SISMOS Y VOLCANES

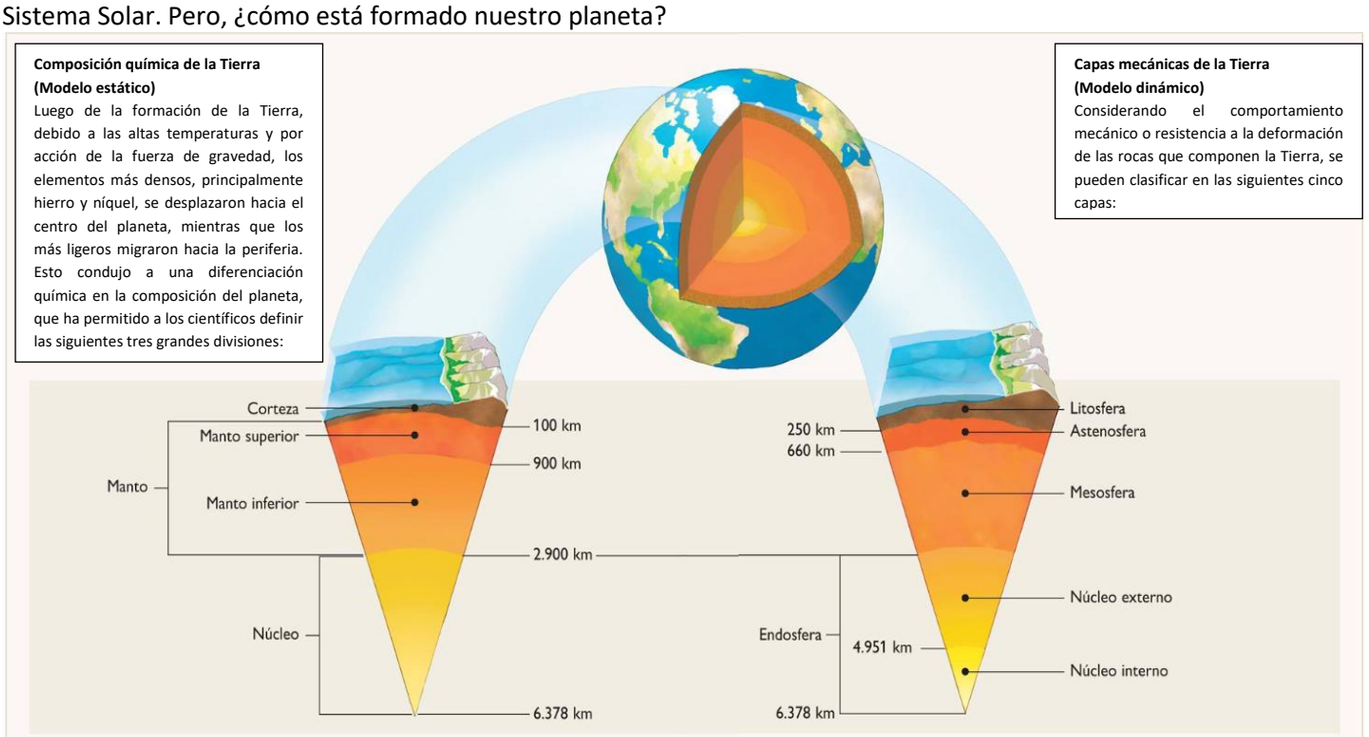
- **LAS CAPAS DE LA TIERRA**

Para comprender cómo se originan fenómenos como los sismos y las erupciones volcánicas, primero debemos entender cómo se formó y cómo está formado actualmente nuestro planeta.

Hace 5.000 millones de años se originó el Sistema Solar, a partir de una enorme nube de gases en rotación, la nebulosa solar. Esta comenzó a contraerse lentamente por las interacciones gravitacionales entre sus partículas y llegó a adoptar la forma de un disco plano, con una gran concentración de material en el centro. Durante la contracción, la energía gravitacional se transformó en energía térmica, aumentando enormemente la temperatura del interior de la nebulosa, originándose el Sol. A esto siguió una disminución de la temperatura en el sector en que ahora se encuentran los planetas interiores, lo que hizo que las sustancias con puntos de fusión elevados se condensaran en pequeñas partículas que empezaron a unirse. Materiales como el hierro y el níquel, y los elementos que componen las rocas, formaron masas metálicas y rocosas que orbitaban alrededor del Sol y, luego de repetidas colisiones, estas masas se unieron en cuerpos más grandes que, pasadas algunas decenas de millones de años, crecieron hasta convertirse en los planetas del Sistema Solar. Pero, ¿cómo está formado nuestro planeta?

Composición química de la Tierra (Modelo estático)
Luego de la formación de la Tierra, debido a las altas temperaturas y por acción de la fuerza de gravedad, los elementos más densos, principalmente hierro y níquel, se desplazaron hacia el centro del planeta, mientras que los más ligeros migraron hacia la periferia. Esto condujo a una diferenciación química en la composición del planeta, que ha permitido a los científicos definir las siguientes tres grandes divisiones:

Capas mecánicas de la Tierra (Modelo dinámico)
Considerando el comportamiento mecánico o resistencia a la deformación de las rocas que componen la Tierra, se pueden clasificar en las siguientes cinco capas:



Corteza. Capa más externa de la Tierra, formada por la corteza oceánica, que se encuentra bajo los océanos, y la corteza continental. Su profundidad varía dependiendo de su ubicación: alcanza alrededor de 5 km en promedio y puede llegar a los 70 km en los grandes cordones montañosos, como los Andes y el Himalaya. La corteza está compuesta mayormente por silicio, oxígeno, minerales de hierro y magnesio. La corteza oceánica se diferencia de la continental de acuerdo al porcentaje que presenten de cada uno de estos componentes.

Manto. Se encuentra en la zona intermedia entre la corteza y el núcleo y alcanza alrededor de 2.900 km de profundidad. Está formado por rocas sólidas de silicio y corresponde al 82% del volumen total de nuestro planeta. Se divide en dos partes: el manto superior y el manto inferior. En el manto se desarrollan celdas de convección, responsables del movimiento de las placas tectónicas.

Núcleo. Es la capa más interna de la Tierra, formada principalmente por hierro y níquel, y tiene un espesor cercano a los 3.500 km.

Litosfera (esfera de roca). Es la capa más externa de la Tierra, formada por la corteza y parte del manto superior. Es una capa rígida y fría que resulta frágil frente a la deformación. En promedio, tiene unos 100 km de espesor, pero alcanza los 250 km o más bajo los "escudos" o regiones de corteza más antiguas de los continentes.

Astenosfera (esfera débil). Se encuentra inmediatamente bajo la litosfera, a una profundidad similar a la del manto superior. Está compuesta por rocas que, debido a las condiciones de temperatura y presión, forman una capa blanda y relativamente plástica, que es capaz de fluir. Está separada de la litosfera, lo que le permite a esta última moverse de manera independiente.

Mesosfera (manto inferior). Se encuentra entre la astenosfera y el núcleo, a una profundidad similar a la del manto inferior. Es una capa más rígida que la astenosfera, debido a las altas presiones que predominan a estas profundidades.

Núcleo externo. Se encuentra en estado líquido y es donde, en conjunto con el núcleo interno, se genera el campo magnético terrestre, debido al movimiento del hierro.

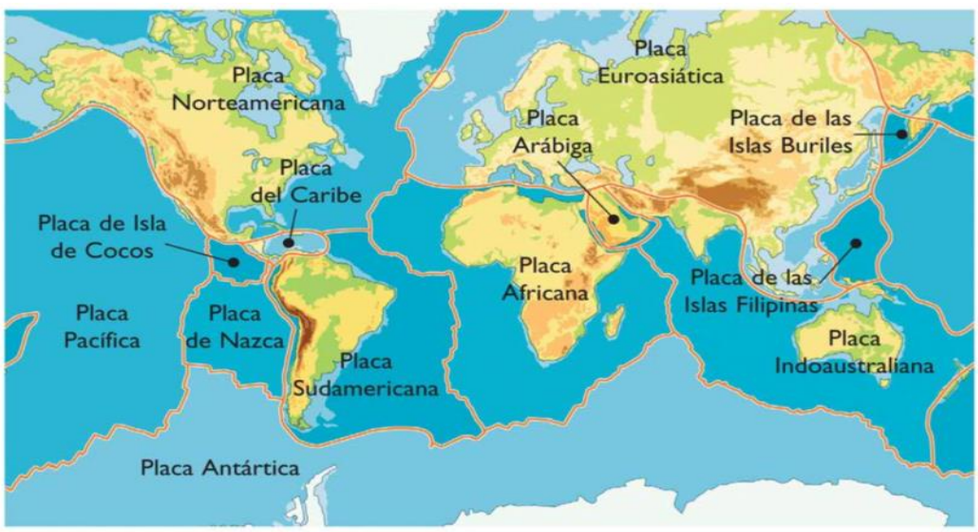
Núcleo interno. A pesar de las altas temperaturas que alcanza (alrededor de 6.700 °C), se comporta como un sólido, debido al congelamiento producto de las altas presiones.

- **TECTÓNICA DE PLACAS**

Antiguamente, se pensaba que la corteza terrestre era estática y que los océanos y continentes mantenían la misma forma desde la creación del planeta. Sin embargo, alrededor de 1915, el meteorólogo alemán Alfred Wegener propuso la hipótesis de la deriva continental, que postula que los continentes flotan sobre la superficie de la Tierra, alejándose y acercándose unos de otros. Para apoyar su hipótesis, Wegener consideró que el borde de África coincide casi perfectamente con el de América del Sur, igual que sucede en otros continentes, y postuló que en el pasado los continentes estuvieron unidos, formando un supercontinente llamado Pangea, que significa "toda la Tierra".

La hipótesis de la deriva continental fue inicialmente rechazada, pues nadie logró encontrar el mecanismo que produjera el movimiento de los continentes; sin embargo, durante las décadas siguientes se obtuvieron registros geológicos, como la expansión del océano, que permitieron que, en 1968, se aceptara la teoría de tectónica de placas y el hecho del movimiento de los continentes que se encuentran sobre las placas.

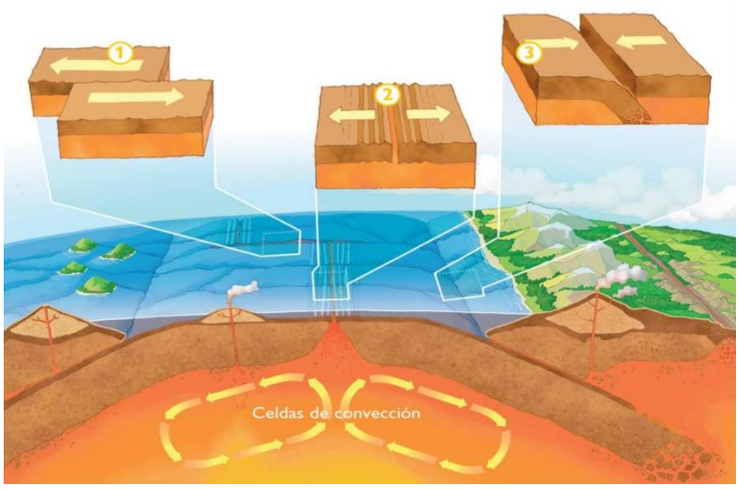
La teoría de tectónica de placas postula que la litosfera está dividida en varios segmentos rígidos, llamados placas tectónicas, que se mueven en respuesta a los cambios de temperatura que ocurren en el manto. La mayoría de las placas de mayor tamaño, como por ejemplo la Sudamericana, incluye un continente entero además de una gran área de suelo oceánico y este factor constituye una importante diferencia con la hipótesis de la deriva continental, pues Wegener postuló que los continentes se movían a través del suelo oceánico y no con él. Sin embargo, el movimiento de las placas tectónicas es un hecho y este ocasiona que las placas choquen, se separen o se muevan una al lado de la otra, lo que permite entender muchos eventos geológicos como el volcanismo, la existencia de cadenas montañosas y el origen de los sismos, entre otros.



Configuración actual de las mayores placas tectónicas

CONTACTO ENTRE LAS PLACAS

El movimiento de las placas tectónicas se produce debido a las diferencias de temperatura que se presentan al interior de la Tierra. Las principales interacciones entre las placas tectónicas se generan a lo largo de sus bordes y, según el modelo de la tectónica de placas, los bordes o límites entre estas se clasifican en tres grupos.



1. Límites de falla transformante o bordes pasivos.
Las placas se deslizan una con respecto a otra sin producir ni destruir litosfera. Por ejemplo, una placa se mueve hacia el norte y otra hacia el sur.

2. Límites divergentes o bordes constructivos. Las placas se separan, se produce un ascenso de magma desde el manto y se crea nuevo suelo oceánico. Cuando este suelo se eleva y el magma se enfría rápidamente, se produce la formación de dorsales oceánicas, o cordilleras submarinas.

3. Límites convergentes o bordes destructivos. Dos o más placas se juntan y chocan. Si choca una placa continental con una oceánica esta última se ubica bajo la continental, fenómeno llamado subducción. Si son dos placas continentales las que chocan, se observa el fenómeno denominado obducción y se produce relieve, y si chocan dos placas oceánicas, una subduce bajo la otra y se produce un arco de islas, es decir, un conjunto de islas volcánicas.

Celdas de convección. Cuando se introduce la corteza oceánica bajo la continental, se inyecta material frío al manto, la corteza oceánica se funde y sube el material caliente, que sale por una dorsal creando nuevo suelo marino. Este movimiento de material frío hacia abajo y caliente hacia arriba recibe el nombre de celda de convección y estas celdas son las responsables de poner en movimiento la capa externa y rígida de la Tierra.

Igual a lo que sucede al empujar una caja de cartón sobre cemento, la placa oceánica no puede avanzar fácilmente bajo la placa continental ya que hay mucho roce entre ellas, por esto, este tipo de límites se caracteriza por la acumulación de energía de deformación, debido a que la placa oceánica empuja constantemente. Cuando esa acumulación sobrepasa el límite de la roca, esta se rompe y la placa oceánica logra avanzar, y el lugar donde se observa hundimiento de litosfera se llama zona de subducción, la que se caracteriza por ser una zona altamente sísmica.

- # LAS FALLAS

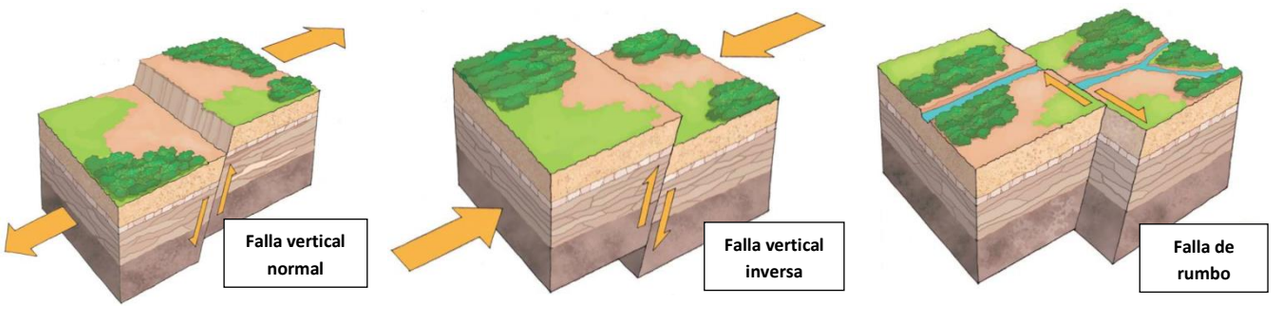
Las rocas que forman nuestro planeta se encuentran sometidas a permanentes y continuos esfuerzos que acumulan energía más allá de su límite elástico, hasta el punto de ruptura, que es el máximo esfuerzo que soporta la roca antes de romperse. En la corteza terrestre, cuando se pasa dicho punto, se libera energía y se produce una fractura, en respuesta a su apreciable desplazamiento, que recibe el nombre de falla.

Existen fallas pequeñas que se pueden ver, por ejemplo, en los taludes de las carreteras, y otras de mayor tamaño, como la de San Andrés en California, que tienen desplazamientos por centenares de kilómetros y son más fáciles de apreciar por medio de fotografías aéreas que a nivel del suelo. La mayoría de las fallas son inactivas, es decir, son restos de deformaciones antiguas de la corteza.

TIPOS DE FALLAS

Las fallas en que el desplazamiento es casi paralelo a la inclinación de la superficie de falla se denominan **fallas verticales**, y pueden ser normales o inversas. **Las fallas normales** se caracterizan porque el bloque que se encuentra sobre la superficie de falla, también llamado bloque colgante, baja con respecto a su posición original. **Las fallas inversas** se llaman así porque el bloque colgante sube con respecto a su posición original.

Las fallas en las que el desplazamiento es horizontal y paralelo a la dirección de la superficie de falla se llaman **fallas de rumbo**. Muchas grandes fallas de desplazamiento horizontal atraviesan la litosfera y acomodan el movimiento entre dos grandes placas de corteza.



- # LOS SISMOS

La liberación de energía en la formación de las fallas causa vibraciones al interior de la Tierra y estas vibraciones son lo que denominamos sismos.

Según la profundidad en que ocurren los sismos, estos pueden ser superficiales, se producen desde la superficie terrestre hasta unos 60 km de profundidad; de foco intermedio, se producen entre los 60 y 300 km de profundidad; y de foco profundo, que van desde 300 a 700 km de profundidad (no se han detectado sismos a mayor profundidad).

Dependiendo de dónde se produzcan, existen dos tipos de sismos: los **sismos interplaca**, que se producen en el lugar de contacto entre dos placas distintas, y los **sismos intraplaca**, que se producen dentro de una placa tectónica, debido a la acumulación de energía o a causa del peso de la placa. Estos últimos son los menos frecuentes y presentan magnitudes moderadas.

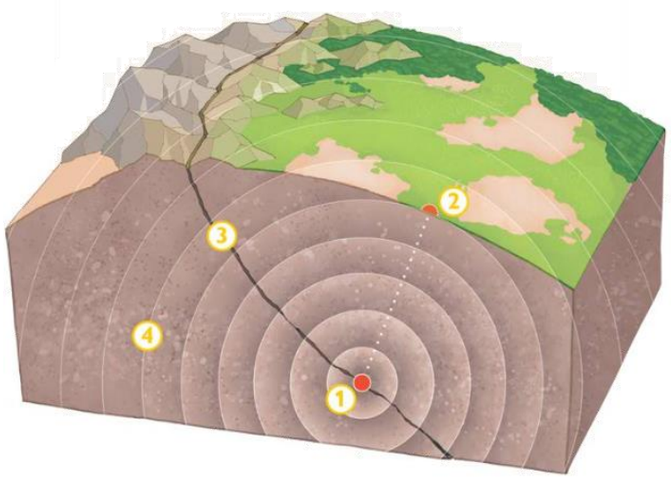
COMPONENTES DE UN SISMO

1. Foco o hipocentro. Origen de un sismo, desde donde se propaga en todas direcciones la energía liberada.

2. Epicentro. Punto de la superficie de la Tierra que está directamente encima del foco.

3. Falla.

4. Frentes de onda.

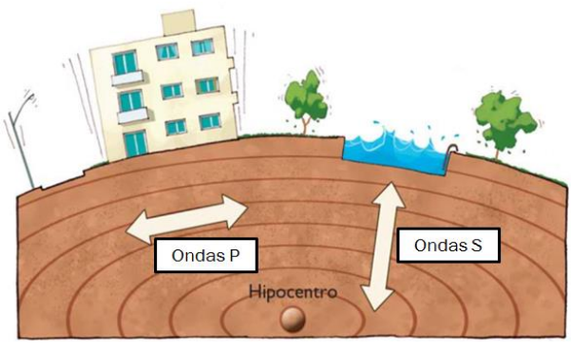


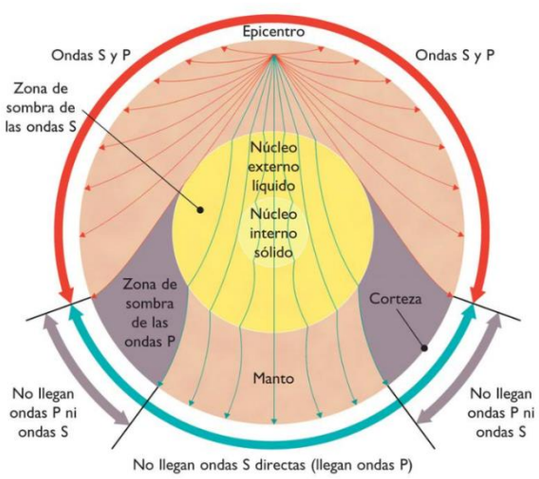
PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS SÍSMICAS

Las ondas sísmicas transportan energía elástica que se propaga en todas direcciones desde el foco de un sismo. Para registrarlas, se utilizan unos instrumentos denominados **sismógrafos**.

Los sismos causan movimientos verticales y horizontales del terreno y los sismógrafos revelan que cuando se desliza una masa de roca, se generan dos grupos principales de ondas: las que viajan por la parte externa de la Tierra, propagándose en todas direcciones, y se conocen como **ondas superficiales**, y las que lo hacen por el interior de la Tierra, y se denominan **ondas de cuerpo**.

Las ondas de cuerpo se dividen en dos tipos, según su forma de viajar a través de los materiales. **Las ondas P (primarias)** son las que viajan a mayor velocidad y, por lo tanto, las primeras que se registran; pueden atravesar sólidos, líquidos o gases y empujan (comprimen) y tiran (expanden) a las rocas en la dirección en que se propagan, es decir, son ondas longitudinales. **Las ondas S (secundarias)** son transversales, es decir, sacuden las partículas sólidas perpendicularmente respecto a su dirección de desplazamiento.





La Tierra tiene componentes que actúan como sólidos y otros como líquidos. Las ondas S no se transmiten en fluidos, por lo tanto, en el núcleo externo, por ser líquido, no se transmiten ondas S, y este sector es conocido como **zona de sombra de las ondas S**. Por otro lado, aunque las ondas P se transmiten en todos los medios, debido a los cambios en las propiedades físicas de las rocas, estas se refractan cambiando su trayectoria y creando una **zona de sombra de las ondas P**. El efecto de refracción de estas ondas es similar al de la refracción de la luz al pasar de un medio gaseoso a uno líquido (cambios de velocidad, absorción, etcétera).

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA

Dependiendo de la cantidad de energía liberada, se presentan sismos menores o mayores (terremotos). La **magnitud de un sismo** está relacionada con la cantidad total de energía liberada, de acuerdo al tamaño real de la falla, y se mide a través de los registros de los sismógrafos, denominados **sismogramas**, utilizando distintas escalas, como por ejemplo la **escala de Richter**. Esta escala da un valor único, que no depende del lugar donde se registre el sismo, y se calcula a partir de **la amplitud** del registro de un terremoto y de la frecuencia de las ondas, considerando la **distancia** del foco a la estación de registro. Según esta escala, por ejemplo, en un terremoto de magnitud 7, las ondas tienen una amplitud 100 veces mayor y se libera 1.000 veces más energía que en un sismo de magnitud 5. Aunque esta escala no tiene límite superior, no se han registrado terremotos de magnitud superior a 9,6.

La cantidad de energía que libera un terremoto es proporcional al área involucrada en el mismo, medida por el desplazamiento promedio de los puntos que la componen. Para comparar la energía liberada en estos eventos, y el área de ruptura involucrada, se utiliza una magnitud llamada **momento sísmico**, que se define como:

$$M_0 = \mu d A$$

Donde μ es el módulo de la rigidez de las rocas involucradas en el terremoto, **d** es el desplazamiento promedio de los puntos y **A** es el área desplazada durante el sismo.

La intensidad de un sismo indica los efectos destructivos de un terremoto en un lugar concreto y depende tanto de la cantidad de energía liberada, de la distancia del lugar al epicentro del sismo y de la geología del lugar, como de otros factores, que son la densidad de la población, el diseño de los edificios y la naturaleza de sus materiales. Se mide con la **escala modificada de Mercalli**.

Los terremotos moderados no disminuyen las posibilidades de que se produzca un gran sismo en la misma región. Esto se debe a que un terremoto de gran magnitud, por ejemplo, de 8,5 grados, libera millones de veces más energía que los temblores pequeños sentidos por el ser humano, por ejemplo de 3 grados, y, por lo tanto, serían necesariosmiles de estos para liberar la energía de un gran terremoto.

LOCALIZACIÓN DE UN SISMO

Al ocurrir un sismo, en todas las estaciones sismológicas del mundo se recibe información y los sismogramas resultantes indican en qué tiempo han llegado las ondas de cuerpo P y S.

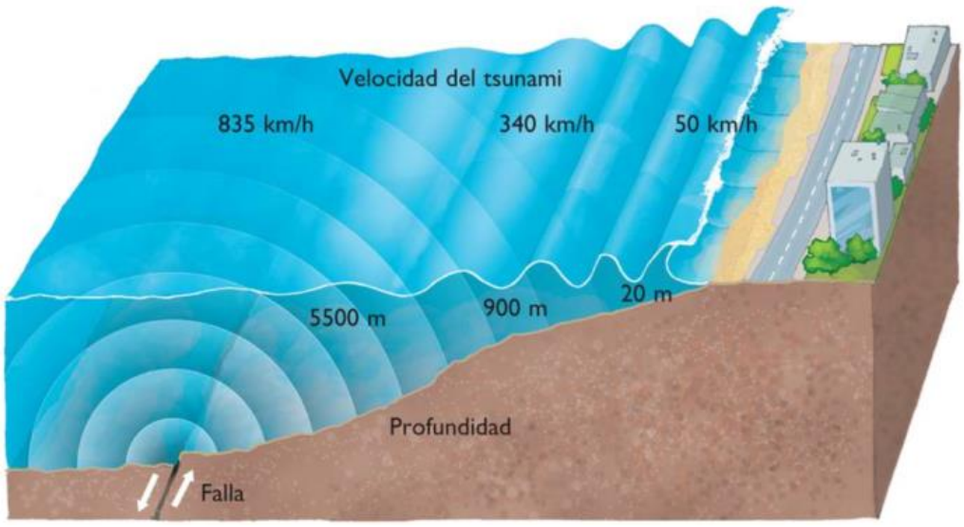
Las ondas P avanzan más rápido que las ondas S y, como se conocen las velocidades que presentan estas ondas en las distintas capas de la Tierra y también se sabe que la onda P y la onda S partieron juntas, los sismólogos calculan el tiempo que pasó entre la llegada de ambas ondas y así se puede saber cuál es la distancia entre la estación que está registrando el sismo y el foco de este. Mientras mayor es la distancia desde el hipocentro del sismo hasta el punto de observación, mayor ventaja le sacará la onda P a la onda S y, una vez que se tiene la distancia buscada, se debe comparar la información con al menos dos estaciones más de monitoreo, para poder identificar en qué dirección se encuentra el foco del sismo.

EFECTOS DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA: LOS TSUNAMIS

Los tsunamis son grandes olas destructivas que se producen casi siempre como consecuencia de un terremoto, producto del desplazamiento vertical a lo largo de una falla del suelo oceánico, o también por explosiones volcánicas en islas, deslizamientos submarinos de tierra, caída de rocas a bahías o al océano, o por explosiones submarinas de dispositivos nucleares.

Los terremotos que generan tsunamis usualmente están asociados a zonas de subducción y, como muchas de estas se encuentran bordeando la cuenca del océano Pacífico, la gran mayoría de los tsunamis ha ocurrido en él. Sin embargo, no siempre se produce un tsunami en la región más próxima al desplazamiento de tierra, por ejemplo, puede ocurrir que un terremoto cercano a nuestro país produzca un tsunami que afecte la costa oriental del océano Pacífico.

Para que un sismo genere un tsunami es necesario que su epicentro esté bajo el suelo marino, a una profundidad menor a 60 km, que la falla asociada al sismo no sea solamente de rumbo, que el sismo libere suficiente energía en un tiempo determinado y que esta sea eficientemente transmitida. Una vez iniciado el tsunami, el desplazamiento del océano es análogo al producido en un estanque al tirar una piedra, pero las velocidades a las que avanza el tsunami son de 500 a 950 km por hora, dependiendo de la profundidad del lugar.



Las profundidades del mar abierto muchas veces impiden que se perciba el movimiento del agua; pero una vez entrado el tsunami en zonas costeras, menos profundas, el agua empieza a apilarse hasta alturas que pueden alcanzar los 30 metros. Las ondas de tsunami son modificadas cuando se aproximan a la costa, debido a factores geológicos como cordilleras submarinas, a la forma de la corteza continental submarina, a la pendiente de la playa, etcétera, y muchas veces, antes de que el tsunami llegue a las costas se produce una gran retirada de agua, que se va acumulando en la gran ola que, luego de 5 a 30minutos, llega a la costa con gran fuerza.

SISMOS EN CHILE

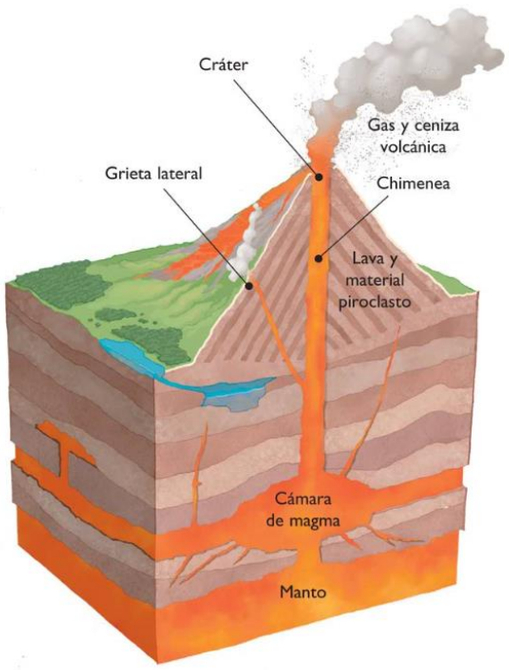
La costa oeste de Sudamérica es una de las zonas sísmicas más importantes del mundo. En nuestro país, la mayor cantidad de sismos detectados diariamente se deben a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, produciendo movimientos intraplaca o interplaca. Sin embargo, también se producen sismos debido a la actividad volcánica que, como veremos más adelante, está fuertemente relacionada con las zonas de subducción.

El límite convergente entre las placas da origen al alzamiento de la cordillera de los Andes y produce extensas fallas que pueden ocasionar grandes terremotos. Esta situación se produce hasta la zona centro-sur de Chile, más específicamente hasta la península de Taitao, en la región de Aysén. Al sur de esta península, la placa Antártica está siendo transportada bajo la placa Sudamericana a una velocidad de 2 cm/año, muy baja en comparación con los 6 ó 7 cm/año que subduce la placa de Nazca. Esta disminución de velocidad de convergencia hace que esta zona sea menos sísmica que el resto del país; no obstante, se conocen dos grandes terremotos que afectaron la zona austral: el del estrecho de Magallanes en 1878, y el de magnitud 7,5 con epicentro en la falla de Magallanes, cerca del cabo Froward, en 1949.

En la imagen se muestran los terremotos más destructivos en Chile, desde 1868 hasta 2007. Junto a la región en que ocurrieron aparece la magnitud asociada a cada uno, en la escala de Richter.

LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

El volcanismo o actividad volcánica es la manifestación en la superficie de los planetas de procesos internos de liberación de energía. En la superficie terrestre existen puntos, llamados volcanes, por donde sale al exterior el magma, material fundido del interior de la Tierra. Ocasionalmente, la salida de magma es acompañada de material no magmático, como por ejemplo grandes rocas del interior del cuerpo del volcán. Estos materiales se acumulan alrededor del centro emisor, dando lugar a montañas con diversas características, donde cada capa que forma el edificio volcánico puede ser asociada a una erupción. De acuerdo con esto, un volcán es el resultado de un complejo proceso que incluye la formación, ascenso, evolución y emisión del magma, así como el depósito de estos materiales.

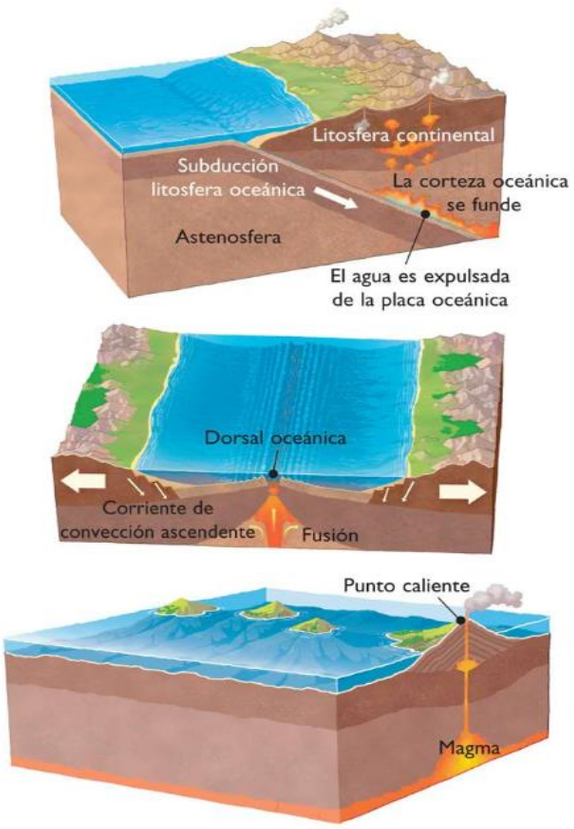


El magma se origina por la fusión parcial de la corteza inferior y/o del manto superior y, como la mayoría de los fluidos, tiene una densidad menor que el sólido del cual se forma. Por esto, tiende a subir a través del manto y la corteza, presionando y empujando, empuje que crea montículos y, en su paso, va fundiendo las rocas con las que se encuentra, creando un cuerpo volcánico por el que sale el magma que, una vez fuera del volcán, se llama **lava**.

- **Formación de volcanes en zonas de subducción, por la deshidratación de la corteza oceánica**. En los bordes convergentes de las placas, la que subduce se deshidrata, cambiando las propiedades de las rocas circundantes, permitiendo su fusión parcial y la creación de nuevo magma, que puede salir al exterior, formando zonas volcánicas como las de los Andes y Japón.

- **FORMACIÓN DE VOLCANES EN UN LÍMITE DE PLACAS DIVERGENTES**. En los bordes divergentes de las placas oceánicas y en depresiones alargadas denominadas **rifts continentales**, donde la presencia de grietas indica que la corteza se está separando, las placas se separan en los centros de expansión y se facilita el ascenso del magma. Esto ocurre, por ejemplo, en la dorsal de Chile y en el rift del Kilimanjaro, en África.

- **VOLCANISMO INTRAPLACA O PUNTOS CALIENTES (hot spot)**. Los volcanes de este tipo están situados en zonas alejadas de los límites de placas, donde la convección en el manto terrestre produce masas de magma más caliente que lo normal, llamadas plumas del manto, que ascienden hasta entrar en contacto con la corteza terrestre y la funden. Estos puntos son llamados puntos calientes, y se encuentran, por ejemplo, en Hawái y Yellowstone.



TIPOS DE VOLCANES

La forma que puede adquirir un volcán es muy variada y se relaciona directamente con los materiales que constituyen el edificio volcánico. Los productos principales de los volcanes son la lava, los gases y el material piroclástico o piroclastos, que son fragmentos de material volcánico de tamaño variable, que presentan temperaturas de hasta 1.000 °C, y son arrojados al aire durante una erupción, viajando a gran velocidad (entre 100 y 300 km/h). El sílice (SiO_2) presente en el magma es uno de los compuestos responsables de cambiar las características de este: si tiene poco sílice, fluye con facilidad y, si presenta alto contenido de SiO_2, se vuelve más viscoso o espeso, y no fluye fácilmente.

- **VOLCANES DE LAVA**

Son aquellos volcanes que expulsan lava. Cuando esta es fluida y el magma emerge desde un solo punto o centro eruptivo principal se denominan **volcanes tipo escudo** y presentan pendientes con ángulos pequeños (menores que 10°), como los de Hawái, el Etna y los de Isla de Pascua.

Si el magma es emitido por fracturas, que pueden alcanzar varios kilómetros de longitud, los volcanes se denominan **fisurales**. Son muy numerosos en la Patagonia argentina, donde forman mesetas de miles de kilómetros cuadrados de superficie.

Si la lava emitida por el volcán es rica en sílice, es viscosa y no alcanza a viajar mucho antes de enfriarse, produciéndose una masa irregular de lava solidificada que se llama **domo de lava**, cuyo volumen es de escasos kilómetros cúbicos y crece durante erupciones a tasas de emisión variables.

Frecuentemente, los domos crecen dentro de la caldera de un volcán y obstruyen el cráter, formando cerros irregulares de fuertes pendientes, de hasta 45°, lo que los hace muy inestables, con derrumbes durante su construcción. El volcán Chaitén es un ejemplo de este tipo de volcán.

- **VOLCANES DE PIROCLASTOS**

Cuando una erupción es moderadamente explosiva, se acumulan piroclastos gruesos en tomo a los cráteres y se forman. Estos son de dimensiones pequeñas, con una altura que generalmente no supera los 300 m, y sus laderas presentan ángulos de alrededor de 34°. Un ejemplo de este tipo es el volcán Caburgua.

Si las erupciones son más violentas, se generan profundos cráteres de explosión o **maares**, cuyo diámetro puede alcanzar unos 2 km, rodeados por anillos de piroclastos con laderas suaves, e inclinaciones de bajo ángulo. Por eso, estos volcanes pasan inadvertidos al observar el relieve desde tierra, como los de Pocura y Carrán, en el lago Ranco.

- **VOLCANES DE LAVA Y PIROCLASTOS**

Las erupciones de mediana magnitud pueden generar piroclastos y coladas de lava que se van depositando en capas intercaladas alrededor de un conducto eruptivo central, en los llamados **estratovolcanes**. Corresponden a grandes volcanes, generalmente cónicos, que alcanzan alturas de hasta 2.500 m, como por ejemplo el Parinacota, el Láscar, el Llaima, el Villarrica y el Osomo. La evolución de estos volcanes comprende un período largo de actividad y pueden presentar etapas con erupciones violentas, etapas tranquilas o de inactividad total.

TIPOS DE ERUPCIONES

Componentes de un Volcán

Las erupciones volcánicas se pueden clasificar, en general, en efusivas o explosivas. Las erupciones efusivas son "tranquilas", pues la lava fluye fácilmente, mientras que las erupciones explosivas son violentas y generan explosiones volcánicas cuando el volumen de los gases que se separan del magma aumenta rápidamente y estos gases suben por los conductos del volcán. La presencia de agua modifica las erupciones pues las altas temperaturas generan grandes cantidades de vapor, que sale a altas presiones por el conducto volcánico.

Con el fin de describir el vigor explosivo de las erupciones volcánicas y mejorar su registro histórico, en 1982 se acordó el Índice de Explosividad Volcánica (IEV), que va desde 0 a 8, según el cual las erupciones se pueden clasificar en:

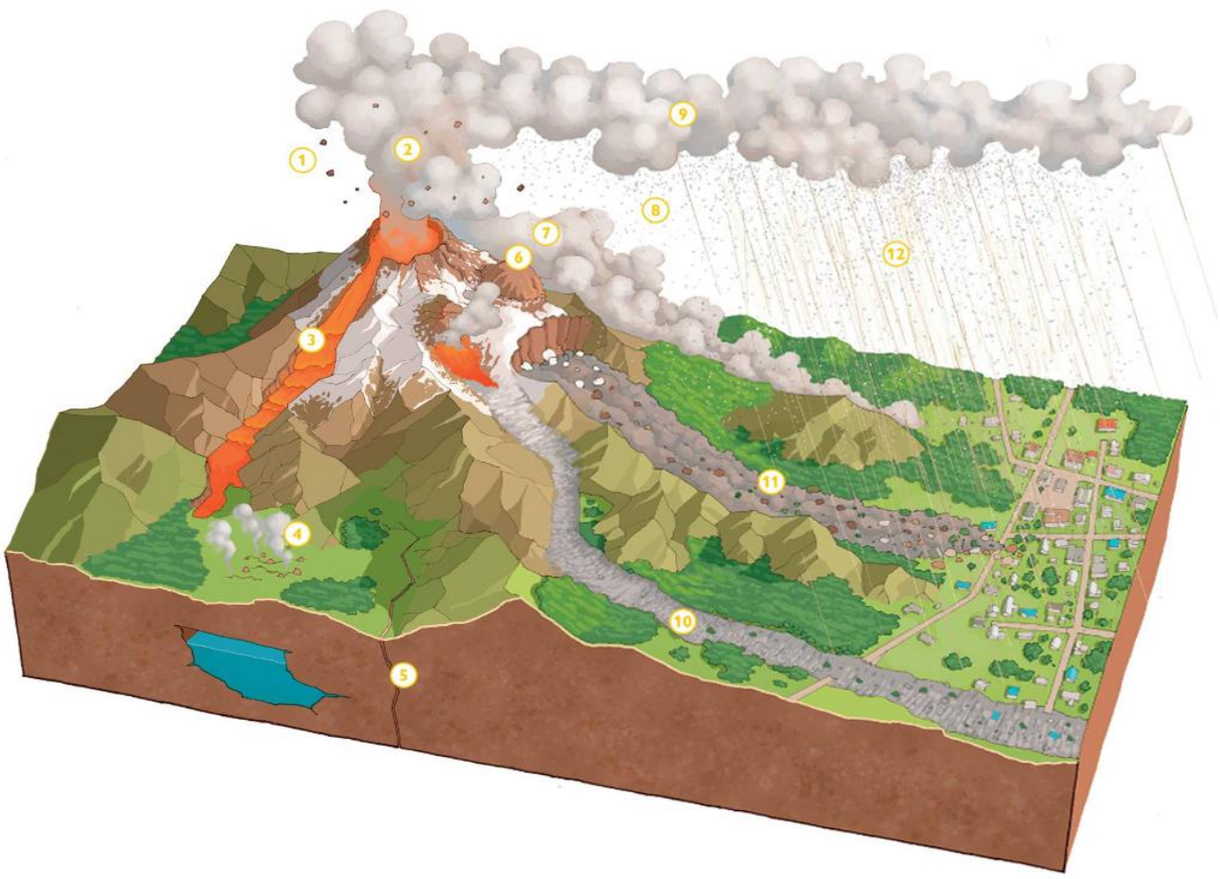
Erupciones	IEV	Características	Ejemplos
Hawaianas	0 - 1	Erupciones efusivas en las que el magma es muy fluido y alcanza el cráter principal, formando "ríos de lava" de baja viscosidad. Por lo general, la columna eruptiva es inferior a los 100 m.	Erupciones de los volcanes de Hawái (Manua Loa y Kilawea).
Estrombolianas	1 - 2	Erupciones que pueden o no presentar coladas de lava, pero sí expulsión de piroclastos, con columnas de cenizas y gases que van desde 0,1 a 5 km de altura.	Erupción del cono del volcán Navidad en 1988.
Vulcanianas	2 - 3	Erupción explosiva moderada que eyecta fragmentos de lava que solidifican de inmediato de forma irregular, formando grandes columnas eruptivas. Son eventos cortos, del orden de 15 minutos de duración.	Erupción de los volcanes Sakurajima, Etna y Láscar.
Subplinianas	3 - 4	Erupciones que presentan eyección de piroclastos, con una columna eruptiva de entre 5 y 20 km.	Erupciones de los volcanes del Cordón Caulle en 1960 y del Calbuco en 1961.
Plinianas	4 - 6	Erupciones altamente explosivas, con eyección de piroclastos grandes. En este tipo de erupción, la columna puede alcanzar hasta unos 40 km de altura.	Erupciones de los volcanes Quizapu en 1932 y Hudson en 1991.
Ultraplinianas	6 - 8	En estas erupciones, la columna se eleva sobre los 40 km.	Erupción del volcán Maipo hace 450.000 años.

VOLCANES EN CHILE

A lo largo de toda la cadena de la cordillera de los Andes existen muchos volcanes, algunos de ellos activos y otros que no han presentado actividad en los últimos cien años. De acuerdo a su ubicación, se dividen en cuatro grandes zonas: la Zona Volcánica Norte (ZVN), la Zona Volcánica Central (ZVC), la Zona Volcánica Sur (ZVS) y la Zona Volcánica Austral (ZVA). Chile abarca una parte o la totalidad de estas tres últimas zonas, además, todas las islas chilenas del océano Pacífico son volcánicas, reportándose erupciones submarinas cerca de Juan Fernández, San Félix y San Ambrosio y en isla Decepción, en la Antártica.

Efectos de la actividad volcánica

Como ya hemos visto, las emisiones de los volcanes y la explosividad que presentan son las características que permiten clasificarlos, y son los volcanes que presentan erupciones explosivas los que más efectos causan en el medioambiente, debido a que en este tipo de erupción se expulsan hacia la atmósfera tanto fragmentos de roca sólida y fundida como gases volcánicos. Observa la imagen que muestra algunos de estos efectos.



1. **ROCAS.** Proyectiles que son lanzados desde el cráter del volcán.

2. COLUMNA ERUPTIVA. Los fragmentos más grandes de roca pueden caer a 4 km de distancia del cráter y los más pequeños (menores a 2,5 mm de diámetro), de vidrio volcánico, minerales y roca convertida en ceniza, se elevan muy alto en el aire, formando una enorme y turbulenta columna. Las partículas de SiO2 presentes en las cenizas pueden producir silicosis al ser respiradas por los seres vivos.

3. FLUJO DE LAVA. Destruye la flora y fauna al incinerar grandes extensiones de terreno.

4. FUMAROLAS. Gases emitidos por los volcanes, a través de grietas del subsuelo, incluso si no están en erupción. Más del 90% de todo el gas emitido por los volcanes es vapor de agua, proveniente del calentamiento de agua subterránea de lluvias y ríos. También se emiten, entre otros gases, dióxido de carbono, que puede mantenerse en áreas bajas en concentraciones letales para los seres vivos, y flúor, que en altas concentraciones es tóxico y puede llegar a envenenar el ganado, que se alimenta de pastos cubiertos de ceniza, y también a contaminar los suministros de agua potable.

5 GRIETAS. Hendiduras alargadas que se hacen en la tierra, producto de la erupción volcánica.

6. DOMO DE LAVA. Lava viscosa, que se desarrolla más bien vertical que horizontalmente por su dificultad de fluir, por lo que puede resultar muy inestable.

7. FLUJO PIROCLÁSTICO (nube ardiente de cenizas, gases y rocas). Puede alcanzar temperaturas de 900 °C y moverse a velocidades de 160 a 240 km/h. Desciende por las laderas de un volcán durante erupciones explosivas o cuando un domo de lava se colapsa y se rompe. Generalmente sigue el curso de los valles, cauces, barrancas y quebradas y es capaz de derribar y quemar todo en su camino.

8. CAÍDA DE CENIZA. La ceniza volcánica de la nube eruptiva oscurece la atmósfera y puede poner en serio peligro la navegación aérea: por ejemplo, durante los últimos 15 años, alrededor de 80 aviones comerciales han sufrido daños y algunos casi se han estrellado por fallas en sus motores. La intensa lluvia de ceniza puede colapsar o derribar edificios, dañar cultivos, sistemas electrónicos y maquinaria.

9. NUBE ERUPTIVA. La columna eruptiva puede crecer en menos de 30 minutos y alcanzar más de 20 km de altura sobre el volcán, formando una nube de cenizas que puede extenderse cientos o miles de kilómetros en la dirección del viento y producir lluvias de ceniza sobre áreas de gran extensión. Por ejemplo, en 2008-2009 la nube eruptiva del volcán Chaitén dejó a oscuras la ciudad de Futaleufú, a 156 km de Chaitén, a solo media hora de la explosión.

10. LAHAR (CORRIENTE DE LODO, ROCA Y AGUA). Se compone principalmente de materiales de las paredes laterales del volcán. Puede bajar rápidamente por los valles, quebradas y corrientes de agua y recorrer más de 80 km con rapidez de 32 a 65 km/h, inundando todo a su paso. Los lahares son uno de los peligros volcánicos más mortíferos.

11. DESLIZAMIENTO (AVALANCHA DE ESCOMBROS). Movimiento rápido, pendiente abajo, de material rocoso, nieve y/o hielo. Se desata cuando las erupciones, la lluvia intensa o los terremotos de gran magnitud causan que estos materiales se rompan y se muevan pendiente abajo.

12. LLUVIA ÁCIDA. El gas dióxido de azufre ($S0_2$) y otros gases emitidos por el volcán, pueden reaccionar con las gotas de agua de la atmósfera y producir lluvia ácida, la que ocasiona corrosión y daños a la vegetación. El SO_2, en grandes concentraciones y a gran altura, también contribuye a la destrucción de la capa de ozono.

LECTURA CIENTIFICA

1. LA POLARIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

El núcleo externo de la Tierra es una capa líquida y las corrientes convectivas del hierro metálico en esta zona son las que generan el campo magnético terrestre. Los geofísicos ingleses Frederick Vine y Drummond Matthews, de la Universidad de Cambridge, estudiaron la roca volcánica de los fondos marinos cercanos a las dorsales oceánicas y descubrieron que la polaridad del campo magnético terrestre se invertía. La evidencia que propusieron son los patrones que se formaban en la roca, que funcionan como un "magnetómetro natural" y que además tiene literalmente una especie de disco duro con millones de años de información. Estas anomalías eran continuas en la cadena montañosa, por lo tanto, no pudieron ser un suceso aislado.

No existe un consenso respecto a la frecuencia con la que sucede el cambio, sin embargo, se da en el rango de los cientos de miles de años. La última inversión de la polaridad ocurrió hace más de 750 000 años. Esta investigación es realmente importante, ya que la inversión magnética trae inestabilidad al debilitar nuestro campo magnético, siendo la defensa principal que tenemos contra la radiación solar y la que impide que nuestra atmósfera sea destruida.

Fuentes: – Tarbuck, E. Lutgens, F. (2005). Ciencias de la Tierra. 8.ª edición. Madrid: Pearson Educación S. A. – Frederick Vine and Drummond Matthews. (s.f.). Recuperado el 15 de junio de 2015, de http://www.geolsoc.org.uk/Plate-Tectonics/Chap1-Pioneers-of-Plate-Tectonics/Vine-and-Matthews

2. LAS CONSECUENCIAS POSITIVAS DE LAS ERUPCIONES VOLCÁNICAS

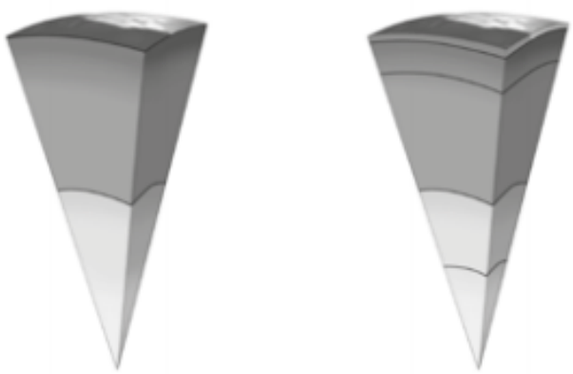
El ingenio de nuestra especie ha permitido aprovechar los efectos de las erupciones volcánicas a su favor. Los romanos usaron las cenizas del Vesubio, volcán que ocasionó la destrucción de la pujante urbe de Pompeya, para crear cemento más fuerte y durable, lo que les permitió construir grandes obras de ingeniería. La actividad volcánica también permitió el desarrollo y la perdurabilidad de la cultura Maya. Si bien muchos poblados, como el poblado maya de Chalchuapa, en El Salvador, quedaron sepultados debido a erupciones volcánicas, fueron estas mismas erupciones las que fortalecían periódicamente el suelo, aumentando su calidad y volviéndolo fértil. Gracias a esto los mayas pudieron tener zonas con altas densidades poblacionales, algo sorprendente considerando la mala calidad actual del suelo donde se asientan algunas de sus ciudades. La erupción del monte Tambora en 1815, en la actual Indonesia, ocasionó una gran crisis. Debido a la escasez de forraje para los animales, el alemán Karl Drais diseñó una forma alternativa de transporte, el velocípedo. Esto llevó posteriormente a la creación de la bicicleta actual e instauró la idea de un transporte sin animales que fue fundamental para el desarrollo del transporte motorizado. Los volcanes también han sido investigados y gracias a ellos se ha formulado una teoría para explicar la formación de nuestros océanos y de la atmósfera. El agua "joven" que aparece en los volcanes, ha llevado a creer a los científicos que el agua de los océanos se encontraba al interior del planeta y que tomó varios centenares de millones de años que se formaran los océanos y la atmósfera. Rocas de principios del precámbrico, hace 3000 millones de años, muestran evidencias que ya estaban sumergidas bajo el agua. Los volcanes y su actividad han traído destrucción, pero también beneficios; aquí solo hemos mencionado algunos de ellos, por lo que es fundamental que nuestros estudiantes los conozcan como algo más que "armas de destrucción masiva" de la naturaleza.

Fuente: – ¿Se ha podido resolver un misterio maya gracias a un "importante" descubrimiento volcánico? (s.f.). Recuperado el 15 de junio de 2015, de http://www.nationalgeographic.es/news/science/misterio-mayaresuelto-volcan – El fuego del Quitralpillán tendría al menos una edad de 450 años. (s.f.). Recuperado el 15 de junio de 2015, de http://www.povi.cl/ quitralpillan.html – La formación de la Tierra. (s.f.). Recuperado el 15 de junio de 2015, de http://www.librosmaravillosos.com/laformaciondelatierra/ capitulo01.html – Historia del hormigón. (s.f.). Recuperado el 15 de junio de 2015, de http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6202/mod_resource/content/1/Hormigon_01._Historia.pdf

ACTIVIDADES

1. ¿Qué efectos tiene en la litosfera el movimiento de las placas en los límites divergentes? Explica
2. ¿En qué consiste la teoría de la deriva continental planteada por Alfred Wegener? Descríbela.
3. ¿Cuáles son las evidencias de la teoría de la deriva continental entregadas por Wegener? Descríbelas.
4. ¿Cómo son los mecanismos que mantienen a las placas en movimiento?
5. Asocia a cada imagen el tipo de límite que corresponda
   A. Límite transformante. B. Límite convergente. C. Límite divergente.

6. Completa el siguiente esquema con los nombres de cada una de las capas del modelo estático y del dinámico del interior de la Tierra.



7. Si entre las placas de Nazca y la Sudamericana existe un proceso de subducción, ¿las islas que se encuentran frente a Chile se acercan o se alejan del continente? Explica.

8. ¿Cuáles son las principales placas tectónicas de la Tierra?

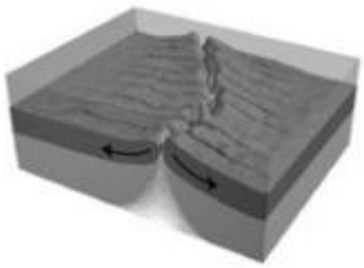
9. Andrés le explica a una compañera que las dorsales oceánicas son lo mismo que las fosas oceánicas. ¿Es correcta la afirmación de Andrés? Corrígela si es incorrecta.

10. De las evidencias de la teoría de la deriva continental entregadas por Wegener, ¿alguna de ellas explica por qué se movían los continentes? Explica.

11. ¿Crees que la hipótesis que propone que la Tierra ha aumentado su tamaño explica por qué se movían los continentes? Justifica tu respuesta.

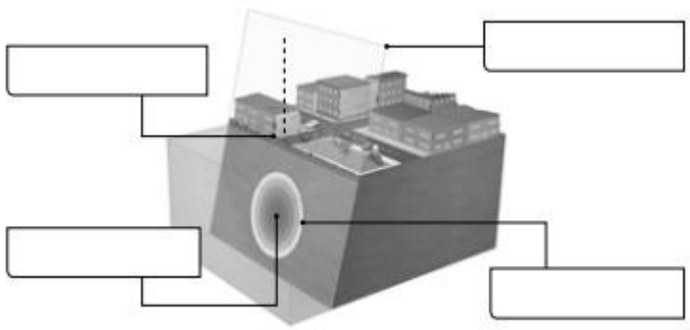
12. A Marcela le piden describir el proceso de convección del manto y lo hace de la siguiente forma: Es el único factor del movimiento de las placas y consiste en el movimiento de fluidos debido a diferencias de temperatura. ¿Es correcta la descripción de Marcela? Justifica.

13. Roberto utiliza el siguiente esquema para representar un límite convergente, ¿es correcto el esquema usado? Justifica tu respuesta.



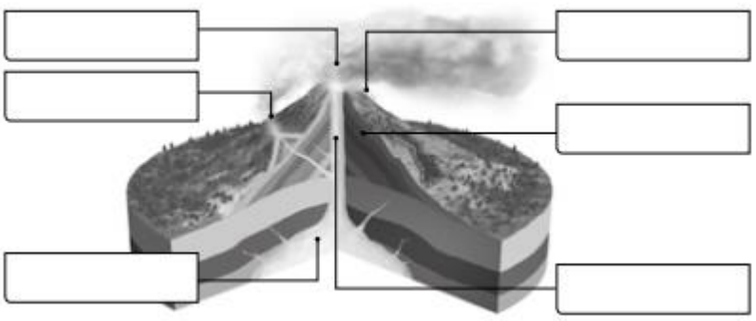
14. Loreto le explica a su hermana que el modelo estático y el modelo dinámico del interior de la Tierra solo se diferencia en que el dinámico tiene una capa más llamada astenosfera. ¿Es correcta la afirmación de Loreto? De no ser así, corrígela.
15. ¿Qué crees que sucederá con los continentes luego de miles de miles de años producto del movimiento de las placas tectónicas?, ¿se juntarán en un solo gran continente?
16. ¿Qué sucedería si el límite entre la placa de Nazca y la Sudamericana fuera divergente? Explica.
17. La siguiente imagen muestra un sismograma, ¿qué ondas corresponden a las ondas P y cuáles a las ondas S?

18. ¿Cuál es la principal diferencia entre la escala de Richter y la escala Mercalli? Explica.
19. ¿En qué zonas de las placas tectónicas se concentra el mayor porcentaje de actividad sísmica y volcánica?
20. Identifica en la siguiente imagen las características de un sismo.

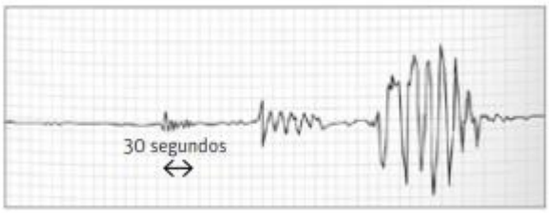


21. ¿Cómo podrías explicar a un compañero en qué consisten las réplicas y por qué se producen?

22. ¿Cuáles son las partes de un volcán? Identifícalas en el siguiente esquema.



23. Un sismo ocurrido en la ciudad de Valdivia se registró en el siguiente sismograma:



¿Cómo sería el sismograma de un sismo de mayor magnitud, pero de igual duración al registrado? Represéntalo a continuación:

24. Entre la escala Richter y la de magnitud de momento, ¿cuál es la que daría un valor más preciso de un terremoto grande? Explica.
25. Patricia realiza la siguiente afirmación: “Chile está ubicado justo en la unión de dos placas tectónicas, es por esta razón que se producen muchos sismos de gran intensidad”. ¿Estás de acuerdo con la afirmación de Patricia?, justifica.
26. Gerardo le explica a su compañero que el epicentro de un sismo es el punto de la litosfera donde comienza el movimiento sísmico, ¿es correcta su afirmación? Corrígela si es incorrecta.
27. ¿Qué efectos puede producir un sismo cuyo epicentro sea cercano a la costa? Explica.
28. ¿Qué crees que sucedería si el cráter de un volcán fuera tapado con una gran malla y sobre ellas rocas de gran tamaño?

SELECCIÓN MÚLTIPLE

1. Si pudieras poner en un vaso una muestra de las tres capas de la Tierra y estas no pudieran mezclarse. Según su densidad, ¿cuál de ellas se encontraría en la superficie y cuál en el fondo del vaso?
   A. La corteza y el núcleo, respectivamente.
   B. El núcleo y la corteza, respectivamente.
   C. La corteza y el manto, respectivamente.
   D. El manto y el núcleo, respectivamente.
   E. El núcleo y el manto, respectivamente.
2. Mauricio tiene que describir las características de la capa que posea una mayor temperatura en comparación a las demás, ¿cuál capa debería describir?
   A. La litosfera.
   B. La astenosfera.
   C. La corteza.
   D. La mesosfera.
   E. La endosfera.
3. La profesora describió una capa de la Tierra que está compuesta por roca sólida, pero que presenta ductilidad pudiendo deformarse fácilmente y tiene la capacidad de fluir. ¿A qué capa de la Tierra se refiere?
   A. La litosfera.
   B. La astenosfera.
   C. La corteza.
   D. La mesosfera.
   E. La endosfera.

4. Con respecto a la teoría de la deriva continental Francisca propone lo siguiente:

   I. Inicialmente los continentes estaban unidos.

   II. Los continentes se mueven lentamente, pero de manera constante en el tiempo.

   III. Los continentes se desplazan sobre el lecho marino.

   ¿Cuál(es) de las afirmaciones de Francisca son correctas?

   A. Solo I
   B. Solo II
   C. Solo I y II
   D. Solo II y III
   E. I, II y III

5. En la siguiente imagen se muestra las dorsales oceánicas y las fosas oceánicas. Dorsales oceánicas Fosas oceánicas Respecto a esto Arturo propone las siguientes afirmaciones:

   I. El afloramiento del magma desde el interior de la Tierra crea las dorsales oceánicas.
   II. Las fosas oceánicas se producen debido a un fenómeno de subducción.
   III. El fondo oceánico se expande producto de la formación de nueva litosfera.

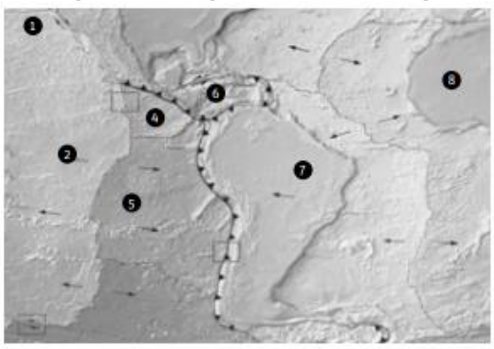
   ¿Cuál o cuáles de las afirmaciones de Arturo son correctas?

   A. Solo I
   B. Solo II
   C. Solo I y III
   D. Solo II y III
   E. I, II y III

6. ¿El movimiento de qué placas tectónicas producen principalmente la actividad sísmica en Chile?
   A. Las placas Filipina y del Caribe.
   B. Las placas Pacífica y de Cocos.
   C. Las placas Euroasiática y Pacífica.
   D. Las placas de Nazca y Sudamericana.
   E. Las placas Antártica e Indoaustraliana.

7. ¿Sobre qué placa tectónica se encuentra la ciudad de Valdivia?
   A. La de Nazca.
   B. La Antártica.
   C. La de Cocos.
   D. La del Pacífico.
   E. La Sudamericana.

8. En la siguiente imagen se muestran algunas placas tectónicas y las flechas representan su movimiento.



   ¿Cuáles de ellas constituyen un límite convergente?
   A. La placa 5 con la 6.
   B. La placa 2 con la 5.
   C. La placa 7 con la 8.
   D. La placa 6 con la 7.
   E. La placa 5 con la 7.

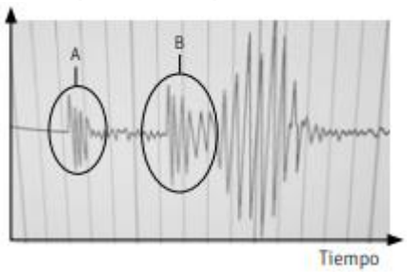
9. Franco describe una característica de un sismo, indicando que corresponde a un punto de la superficie terrestre ubicado directamente sobre el punto donde comienza el movimiento sísmico. ¿Qué característica describe Franco?
   A. El foco.
   B. El epicentro.
   C. El hipocentro.
   D. El plano de falla.
   E. La zona de ruptura.

10. En una estación sismológica se registran los tiempos entre el registro de la primera onda P percibida y la primera onda S, de varios sismos, obteniendo los siguientes datos:

Sismo 1: 100 s
Sismo 2: 30 s
Sismo 3: 180 s
Sismo 4: 90 s
Sismo 5: 250 s

¿Cuál de estos sismos se produce más lejos de la estación sismológica?
A. Sismo 1
B. Sismo 2
C. Sismo 3
D. Sismo 4
E. Sismo 5

11. En la siguiente imagen se muestra el registro de un sismo.



¿A qué tipo de onda corresponden las que se registran en la zona A y B, respectivamente?
A. Ondas P y S.
B. Ondas S y P.
C. Ondas R y P.
D. Ondas P y L.
E. Ondas L y R.

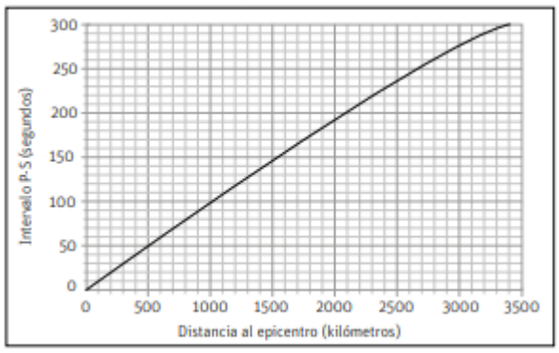
12. Carolina le cuenta a su hermano sobre un tipo de onda que se produce en el foco, no corresponden a las primeras en percibirse y no pueden propagarse por el interior de los fluidos. ¿Qué tipo de ondas está describiendo Carolina?
A. Ondas P.
B. Ondas S.
C. Ondas L.
D. Ondas R.
E. Ondas R o L.

13. Soledad realiza un resumen sobre la escala Mercalli modificada, señalando lo siguiente:
    I. Consiste en 12 grados de intensidad.
    II. Evalúa los efectos sobre las construcciones.
    III. No es una estimación adecuada para sismos de gran magnitud.

¿Cuál o cuáles de las afirmaciones de Soledad describen la escala Mercalli modificada?
A. Solo I
B. Solo II
C. Solo I y II
D. Solo II y III
E. I, II y III

14. ¿En qué país se ha producido el terremoto de mayor magnitud que se ha registrado?
A. Brasil.
B. Japón.
C. Chile.
D. España.
E. Estados Unidos.

15. Fernando observa un sismograma de un sismo, el cual le indica que el tiempo transcurrido entre el registro de primera onda P y la primera onda S, fueron 100 s. Usando el siguiente gráfico, ¿cuál es la distancia a la que se encuentra el epicentro del sismo de la estación sismológica que lo registró?



A. 10 km aproximadamente.
B. 100 km aproximadamente.
C. 500 km aproximadamente.
D. 1000 km aproximadamente.
E. 2000 km aproximadamente.

16. ¿En qué zona debe ser el epicentro de un terremoto para que se espere la ocurrencia de un tsunami?
    I. En la cordillera.
    II. En una zona costera.
    III. Un volcán submarino.

A. Solo I
B. Solo II
C. Solo III
D. Solo II y III
E. I, II y III

17. Loreto está estudiando las partes de un volcán y describe una de ellas como el conducto a través del cual asciende el magma. ¿A qué estructura se refiere?

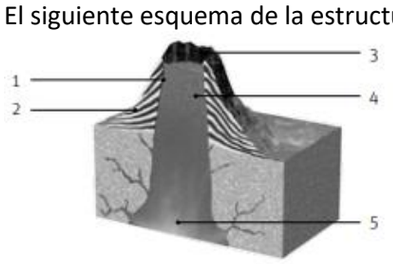
A. Cráter.
B. Chimenea.
C. Cono volcánico.
D. Cono secundario.
E. Cámara magmática.

18. Jorge realiza las siguientes afirmaciones sobre el volcanismo.
    I. Se produce solo en la litosfera continental.
    II. Generalmente, corresponde a la expulsión de magma hacia el exterior de la Tierra.
    III. Está relacionado con el movimiento de las placas tectónicas.

¿Cuál o cuáles de las afirmaciones de Jorge son correctas?

A. Solo I
B. Solo II
C. Solo I y III
D. Solo II y III
E. I, II y III

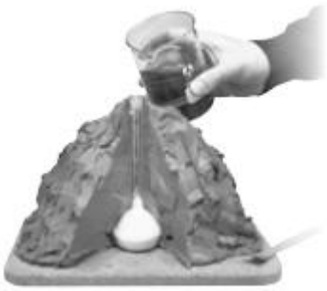
19. El siguiente esquema de la estructura de un volcán fue realizado por Gerardo.



¿Qué número señala la cámara magmática?

A. 1
B. 2
C. 3
D. 4
E. 5

20. Un grupo de estudiantes realiza el modelo de una erupción volcánica, como el que se muestra a continuación:



Observaron que al agregar vinagre en el recipiente con bicarbonato la mezcla producía una reacción que hacía que saliera expulsada al exterior, fluyendo por el volcán hasta su base. A partir de esta experiencia establecieron lo siguiente:

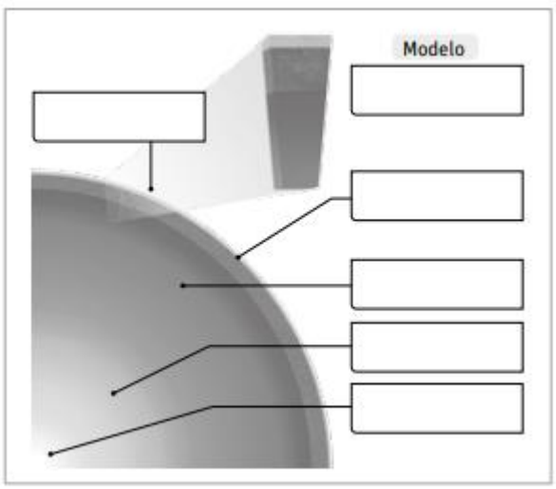
I. La lava expulsada por un volcán puede llegar a los poblados situados a sus pies.
II. La lava sale expulsada por el cráter de un volcán.
III. La lava es representada por la mezcla de bicarbonato y vinagre.

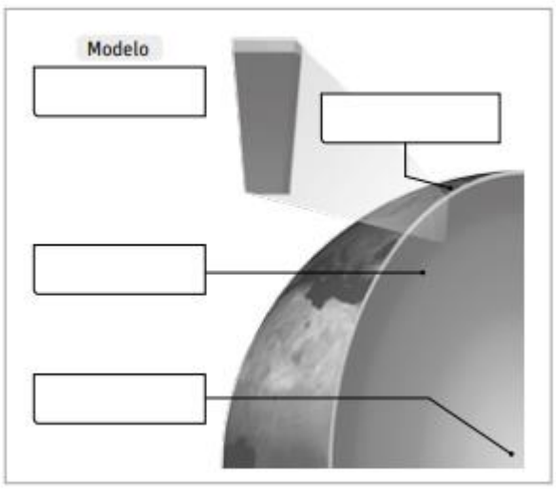
¿Cuál o cuáles de las conclusiones propuestas por el grupo son correctas?

A. Solo I
B. Solo II
C. Solo I y III
D. Solo II y III
E. I, II y III

Responde las siguientes preguntas de desarrollo EN TU CUADERNO.

21. Completa el siguiente esquema con los nombres de las diferentes capas, identificando el modelo estático y el dinámico.

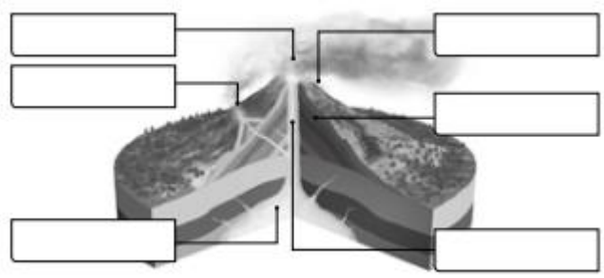




22. Explica qué sucederá con los continentes luego de cientos de millones de años según la teoría de la deriva continental.
23. Describe el mecanismo que mantiene a las placas tectónicas en movimiento.
24. Realiza un esquema en el que muestres la ubicación de las siguientes características de un sismo: epicentro, hipocentro, plano de falla y zona de ruptura.
25. Marcela y Andrés realizan las siguientes descripciones con respecto a la magnitud e intensidad de un sismo.
    - La magnitud de un sismo corresponde a la evaluación de sus efectos sobre las personas, las construcciones y el terreno.
    - La intensidad de un sismo corresponde a un parámetro que indica la energía liberada por un sismo.

¿Están correctas las descripciones de Marcela y Andrés? De no estarlo, corrígelas.

26. Realiza una comparación entre las escalas Richter, magnitud de momento y Mercalli modificada.
27. Durante un día en una estación sismológica se registran dos sismos, uno de 4 grados y otro de 5 grados en la escala de magnitud de momento. ¿Cuántas veces mayor es la cantidad de energía liberada por el segundo sismo en comparación con el primero?
28. ¿Cuáles son los efectos de los sismos en la sociedad y en el medio ambiente? Explica.
29. Usando la siguiente imagen, describe cada una de las partes que conforman un volcán.



30. Señala 3 medidas de seguridad que le recomendarías seguir a tu familia en el caso de un sismo, de un tsunami y de una erupción volcánica.

CONSULTA TUS DUDAS AL CORREO cegiovann@gmail.com, indicando Nombre y curso al que perteneces. Te responderemos a la brevedad.