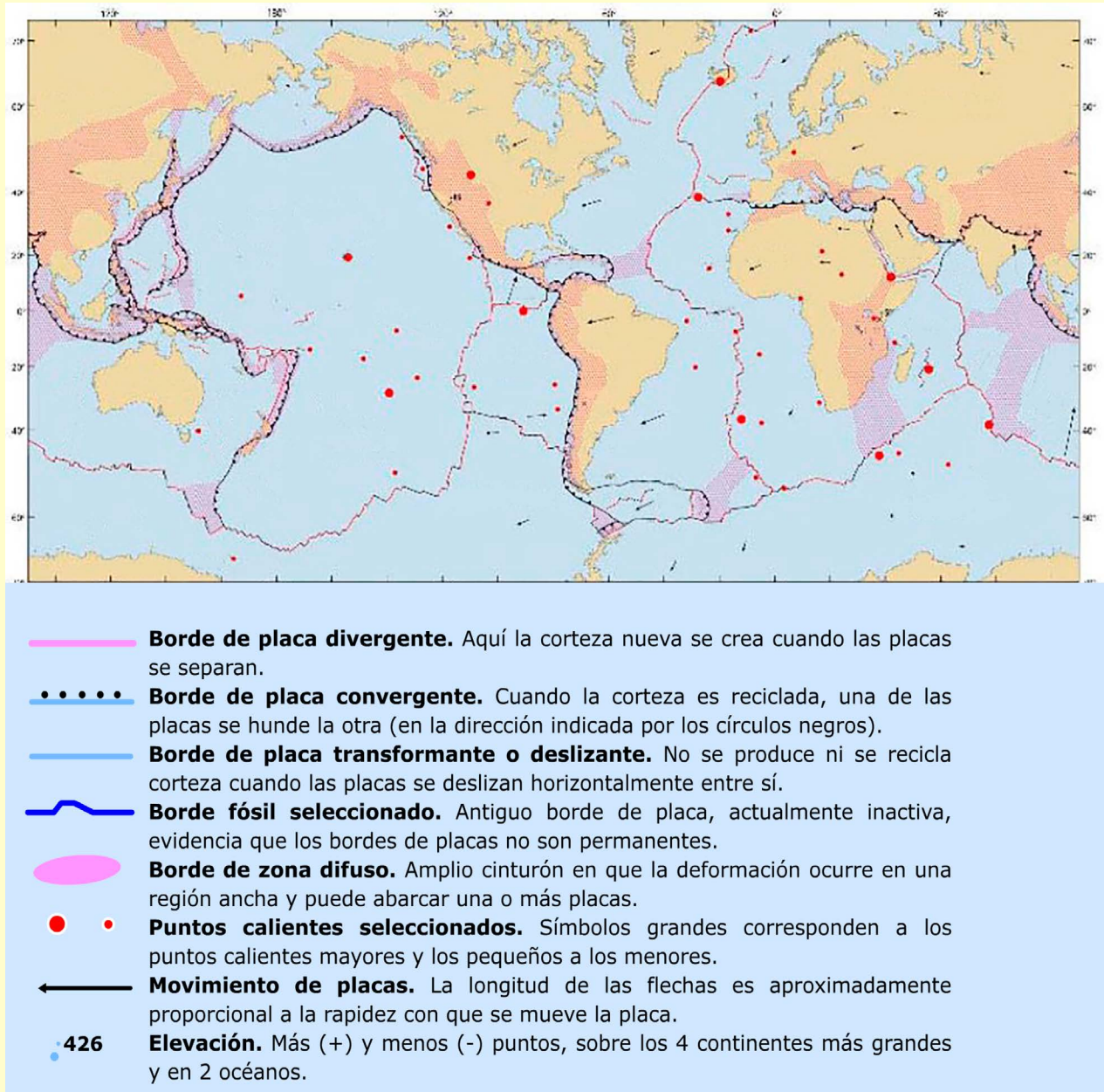


Figura 8

En la figura 9, tomada de un texto²⁷, los números sobre las flechas, que indican la dirección del movimiento de las placas, corresponden a la rapidez de la placa en centímetros por año.

²⁷ Robbins, R., Jefferys, W. y Shawl, S. (1995) Discovering Astronomy. Editorial John Wiley, New York.

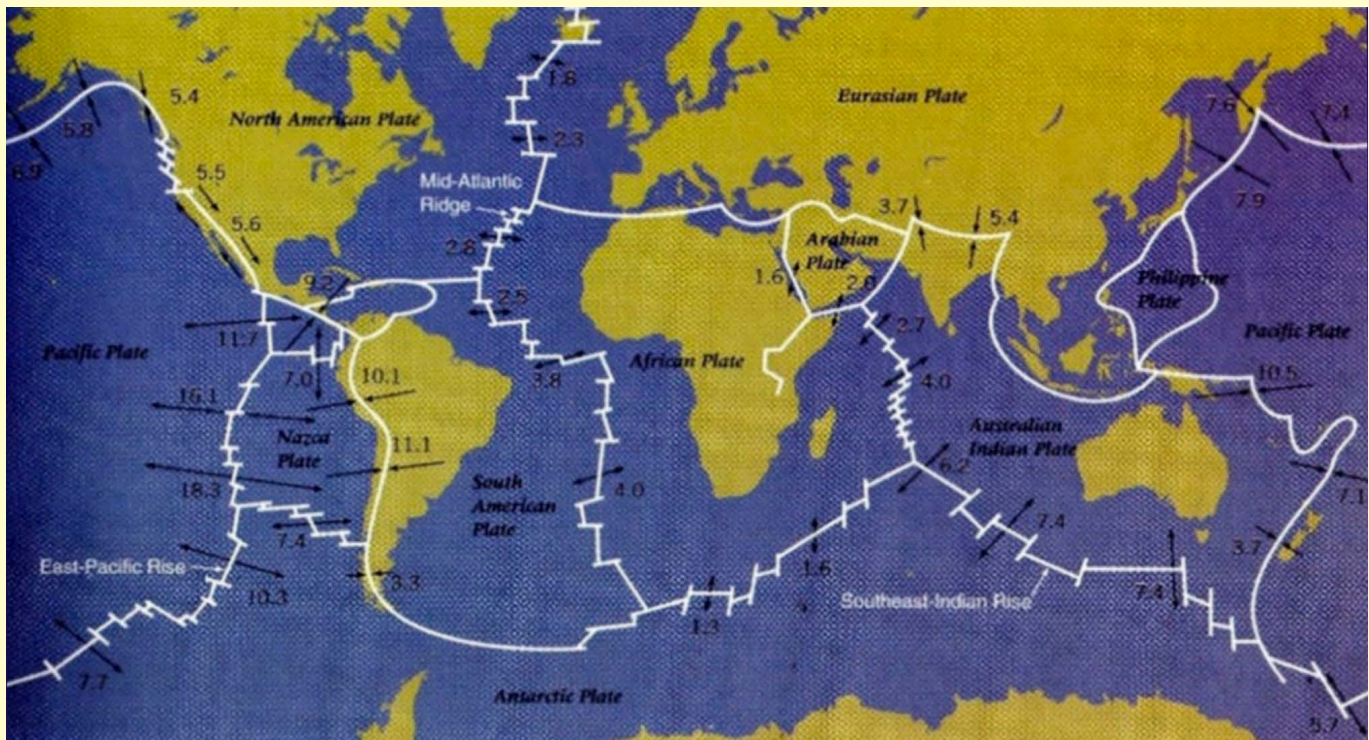


Figura 9

En la lista siguiente se muestran las principales placas tectónicas en que está dividida la superficie sólida de la Tierra.

- Placa Africana
- Placa Antártica
- Placa de Arabia (incluye Arabia Saudita)
- Placa Australiana
- Placa del Caribe
- Placa de Cocos (sudoeste de América central)
- Placa Euroasiática
- Placa Juan de Fuca (oeste del estado de Washington)
- Placa de Nazca
- Placa de Norte América
- Placa del Pacífico
- Placa Filipina (oeste del Japón)
- Placa de Escocia (al este del extremo austral de Sud América)
- Placa de Sud América

En la historia de las Ciencias de la Tierra, Alfred Wegener en 1915 planteó la hipótesis de la deriva continental, manifestando que en el pasado (hace unos 200 millones de años) los continentes estaban unidos en un único supercontinente denominado Pangea. La hipótesis formulada por Wegener estaba basada en evidencias tales como: el encaje de los continentes, en el pasado los continentes estaban unidos; evidencias paleontológicas, en donde se encuentran fósiles similares en continentes separados como, por ejemplo, en el este de Sudamérica y sur de África; entre otras evidencias. Pero la comunidad científica se opuso a este planteamiento, el que no fue aceptado hasta los años 60 del siglo XX, es decir, 50 años más tarde de su propuesta y cuando su autor ya había fallecido, Wegener no propuso un mecanismo adecuado que fuera capaz de provocar la deriva continental, lo que fue realizado en los años 60 con la tectónica de placas, provocando una revolución científica en las geociencias.

La teoría de las placas tectónicas describe el movimiento de las placas y las fuerzas que actúan entre ellas, debido a las corrientes de convección que se producen en el manto de la Tierra. Esta teoría también explica la distribución de muchos fenómenos geológicos, tales como: la formación de cadenas montañosas, la actividad volcánica y sísmica, que resultan del movimiento de los bordes de las placas, entre otras.

Actividad 10. Construyan un modelo (en forma de rompecabezas) de las placas tectónicas de la Tierra.

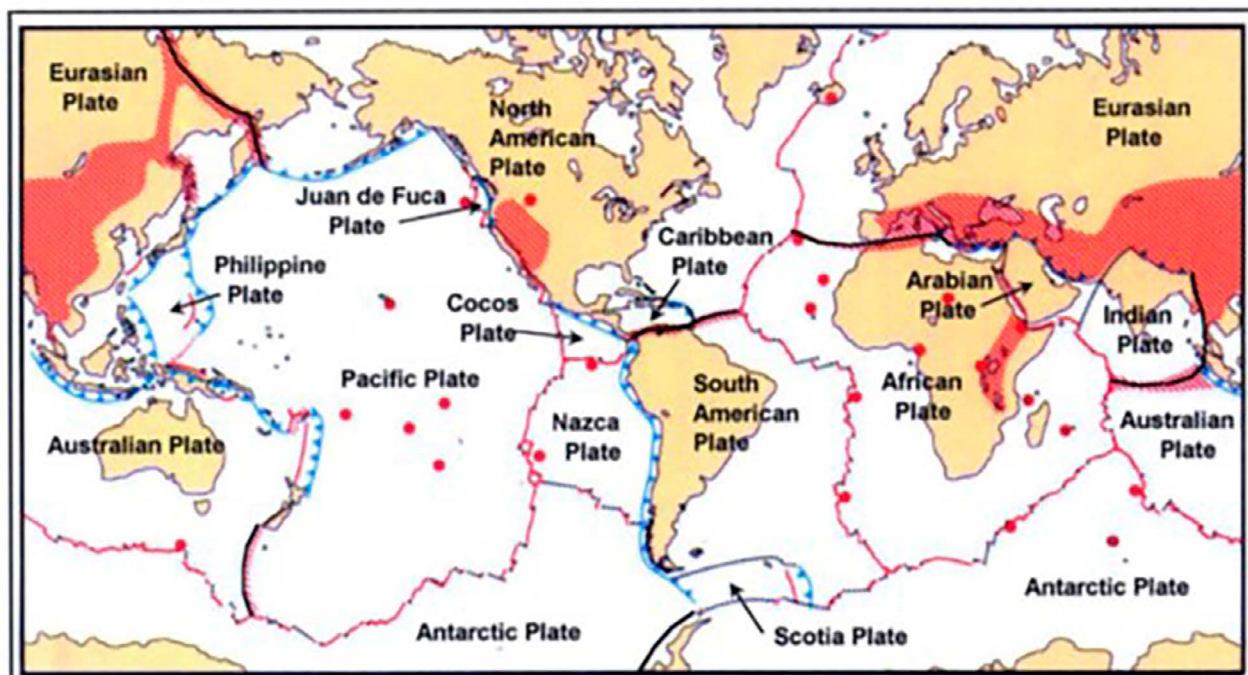
Comentarios A10.- El propósito de esta actividad²⁸ consiste en desarrollar una mejor comprensión de las placas tectónicas de la Tierra y su distribución, como también explorar los movimientos de las placas y las interacciones de las placas en los bordes.

Los procesos de la ciencia involucrados en esta actividad son: Medir, clasificar, elaborar modelos, interpretar datos, usar números, observar. Se necesita copiar en tamaño afiche el mapa de placas tectónicas de la figura 10. Otros materiales necesarios son: 2 pliegos de cartón, pegamento, cinta adhesiva transparente y ancha, tijeras. Uno de los pliegos de cartón sirve para elaborar una caja baja con tapa para guardar el rompecabezas, como se indica en la figura 11.

En esta actividad se requiere recortar el mapa de placas tectónicas, tal como el de la figura 10, a lo largo de los bordes de placa de manera que se pueda armar como un rompecabezas. Se pueden utilizar los mapas de las figuras 8 o 10. Para elaborar el rompecabezas mostrado en la figura 11 se utilizó el mapa de la figura 10. ¿Cómo pueden obtener una copia ampliada al tamaño del cartón que se cuenta? Una vez pegado el mapa en el cartón, y para hacerlo durable, recubrir el mapa con cinta adhesiva transparente. Revisen el mapa y reconozcan cada una de las placas tectónicas, antes de recortarlas. ¿Cuáles son las placas más grandes? ¿Y las más pequeñas?

La Placa Africana está compuesta por dos placas más pequeñas, las placas de Nubia y la de Somalia. Debido a que los bordes entre estas placas pequeñas no son muy distinguibles, se sugiere cortar por los bordes de la placa africana como se ilustra en la figura 10.

²⁸ Braile, L. (2006) Adaptado de:
<http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/platepuzz/platepuzz.htm>



- **Borde de placa divergente.** Aquí la corteza nueva se crea cuando las placas se separan.
- **Borde de placa convergente.** Cuando la corteza es reciclada, una de las placas se hunde la otra (en la dirección indicada por los círculos negros).
- **Borde de placa transformante o deslizante.** No se produce ni se recicla corteza cuando las placas se deslizan horizontalmente entre sí.
- Zonas de borde de placa**
- **Puntos calientes prominentes seleccionados**

Figura 10



Figura 11

La Placa Africana está compuesta por dos placas más pequeñas, las placas de Nubia y la de Somalia. Debido a que los bordes entre estas placas pequeñas no son muy distinguibles, se sugiere cortar por los bordes de la placa africana como se ilustra en la figura 10.

La Placa Antártica se corta en dos trozos, por conveniencia, a lo largo de la península Antártica exactamente al sur del extremo austral de Sud América (figura 10).

La Placa Australiana se recorta en dos trozos debido a que aparece al borde del mapa en la figura 10.

La Placa Euroasiática se recorta en dos trozos debido a que están al borde del mapa en la figura 10.

Actividad 11. ¿Qué es una onda en Física?

Comentarios A11.- Una onda en general es una perturbación que se propaga en un medio. El medio puede ser, por ejemplo, un resorte, el agua, un sólido. El estudio de las ondas resulta de gran utilidad para la descripción y análisis de un gran número de fenómenos y procesos naturales, tales como la luz, el sonido, las ondas sísmicas, ondas de radio, etc., y el funcionamiento de diversos aparatos tecnológicos, tales como telefonía celular, la recepción de radiodifusión y de televisión abierta y satelital, el radar, los radiotelescopios, las comunicaciones vía satélite, etc. En el N° 8 de Eureka-Enseñanza de las ciencias físicas se presenta el video "Las Ondas" y algunas propiedades.

Actividad 12. ¿Qué es una onda sísmica y cómo se compara con las ondas en general?

Comentarios A12.- Una onda sísmica corresponde al concepto general de las ondas elásticas producidas por los terremotos y las explosiones. Las ondas sísmicas se clasifican en cuatro tipos principales: Ondas P, Ondas S, Ondas L, Ondas R. en la actividad siguiente se analizan con mayor profundidad.

Actividad 13. ¿Cómo se propagan las ondas sísmicas?

Comentarios A 13.- Debido a las propiedades elásticas de los materiales de la Tierra (rocas, capas de la Tierra y la presencia de su superficie) se propagan por su interior 4 tipos principales de ondas sísmicas:

- Ondas P (primarias), son longitudinales, tal como se ilustra en las figuras 12 (a)²⁹ y 12 (b). Las figuras 12 (b), 13 (b), 14 (b) y 15 (b) fueron extraídas del excelente material "Explorations in Earth Science"³⁰ y se sugiere al profesor revisarlo para profundizar los temas tratados en esta guía y como recurso para elaborar actividades. Las ondas P son las primeras en ser detectadas en un sismógrafo; y pueden transmitirse a través de sólidos y líquidos. En una demostración en clase, producir un pulso en un resorte y comparar la propagación con las ilustraciones.

²⁹ Las figuras 12 (a), 13 (a), 14 (a) y 15 (a) fueron tomadas de: Press, F. y Siever, R. (2002) Understanding Earth, 3ª edición. Editorial W.H. Freeman, New York

³⁰ Brail, L. (2010) Explorations In Earth Science. Seismic wave demonstrations and animations. Ver en: <http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/waves/WaveDemo.htm>

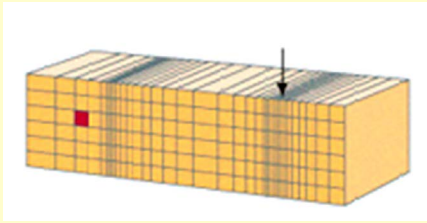


Figura 12 (a)

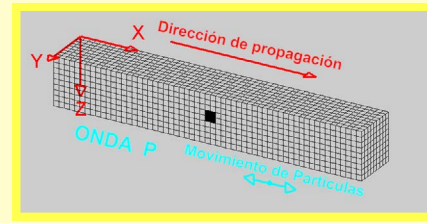


Figura 12 (b)

- Ondas S (secundarias), son transversales, como se ilustra en las figuras 13 (a) y 13 (b). Estas ondas se pueden transmitir sólo a través de sólidos. Al ser más lentas, se registran después de las ondas P, y ambas se propagan por el interior de la Tierra.

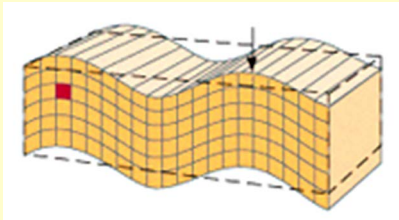


Figura 13 (a)

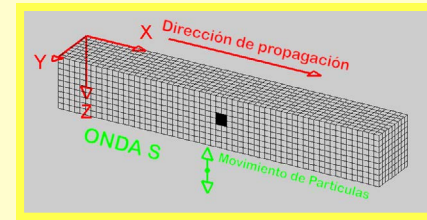


Figura 13 (b)

- Ondas L (Love), transversales. Se propagan por la superficie de la Tierra, provocando sacudidas horizontales perpendiculares a la dirección de propagación de la onda sísmica, como se ilustra en las figuras 14 (a) y 14 (b).

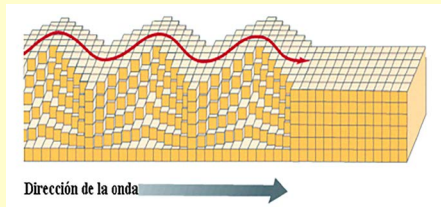


Figura 14 (a)

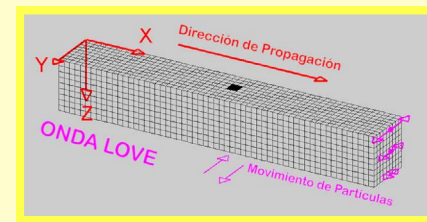


Figura 14 (b)

- Ondas R (Rayleigh), elípticas. Provocan movimientos verticales y horizontales en el plano de propagación de la onda sísmica, como se ilustra en las figuras 15 (a) y 15 (b).

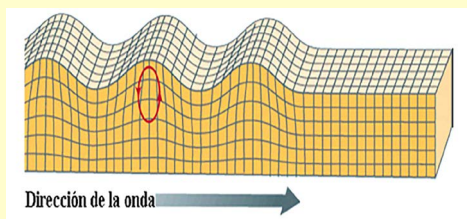


Figura 15 (a)

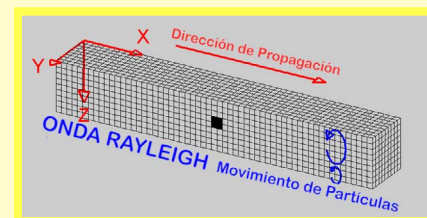


Figura 15 (b)

Actividad 14. ¿Qué es un sismograma? ¿En qué consiste un sismógrafo?

Comentarios A14.- Como no es posible ver directamente lo que acontece en el interior de la Tierra mientras ocurre un temblor o un terremoto, las ondas propagadas desde el foco por el interior y la superficie de la Tierra son detectadas por los sismógrafos.

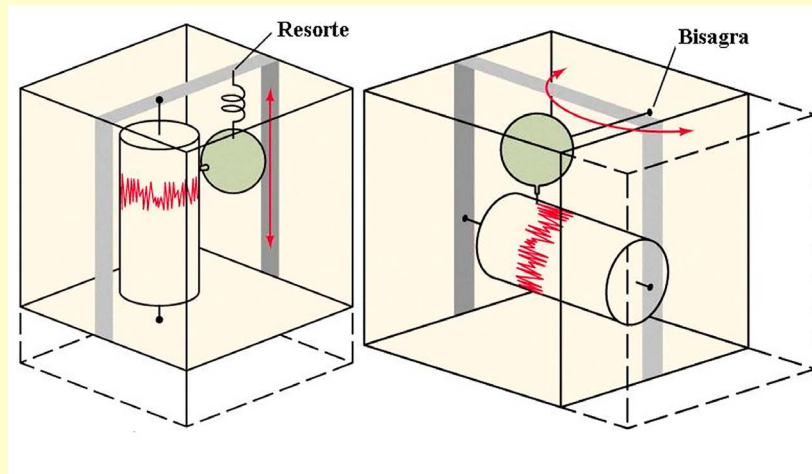


Figura 16. Esquema de un sismógrafo

Un sismógrafo puede registrar oscilaciones verticales (a la izquierda) u horizontales (a la derecha), según cómo esté suspendido el péndulo.

Un sismógrafo es el instrumento de medida más importante para estudiar los movimientos de la Tierra y su interior. Detecta las vibraciones del suelo por medio de un sistema mecánico conectado a circuitos eléctricos que amplifican las señales, las que son transmitidas a una estación sismológica. Un peso se encuentra suspendido de un resorte o por medio de una bisagra, el que por efecto de la inercia se mueve respecto a la superficie de la Tierra cuando tiene lugar un temblor. Se registran normalmente tres componentes de la vibración sísmica: vertical, norte-sur y este-oeste.

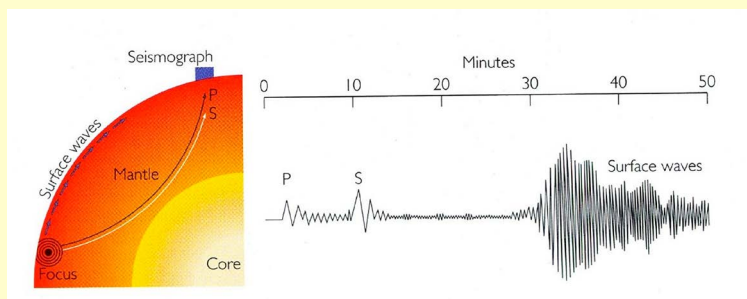


Figura 17. El registro gráfico de las ondas sísmicas P, S y superficiales, provenientes de un terremoto distante, detectadas por el sismógrafo se denomina sismograma. La sección de la izquierda muestra las trayectorias que siguen los tres tipos de ondas.

Actividad 15. ¿Cómo se puede construir un sismógrafo o un sismómetro para la medición de sismos?

Comentarios A15.- En esta actividad se invita a los estudiantes que se involucren en la construcción de un sismógrafo o sismómetro, en particular en Chile, como país sísmico, debemos considerar como un proyecto en las instituciones educacionales. Si se revisa en revistas y en internet, es posible encontrar diversos modelos de sismógrafos o sismómetros para su construcción. Un primer modelo se puede encontrar en una revista³¹ en donde se dan las instrucciones para la construcción de un sismómetro simple. Otro artículo³² es el de un sismómetro tipo Lehman, el que fue construido por un grupo de estudiantes de Arica. Otros modelos y su funcionamiento se pueden encontrar en el material de "Explorations in Earth Science" del profesor Barile^{33 34}. La figura 18 ilustra uno de los sismógrafos utilizados en programas en las escuelas. Otros modelos se pueden encontrar en otros artículos de internet.³⁵

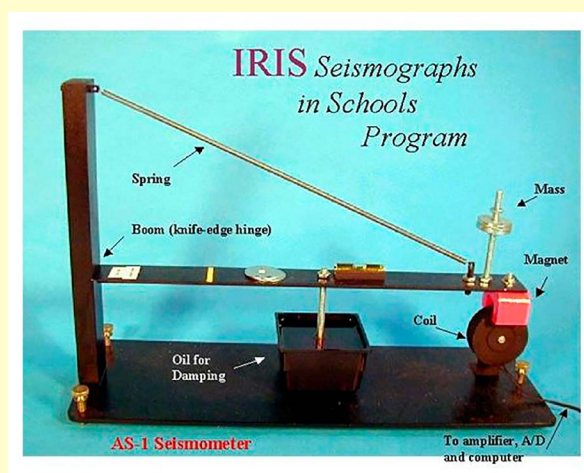


Figura 18

Actividad 16. ¿Cómo se definen los conceptos de hipocentro (o foco) y epicentro de un temblor?

Comentarios A16.- El lugar del interior de la Tierra donde se produce el desplazamiento inicial (indicado en rojo en la figura 19) se denomina foco (o hipocentro), y se expresa en kilómetros de profundidad. El conocimiento de la distribución de tales focos condujo al descubrimiento de la subducción de las placas tectónicas. El epicentro es el lugar geográfico de la superficie de la Tierra, directamente encima del foco. En la figura se ilustra también cómo las ondas sísmicas se propagan desde el foco.

31 A simple seismometer. Revista Science Probe!-The amateur scientist's journal, July 1991.

32 Knight, Kelly (2000) Instruction for construction of a Lehman seismometer.- (may 2000).

33 Braile, L. Handheld seismometer (2000). Ver en <http://web.ics.purdue.edu/~braile/indexlinks/educ.htm>.

34 Braile, L. Educational seimograph (2001). Ver en <http://web.ics.purdue.edu/~braile/indexlinks/educ.htm>.

35 Building a simple seismometer, British geological survey.

Document on creating a seismometer.

Building a seismograph from scap, del que se encuentra su traducción como: La construcción de un sismógrfo desde cero.

Geófono: lector de movimientos de la tierra que salva vidas.

Construcción de un sismógrafo.

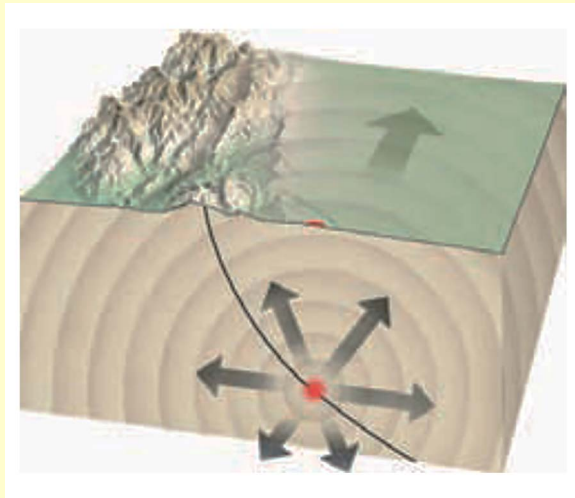


Figura 19. Foco y epicentro de un temblor.

Actividad 17. ¿Cómo se localiza el epicentro de un sismo?

Comentarios A17.- Cuando ocurre un temblor en el foco, como se ilustra en la figura 20 (a), se propagan ondas en todas direcciones. Los números dibujados indican los intervalos de tiempo (en minutos) entre las primeras ondas P y las ondas S a sucesivas distancias desde el epicentro del sismo. La velocidad de las ondas P es casi el doble que la de las ondas S, llegando en primer lugar las ondas P, como se muestra en la figura 20 (b). El intervalo de tiempo entre la llegada de las ondas P y S depende de la distancia que las ondas han viajado desde el foco. Esta relación está establecida mediante el registro de las ondas sísmicas de los terremotos y que están a una distancia conocida de los sismógrafos. Para determinar la distancia a un epicentro, los sismólogos leen desde un sismograma el tiempo que transcurrió entre la llegada de las primeras ondas P y la llegada de las últimas ondas S. Así, en la estación sismológica A la diferencia de tiempo entre P y S es de 3 minutos, en el sismógrafo de la estación B marcó 8 minutos y en la estación C es de 11 minutos, como se indica en la figura 21.

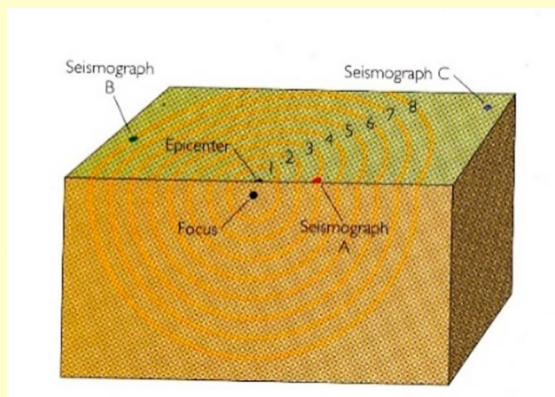


Figura 20 (a)

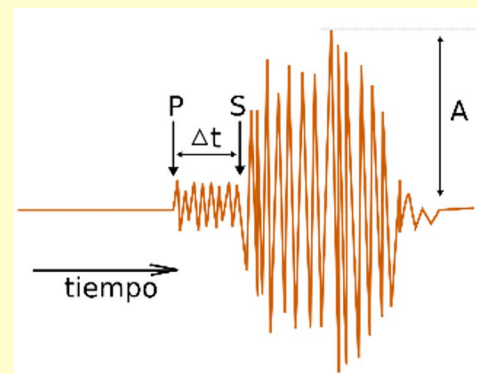


Figura 20 (b)

Los sismólogos usan un gráfico, como el de la figura 21, para determinar la distancia desde el sismógrafo al epicentro del terremoto. Si se conoce la distancia a tres estaciones sismológicas, se puede localizar el epicentro, trazando circunferencias con centro en la estación sismológica y como radio la distancia determinada desde el epicentro a cada una de las estaciones A, B y C, como se ilustra en la figura 22. Las figuras 21 y 22 son del texto de Press y Siever³⁶.

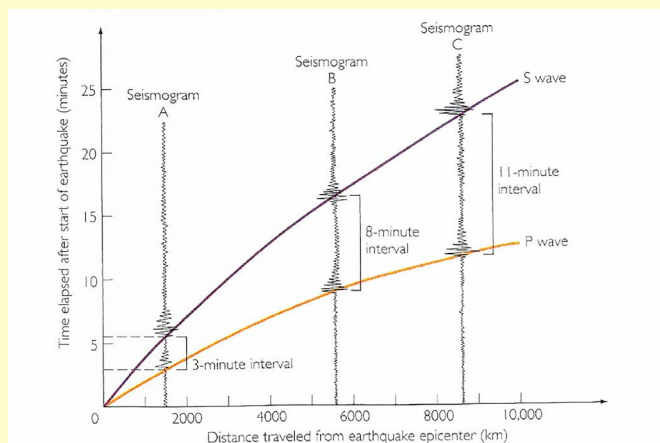


Figura 21

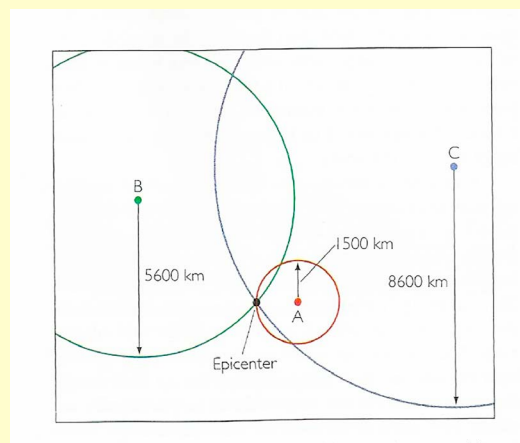


Figura 22

También los sismólogos deducen el instante del terremoto en el epicentro debido a que el tiempo de llegada de las ondas P a cada estación es conocida, y de un gráfico o tabla es posible determinar cuánto tiempo transcurrió para que las ondas alcanzaran la estación. El proceso descrito aquí se trabaja con un computador, mediante repetidas iteraciones, con los datos de un gran número de estaciones sismológicas hasta ubicar el epicentro, el instante en que el terremoto comenzó y la profundidad del foco debajo de la superficie.

Actividad 18. ¿Qué es la escala Richter de medición de la magnitud de un sismo?

Comentarios A18.- La escala de magnitud Richter (introducida en 1935) se basa en el logaritmo de la máxima amplitud de las ondas sísmicas registradas en el sismograma de un temblor. Los grandes terremotos generan ondas con amplitud miles de veces mayor que las generadas por temblores leves. La escala logarítmica permite comprimir esta amplísima variación de amplitud. Así, una diferencia de magnitud igual a 1 entre dos sismos, representa un incremento de 10 veces en la amplitud de la onda sísmica. Por ejemplo, la amplitud de la mayor onda superficial de un terremoto de magnitud 6 es 10 veces mayor que la amplitud de un terremoto de magnitud 5, pero 100 veces mayor que otro de magnitud 4, y 1000 veces mayor que uno de magnitud 3.³⁷

36 Press, F. y Siever, R. (2002) Understanding Earth, 3a edición. Editorial WE.H. Freeman, New York.

37 Brahim N., L., Concha V., MC, Espinoza G., J., Flores, E., Tomljenovic N., M. (2004) Curso de actualización en Ciencias de la Tierra para profesores en servicio de Educación Media, UMCE

Respecto a la energía liberada en un terremoto, cada unidad de magnitud Richter equivale a una liberación de energía 30 veces mayor, aproximadamente. Así, un sismo de magnitud 6 libera 30 veces más energía que uno de magnitud 5, pero 900 veces más energía que uno de magnitud 4, y 27 000 veces más energía que uno de magnitud 3. En la tabla 2 se presentan los efectos típicos de un terremoto, según su magnitud.

Tabla 2

Magnitud Richter	Efectos
Menor 3,5	Registrado pero generalmente no sentido.
3,5 - 5,4	Frecuentemente sentido pero rara vez cuasa daños.
5,0 - 5,9	A lo más, daños ligeros en la mayoría de las construcciones bien diseñadas. Puede causar daños mayores en una pequeña región a los edificios mal construidos.
6,0 - 6,9	Puede ser destructor en regiones de hasta 100 Km de extensión.
7,0 - 7,9	Terremoto mayor que puede originar severos daños en regiones de más de 100 Km de extensión.
8,0 o mayor	Gran terremoto que puede causar severos daños en varios centos de kilometros de extensión.

Es necesario resaltar que a magnitud es una medida de la energía liberada por el terremoto mediante ondas sísmicas, y que se estima que ésta es un pequeño porcentaje de la energía total en juego durante la ruptura. Hay varias escalas para medir la magnitud de un sismo. En general, la escala depende de la distancia a la que se ha generado el terremoto, de su tamaño e incluso del tipo de sismógrafo que se utilice. Esto hace que sea un concepto no bien entendido por los estudiantes, llevando a la confusión. Se sugiere al docente ver una revisión de diferentes escalas de magnitud en uso, en un artículo³⁸, en el que se comienza por mostrar el concepto de magnitud tal y como fue introducido por Richter, la definición actual de la magnitud Richter o magnitud local ML, la magnitud mb de ondas internas, la magnitud mbLg, la magnitud coda Mc, la magnitud

38 Peláez, J. A. (2011) Sobre las escalas de magnitud. Revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (19. 3) p 267- 275. Disponible en la web.

de momento M_w , que utiliza actualmente, entre otras. Richter definió la magnitud a partir de la expresión

$$M = \log A - \log A_0 \quad (1)$$

donde A es la amplitud máxima, medida en milímetros, registrada en un sismograma y A_0 corresponde a la amplitud que se registraría de un terremoto estándar (zero shock) a igual distancia que el terremoto considerado. En la figura 23 se muestra un nomograma que fue muy utilizado para determinar la magnitud ML a partir de un sismograma. En el sismograma se mide la amplitud máxima registrada en mm (1), y en la escala de la izquierda se marca la distancia al terremoto, o lo que es equivalente, el tiempo transcurrido entre la llegada de la onda P y la de la onda S (2). Uniendo ambas marcas por una línea recta, en la escala central se lee la magnitud Richter (3).

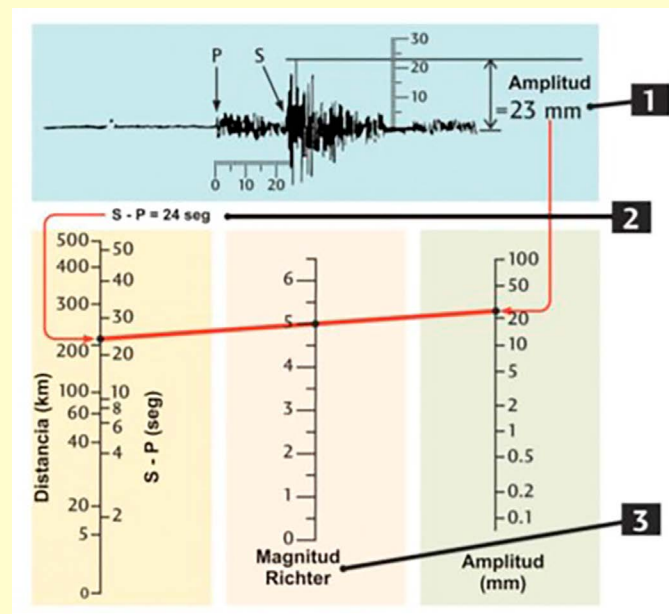


Figura 23

La magnitud de momento M_w es la escala más utilizada actualmente, en especial para altos valores de magnitud. Su principal ventaja es que no se satura, a diferencia de las otras escalas. La magnitud de momento fue definida por Hanks y Kanamori (1979) mediante la expresión

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 10,7 \quad (2)$$

en donde M_0 es el momento sísmico o escalar³⁹, expresado en dina·cm. M_0 se define mediante la expresión $M_0 = \mu A D$ (dina - cm ; μ (módulo de rigidez o de corte).

39 Glosario sismológico del Servicio Nacional sismológico. Universidad de Chile.

Actividad 19. ¿Qué es la escala Mercalli?

Comentarios A19.- La escala Mercalli asigna una medida a los efectos sentidos y observados en un lugar específico. No utiliza instrumentos, es subjetiva. La intensidad varía desde el grado I (muy débil) hasta el XII (destrucción total). La intensidad de la destrucción depende de la magnitud Richter del sismo, la distancia al epicentro, la resistencia de las construcciones y la estructura del suelo, principalmente.⁴⁰ Se sugiere al docente revisar un artículo⁴¹ en el que se analizan los conceptos de intensidad y magnitud de los terremotos, ya que presentan confusiones entre los estudiantes y medios de comunicación. En la tabla 3 corresponde a un extracto de la escala Mercalli, intensidad y los efectos observados.

Intensidad	Efectos observados
I	No sentido exepcto por muy pocas personas.
II	Sentido sólo por pocas personas en reposo, especialmente en pisos superiores.
III	Sentido claramente en interiores especialmente en pisos superiores pero muchas personas no lo reconocen como temblor.
IV	Durante el día es sentido en los interiores por muchas personas, en exteriores por pocas.
V	Sentido por la mayoría, muchos se despiertan. Se advierte a veces movimiento de árboles.
VI	Sentido por todos, muchos se asustan y corren al exterior, algunos muebles pesados se mueven.
VII	Todos escapan al exterior, daño mínimo en edificios bien diseñados
VIII	Daño considerable en edificios ordinarios, caída de chimeneas, columnas, momumentos, muros.
IX	Los edificios se desplazan de sus simientos grietas visibles en el suelo.
X	La mayoría de las estructuras se destruyen. Suelo muy fracturdo.
XI	Pocas estructuras, o ninguna, permanecen en pie. Los puentes se destruyen. Largas y profundas grietas en el terreno.
XII	Daño total. Ondas visibles en el camino.

Tabla 3

40 Brahim N., L., Concha V., MC, Espinoza G., J., Flores, E., Tomljenovic N., M. (2004) Curso de actualización en Ciencias de la Tierra para profesores en servicio de Educación Media, UMCE.

41 Molina, S., Giner, J., y Jáuregui, P. (2004) El tamaño de los terremotos: Intensidad y Magnitud. Revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (12.1) p 99-107.

Actividad 20. ¿Qué fenómeno ocurre en el interior de la Tierra que explique la deriva de los continentes?

Comentarios A20.- El mecanismo que explica la deriva de los continentes y el movimiento de las placas tectónicas corresponde a las corrientes de convección en el manto de la Tierra.

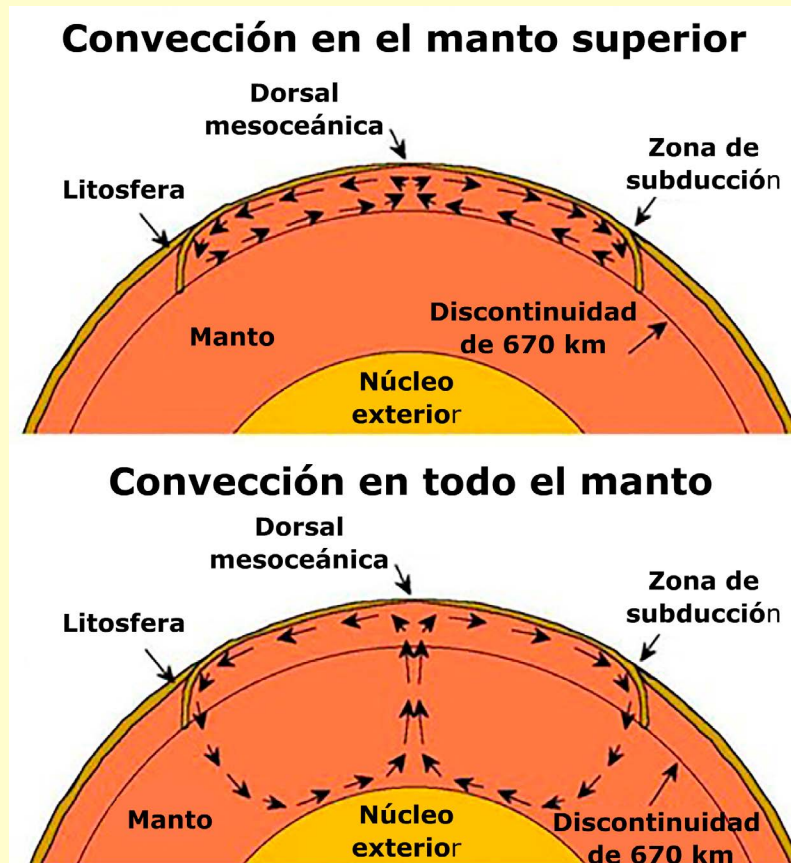


Figura 24

La figura 24 ilustra secciones de la Tierra que muestra la convección en sus capas. El diagrama de arriba ilustra la convección en el manto superior de la Tierra. El diagrama de abajo ilustra la convección en el manto de la Tierra en donde celdas de convección y flujo relacionado operan en todo el manto.

Actividad 21. Realicen un experimento como modelo de convección en el manto terrestre.

Comentarios A21.- El propósito de esta actividad consiste en realizar un experimento de convección térmica para ilustrar cómo la energía, que se propaga por convección, genera el movimiento de un fluido, y de esto se infiere que es similar a lo que ocurre en el manto de la Tierra. Los procesos de la ciencia que se ponen en juego en esta actividad son: medir, diseñar experimentos, elaborar modelos, identificar variables, usar números y herramientas matemáticas, interpretar datos, inferir.

Los principales materiales necesarios para esta actividad son: 2 litros de aceite vegetal, 1 cucharadita de tomillo, 1 fuente resistente al fuego (de 1,5 a 2 litros, como se ilustra en la figura 25), 2 soportes, 3 velas, calculadora, 3 trozos de madera de balsa de unos 4 x 10 cm, regla de 30 cm, cronómetro, embudo (para devolver el aceite a la botella), cámara para registrar el movimiento de convección, entre otros.



Figura 25

Se mezcla el aceite vegetal y el tomillo en el recipiente, de tal manera que se distribuya uniformemente en el aceite. Armar el montaje colocando el recipiente como se indica en la figura xx. Debido a la viscosidad del aceite y la densidad de los pedacitos de tomillo, éstos se distribuirán por todo el aceite.

Observen el aceite y los pedacitos de tomillo. Sin suministro de energía al sistema, habría muy poco o nulo movimiento del líquido. Con suministro de energía los pedacitos de tomillo se moverán con el líquido, mostrando la dirección y velocidad del fluido, tal como se ilustra en la figura 26. En esta figura se muestran las corrientes de convección que se producen en el fluido al cederles energía con las velas.

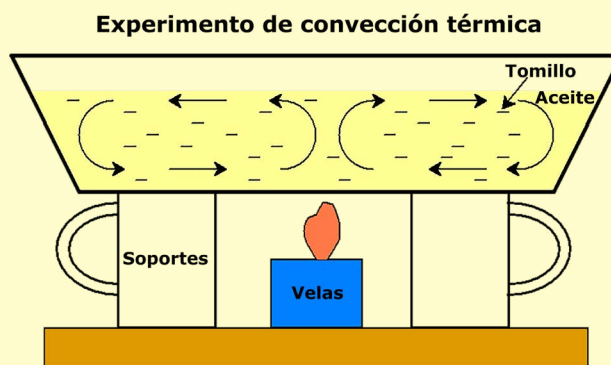


Figura 26

Depositen suavemente tres trozos de madera de balsa en la superficie del líquido, tal como se ilustra en la figura 27. Observen el movimiento de los trozos de madera en función del tiempo. Los trozos de madera representan partes rígidas de las placas tectónicas. Se puede observar la separación de placas (borde divergente) y cuando una placa se acerca a otra correspondería a un borde convergente.

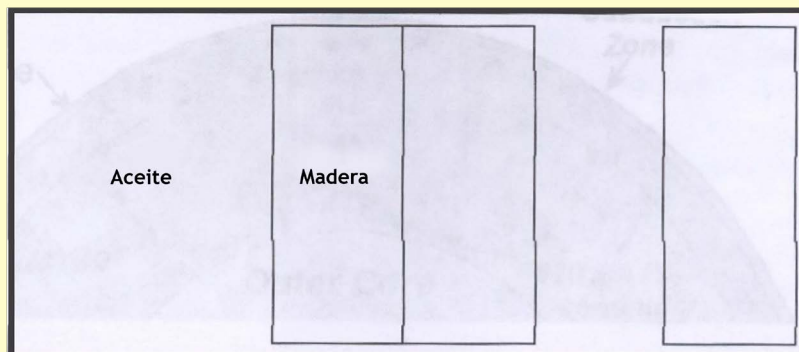


Figura 27

Se sugiere al profesor que sus alumnos, al realizar el experimento, graben un video de toda la actividad. El video que se muestra fue grabado en un postítulo para profesores de segundo ciclo de ciencias naturales.

[VIDEO](#)

Actividad 22. ¿Cuáles son los bordes de las placas tectónicas y cuáles son sus características?

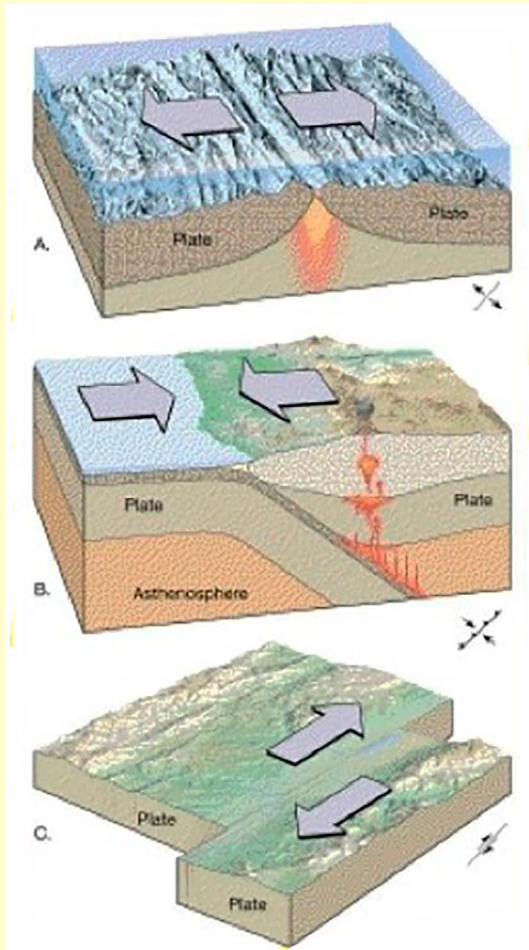


Figura 28

Comentarios A22.- La figura 28 ilustra los tipos de borde entre placas.

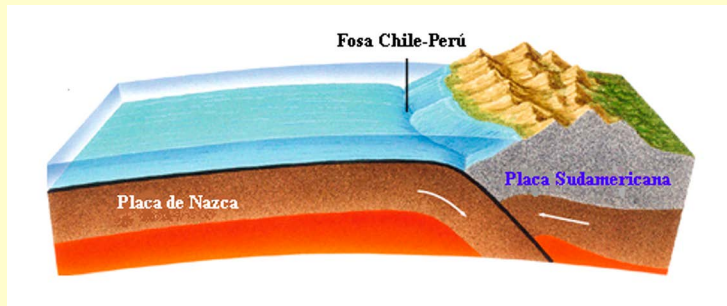
A) Borde de placa divergente en el que dos placas se separan, principalmente en medio del océano, lo que provoca que ascienda material del manto para formar nuevo suelo oceánico.

B) Borde de placa convergente en el que dos placas se juntan, haciendo que una de las placas de la litosfera sea empujada por debajo de la otra placa y acabe siendo reabsorbida en el manto. Un borde convergente implica también la colisión entre dos placas continentales para formar un sistema montañoso.

C) Borde de placa transformante en el que dos placas se deslizan entre sí sin la formación ni destrucción de litosfera.

Actividad 23. ¿Qué es la subducción?

Comentarios A23.- En la teoría de la tectónica de placas, la subducción es un proceso en el que una placa de la litosfera se hunde por debajo de otra placa, es decir, corresponden a un ejemplo de dos placas convergentes. Chile se encuentra ubicado a lo largo del borde de dos placas tectónicas activas: la de Nazca y la Sudamericana, lo que convierte a nuestro país en escenario de una intensa actividad sísmica y volcánica. La placa de Nazca, más densa, se hunde bajo la placa Sudamericana. Mediante este proceso de subducción la litosfera oceánica se consume a lo largo de una extensa fosa submarina, justo fuera de la costa chilena, retornando así al manto, como se ilustra en la figura 29.



Subducción en el límite de la placa de Nazca y la Sudamericana.

Figura 29

El proceso de subducción ocurre a lo largo de vastas zonas de subducción que se presenta principalmente alrededor del océano Pacífico, formando el cinturón de fuego del Pacífico, como se ilustra en el mapa de la figura 30. La figura 31 ilustra la colisión entre una placa oceánica y una continental en el proceso de subducción lo que provoca actividad sísmica y volcánica, entre otros.

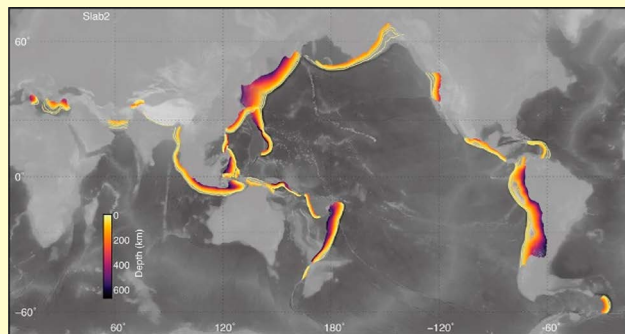


Figura 30

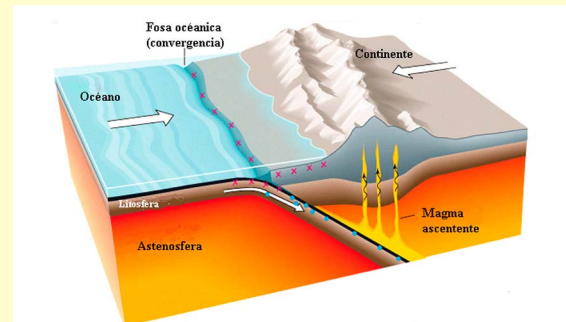


Figura 31

Los mayores efectos de la subducción, además de la formación de montañas, se presenta en la tabla 4.⁴²

Actividad Sísmica	Maremotos	Actividad Volcánica
La fuerte tensión generada a lo largo del límite entre las placas, provoca la ruptura de la corteza terrestre (fallas). En las fallas se originan los temblores, que se manifiestan como ondas sísmicas por el interior y superficie de la Tierra.	Los terremotos producidos en la corteza oceánica originan a su vez los maremotos. También se les denomina con la palabra de origen japonés tsunamis.	La subducción favorece el proceso de fusión parcial del manto rocoso, formándose magma. Al aumentar la presión en la cámara magmática, el magma escapa hacia la superficie.

Tabla 4

42 Tabla obtenida de: Brahim N., L., Concha V., MC, Espinoza G., J., Flores, E., Tomljenovic N., M. (2004) Curso de actualización en Ciencias de la Tierra para profesores en servicio de Educación Media, UMC

Actividad 24. ¿Qué son las dorsales oceánicas?

Comentarios A24.- Una dorsal oceánica se origina a lo largo de los bordes divergentes de dos placas tectónicas y consiste en la elevación del fondo oceánico, constituyendo una cordillera montañosa situada en el fondo de las principales cuencas oceánicas. Una dorsal se caracteriza por su elevación, gran cantidad de fallas, un alto flujo térmico y numerosas estructuras volcánicas. El sistema de dorsales oceánicas interconectada constituye el aspecto topográfico de mayor longitud de la superficie de la Tierra, superando los 70 000 km de longitud y representa el 20% de la superficie terrestre. Se sugiere al docente consultar en textos de Ciencias de la Tierra como el Tarbuck y en artículos⁴³ de revistas.

Actividad 25. ¿Cómo se forman las cordilleras?

Comentarios A25.- Las montañas son un reflejo directo de la dinámica interna del planeta, en que los procesos externos operan para configurar el relieve final, pero condicionados por procesos directamente vinculados con la disipación de la energía interna del planeta y procesos termales y mecánicos que se producen durante una colisión continental. La mayoría de los sistemas montañosos se desarrollan paralelos a los límites de placas de la litosfera. Los principales sistemas montañosos de la Tierra son generados por fuerzas que actúan a lo largo de bordes de placas convergentes, plegando el material de la corteza mediante pliegues y falla como, por ejemplo, el Himalaya, en asociación con colisiones de continentes. Las montañas de la Cordillera de Los Andes están ligadas a zonas de subducción océano continente, situadas en un margen continental bajo el cual se está produciendo subducción. La existencia de este proceso de subducción causa una fuerte actividad sísmica e ígnea asociada a procesos tectónicos y térmicos.

Actividad 26. Analicen la situación de Chile como país sísmico.

Comentarios A26.- Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, donde han sucedido grandes terremotos en el pasado y con toda seguridad, ocurrirán grandes terremotos en el futuro. Así lo manifiestan diversos estudios que se publican periódicamente con motivo de los terremotos que han ocurrido. Debido a esta realidad que experimentamos continuamente, se debe estudiar y comprender mejor el proceso que origina los terremotos, los efectos que representan para el país y desarrollar procedimientos adecuados para disminuir los riesgos. Como parte de estos procedimientos, se debe optimizar el diseño y construcción de la infraestructura y edificios del país, sobre la base del aporte de información relevante para la planificación de las acciones para reducir al mínimo los efectos de los terremotos.

Como ya se ha mencionado, Chile se ubica sobre la placa Sudamericana, en su borde occidental, lugar donde se encuentran zonas de subducción en que la placa de Nazca se hunde bajo la placa Sudamericana, mientras que la placa de Scotia se desliza horizontalmente respecto a la placa Sudamericana, en un borde de placas transformante. Estas interacciones producen una gran deformación del continente Sudamericano, y originan terremotos en todo Chile. Debido a la alta

43 Francheteau, J. (1983) La corteza oceánica. Número monográfico de Investigación y Ciencia Dinamismo de la Tierra), N° 86, noviembre 1983.

velocidad de convergencia entre la placa de Nazca y la de Sudamérica, la sismicidad es muy intensa y origina los mayores terremotos en el país. El estudio de las características de los terremotos ocurridos en Chile y sus efectos en la superficie, ha permitido elaborar ordenanzas y normas de diseño y construcción, las que son modificadas y refinadas con el estudio de cada nuevo terremoto en el país. Esto ha significado que, en general, la infraestructura y obras civiles en Chile respondan satisfactoriamente en caso de terremotos, maximizando la seguridad y minimizando los costos.⁴⁴ Otro material acerca de la sismicidad de Chile y estudio de algunos terremotos realizados en Chile o en el extranjero se ofrece a continuación, todas disponibles en la web.⁴⁵

Actividad 27. ¿Qué es el cinturón de fuego del Pacífico? ¿Dónde se ubica la Placa de Nazca en el Cinturón de Fuego del Pacífico y cómo afecta a Chile?

Comentarios A27.- Una gran concentración de actividad sísmica y volcánica de la Tierra se distribuye alrededor del océano Pacífico, coincidiendo con el borde de varias placas convergentes, formando un cinturón de fuego, como se muestra en la figura 32. La placa de Nazca se ubica en el océano Pacífico frente a casi todo Chile continental.

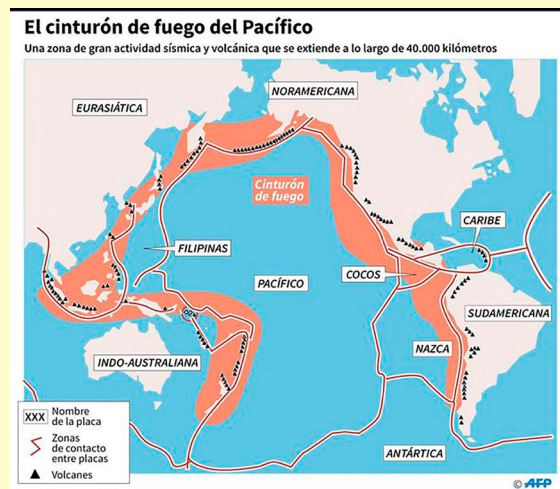


Figura 32. El cinturón de fuego del Pacífico

Actividad 28. Hagan una recopilación de los más grandes terremotos del mundo y de Chile, informando de fecha, lugar, magnitud Richter (si está disponible), número de muertes, entre otros. Comentarios A28.- Por encontrarse en una zona geológicamente activa de la Tierra, nuestro país no ha estado ausente, ni lo estará, de las estadísticas mundiales de los principales terremotos. En el siglo XX se han registrado grandes terremotos indicados en la tabla 5, además del siglo XXI. El mayor sismo registrado y medido en la historia sísmica de la Tierra, fue el de 1960 en el sur de Chile, de magnitud 9,5. Ningún otro ha liberado una energía superior, como se puede observar en las tablas 5 y 6. La tabla 6 presenta los terremotos de mayor magnitud ocurridos en el mundo,

44 Centro Sismológico Nacional. Sismicidad y terremotos en Chile.

45 Madariaga, R. (1998) Sismicidad de Chile. Física de la Tierra, France.

Cisternas, A. (2011) El país más sísmico del mundo. Revista Anales, séptima serie N°1, mayo 2011.

Barrientos, S. (mayo 2010) Terremoto Cauquenes 27 febrero 2010. Informe técnico actualizado.

Braile, L (2010) Feb, 27, 2010 M8,8 Chile. Explorations in Earth Science.

Terremoto de Chile de 2010. Wikipedia.

excepto Chile que aparecen en la tabla 5. Un listado de terremotos destructores en Chile⁴⁶ y del mundo⁴⁷ se encuentran en diversas fuentes de internet. Se sugiere revisarlas para analizar esta actividad.

Año	Lugar	Magnitud	Muertes estimadas
1575	Valdivia	8,5	1221
1868	Arica	9,0	500
1906	Valparaíso	8,2	300
1922	Vallenar	8,6	1500
1939	Chillán	7,8	30 000
1943	Ovalle	8,2	12
1960	Valdivia	9,5	5700
1971	Illapel	7,5	85
1985	Algarrobo	8,0	78
1995	Antofagasta	8,0	3
2010	Cobquecura	8,8	521
2015	Canela Baja	8,4	13

Tabla 5

Año	Lugar	Magnitud	Muertes estimadas
1687	Lima - Perú	8,5	5000
1700	Cascadia (USA, Canadá)	9,0	¿?
1755	Lisboa, Portugal	8,7	60 000 a 100 000
1787	México	8,6	11
1883	Sumatra	8,8	¿?
1906	Ecuador-Colombia	8,8	1500
1923	Kamchatka, Rusia	8,5	5000
1950	Assam (India-Tibet)	8,6	1526
1952	Kamchatka, Rusia	9,0	2366
1857	Islas Andreanof, USA	8,6	0
1964	Alaska. USA	9,2	128
2001	Perú	8,4	102
2004	Indonesia	9,1	230 270
2005	Indonesia	8,6	1300
2011	Japón	9,0	15 836
2012	Indonesia	8,6	10

Tabla 6

46 Sismos importantes y/o destructivos (1570 a la fecha), en la dirección:
<http://www.sismologia.cl/links/terremotos/index.html> Anexo: Terremotos en Chile. Wikipedia.

47 Anexo: Terremotos de mayor magnitud de Chile de 2010. Wikipedia.