



COLEGIO LA MISION  
DPTO. DE CIENCIAS  
FÍSICA

## “CIENCIAS DE LA TIERRA”

*Apunte preparado por Profesor **MARIO H. MUÑOZ RIFFO***

Curso: 7° Año Básico

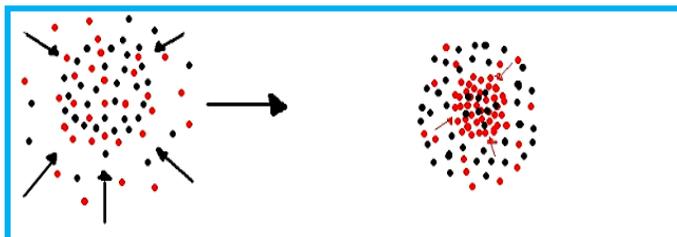
Nombre alumno:

## ¿CÓMO SE FORMÓ LA TIERRA?

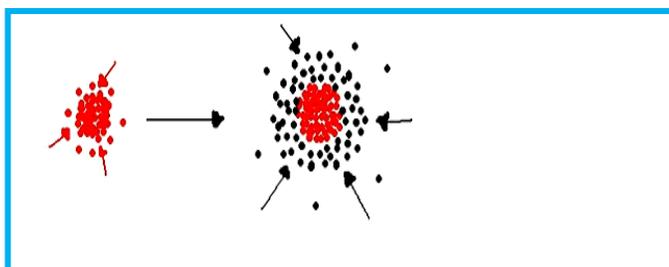
Según las evidencias, la Tierra se formó hace unos 4.600 millones de años; aunque no hay una teoría clara acerca de cómo sucedió esto, todo indica que el Sol, la Tierra y los demás cuerpos del Sistema Solar se formaron a partir de la acumulación gravitacional de una nebulosa. Esto fue provocado por la explosión de una supernova cercana, permitiendo la agrupación del material. ¿Por qué la Tierra quedó formada por capas?

Hay dos hipótesis en las cuales se sustentan la teoría de la acreción, e indican cómo se habrían agrupado los materiales.

**La acreción homogénea** plantea que la tierra desde su formación contenía todos los materiales que están presentes en la actualidad, pero se encontraban mezclados. Con el tiempo, a causa de las diferentes densidades, unos se fueron ubicando en la parte interior y los menos densos en la superficie.



La segunda hipótesis, **llamada acreción heterogénea**, plantea que la Tierra se fue formando por capas; primero se formó el núcleo que es más denso, y debido a esta gran densidad atrajo a los otros elementos, menos densos, que se ubicaron en la superficie.



Ambas teorías plantean que la tierra era inicialmente una bola incandescente, cuya

elevada temperatura hacía que la superficie del planeta estuviera en estado líquido. Con el tiempo, la superficie de la Tierra comenzó a enfriarse y se solidificó, formando lo que hoy conocemos como corteza. Pero desde el interior seguía emanando material líquido a altas temperaturas, el que contenía distintos tipos de gases, entre ellos vapor de agua. Estos gases se acumularon en la parte superior, dando lugar a la atmósfera, y al condensarse el vapor de agua comenzaron las precipitaciones en forma de lluvia. Al acumularse agua, se originaron ríos, lagos y océanos.

El origen de la Tierra está íntimamente relacionado con el origen del Universo. Después del gran estallido (Big Bang) la fuerza desencadenada impulsó la materia, extraordinariamente densa, en todas

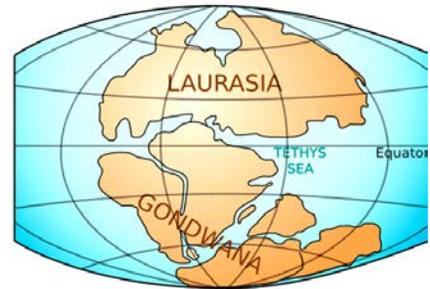


Pangea-250 million years ago

direcciones, a una velocidad próxima a la de la luz. Con el tiempo, y a medida que se alejaban del centro y reducían su velocidad, masas de esta materia se quedaron más próximas para formar, más tarde, las galaxias. No sabemos qué ocurrió en el lugar que ahora ocupamos durante los primeros 10.000 millones de años, si hubo otros soles, otros planetas, espacio vacío o, simplemente, nada. Hacia la mitad de este periodo, o quizás antes, debió formarse una galaxia. Según las teorías actuales se ha estimado la edad de la Tierra en 4600 millones de años.

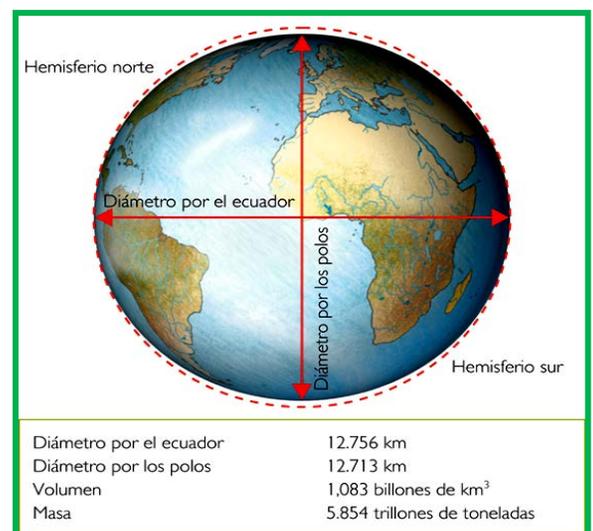
Al inicio el planeta estaba formado por una sola masa, supercontinente, llamada Pangea.

Después de unos cuantos millones de años esta masa se dividió en dos, Laurasia y Gondwana. Luego hubo nuevas divisiones para que aparecieran los actuales continentes los cuales continúan con su movimiento. La Tierra en un comienzo era una bola incandescente, la cual fue enfriándose, desplazándose los compuestos más livianos hacia la superficie y los más densos hacia el interior como el hierro y níquel. La parte rocosa de la superficie terrestre continuó enfriándose hasta que el vapor de agua existente en la atmósfera dio origen a las precipitaciones y con esto a la formación de los océanos y las condiciones atmosféricas han dado lugar a grandes cambios en nuestro planeta y la aparición de vida. Al principio no tenía atmósfera, y recibía muchos impactos de meteoritos. La corteza de la Tierra sigue variando continuamente fundiéndose en el magma caliente sobre la que flota, es decir, la corteza se renueva y es difícil encontrar rocas de más de tres mil millones de años de antigüedad pero cuando se consiguen proporcionan datos muy valiosos sobre la composición primitiva de la corteza terrestre y su atmósfera.

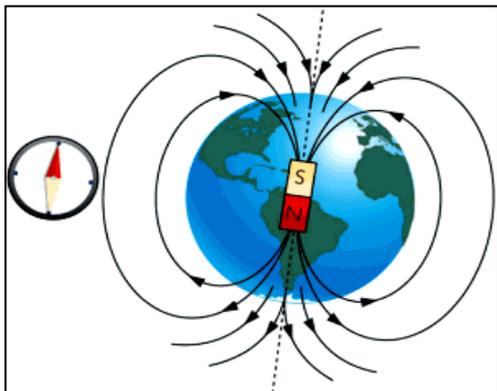


### ¿QUÉ FORMA TIENE LA TIERRA?

Se han dado diferentes respuestas a la interrogante de la forma de nuestro planeta. Los griegos plantearon que era esférica, hace unos 500 años era considerada plana y en la actualidad, gracias a los vuelos espaciales y a la exploración satelital, sabemos que la Tierra es un geoide en rotación con un radio ecuatorial de unos 6.378 km. y un radio polar de aproximadamente 6.357 km.



### EL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA



fundidos que hay en el núcleo externo terrestre al producirse la rotación del globo. El efecto que produce este campo magnético origina una región que circunda la Tierra denominada magnetosfera. Esta capa desempeña un rol fundamental en la preservación de la vida, pues funciona como un blindaje que protege a nuestro planeta del viento solar y de los rayos

Los científicos han encontrado evidencias de que nuestro planeta produce un campo magnético como si fuese un gigantesco imán, aun cuando no se conoce con certeza qué es lo que lo produce.

La hipótesis más atendible se basa en la inducción electromagnética que producirían los electrones de los metales



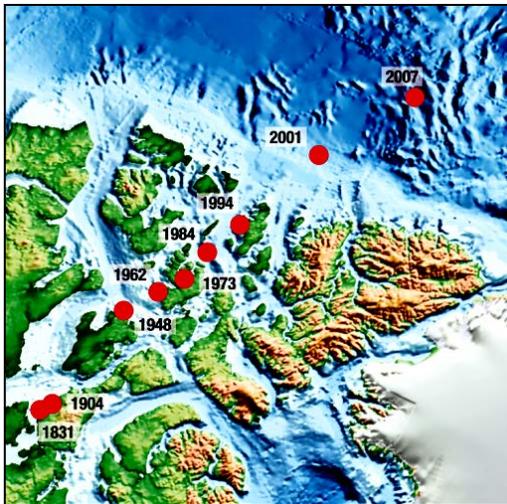
cósmicos.

Además, en esta capa se producen las auroras boreales y australes, al interactuar con los iones y partículas procedentes del sol. La alta temperatura que alcanza el núcleo interior de la Tierra llega a ser mayor que en la superficie del Sol. A consecuencia de ese intenso calor, los materiales del núcleo exterior y del manto se desplazan (corrientes de convección) dando como resultado que las grandes placas que forman la corteza terrestre deriven lentamente en la superficie. Se presume que estas corrientes son las que originan el campo magnético terrestre, formando lo que conoce como magnetosfera. La Tierra tiene un campo magnético con polos norte y sur. Este campo magnético está rodeado por la magnetosfera, la cual impide que la mayoría de las partículas del sol, transportadas en el viento solar, lleguen a la Tierra.

Algunas partículas logran penetrar la magnetosfera y son las



responsables de las espectaculares auroras boreales.



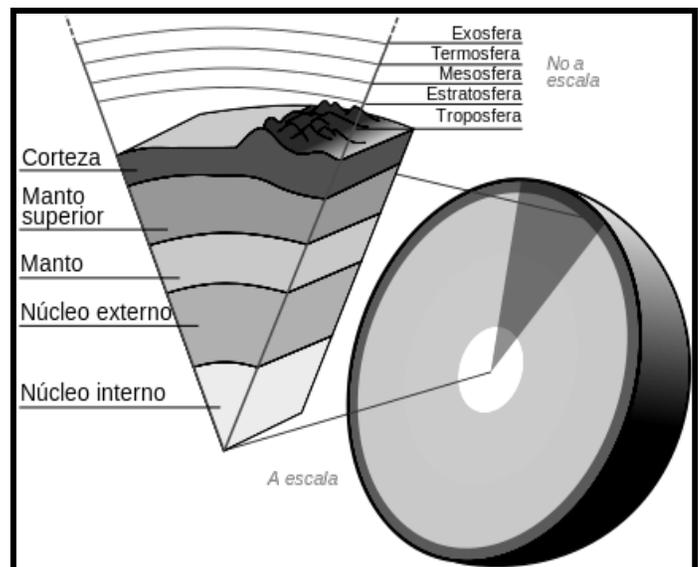
Los científicos aún no logran explicar la causa de las más de 170 inversiones sufridas por el campo magnético terrestre en los últimos 100 millones de años. En la actualidad el polo norte magnético se encuentra próximo al polo sur geográfico mientras que el polo sur magnético se halla cerca del polo norte geográfico. En los polos magnéticos se producen las auroras boreales o australes.

*Inversión del Polo Norte observado durante 1831 – 2007*

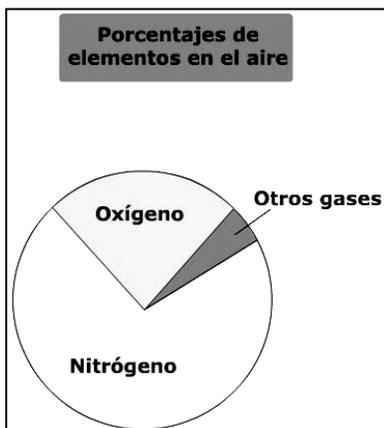
## COMPOSICIÓN DE LA TIERRA

Si observamos nuestro planeta, vemos que está formado básicamente por tierra (geósfera) y por agua (hidrosfera). Y además está rodeado por una capa de gases (atmósfera).

La geósfera representa el 99,9 % aproximadamente de la masa del planeta, la hidrosfera es el 0,02 % y la atmósfera solo el 0,08 %.



## LA ATMÓSFERA, UNA ENVOLTURA PROTECTORA



Nuestro planeta está rodeado por una región gaseosa conocida con el nombre de atmósfera, que se compone básicamente de cuatro capas: troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera.

Es la capa gaseosa que envuelve algunos planetas y otros cuerpos celestes. En nuestro planeta, la atmósfera terrestre está conformada por una mezcla de gases (aire) formada por nitrógeno (78%), oxígeno (21%), gases inertes, hidrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua.

**Troposfera:** Es la capa inferior, en ella se producen los fenómenos meteorológicos, en ella se contiene un 70% del peso total de la atmósfera.

**Estratosfera:** Su característica principal es la ausencia de vapor de agua y una temperatura bastante homogénea (entre  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); aquí se encuentra la capa de ozono, de

vital importancia en la absorción de las radiaciones ultravioleta, ya que, si llegaran directamente a la superficie terrestre, destruirían todo vestigio de vida en ella.

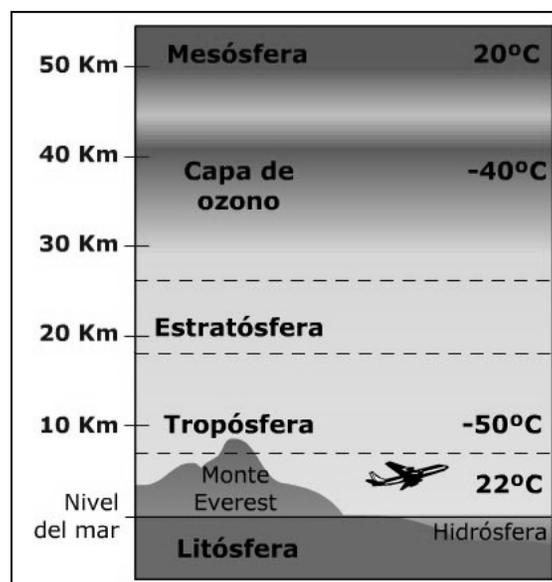
**Mesosfera:** Esta capa se extiende desde, aproximadamente, 50 km hasta los 80 km, y está caracterizada por un decremento de las temperaturas, alcanzado los  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  a una altitud de 80 km.

**Termosfera:** Se producen disociaciones moleculares que provocan temperaturas muy elevadas, de 1.000 a 1.500  $^{\circ}\text{C}$ . A estas altitudes extremas las moléculas de gas se encuentran ampliamente separadas.

**Exosfera:** Como su nombre indica, es la región atmosférica más distante de la superficie terrestre. Su límite superior se localiza a altitudes que alcanzan los 960 e incluso 1000 km, y está relativamente indefinida. Es la zona de tránsito entre la atmósfera terrestre y el espacio interplanetario.

**La ionosfera:** Es el nombre con que se designa una o varias capas de aire ionizado en la atmósfera que se extienden desde una altura de casi 80 km sobre la superficie terrestre hasta 640 km o más. A estas distancias, el aire está enrarecido en extremo, presenta una densidad cercana a la del gas de un tubo de vacío. Cuando las partículas de la atmósfera experimentan una ionización por radiación ultravioleta, tienden a permanecer ionizadas debido a las mínimas colisiones que se producen entre los iones.

La ionosfera ejerce una gran influencia sobre la propagación de las señales de radio. Una parte de la energía radiada por un transmisor hacia la ionosfera es absorbida por el aire ionizado y otra es refractada, o desviada, de nuevo hacia la superficie de la Tierra. Este último efecto permite la recepción de señales de radio a distancias mucho mayores de lo que sería posible con ondas que viajan por la superficie terrestre. La ionosfera contiene algunas capas, las cuales tienen una gran importancia para las transmisiones de ondas de radio, porque reflejan las ondas cortas y por lo tanto pueden permitir las conexiones de un continente a otro. La ionosfera también es sede de espectaculares fenómenos conocidos como Auroras polares, que se deben a la excitación producida en las partículas de esta capa atmosférica por el Viento solar.



## FUNCIÓN DE LA ATMÓSFERA

### Como filtro

-De la energía solar que llega al planeta, algo más del 30% es reflejada por la Atmósfera o por la superficie terrestre. El resto de la energía solar es absorbida por el planeta.

-Parte de la energía absorbida es reemitida al exterior y parte es empleada para calentar el aire, el agua y la tierra.

-Las radiaciones son filtradas por distintas capas de la Atmósfera, al igual que hacen unas gafas de sol. Permite el paso de unas radiaciones e impide el paso de otras. Radiaciones gama en la ionosfera y ultravioleta en la capa de ozono.

### Como regulador térmico

Las radiaciones que llegan a la superficie terrestre son reemitidas a la atmósfera en forma de radiaciones infrarrojas que son absorbidas por el vapor de agua y CO<sub>2</sub>, principalmente. Estas moléculas reenvían la radiación hacia la superficie terrestre en forma de calor, provocando el calentamiento de la Atmósfera. A esto se le ha denominado efecto invernadero.

La temperatura media de la superficie de la Tierra es de 15 °C. Si no existiera este calentamiento, la temperatura sería de unos -18 °C, 33 °C menos.

De todas formas, la temperatura de la Tierra no es constante, debido al ángulo de incidencia de los rayos solares y a la inclinación del eje de giro de La Tierra. Esto genera grandes diferencias de temperatura que se equilibran gracias a movimientos circulares que ocurren en la Atmósfera y la Hidrosfera. Estos movimientos se producen desde las zonas cálidas intertropicales hasta las zonas más frías, lo que compensa la diferencia de temperatura.

### LA HIDROSFERA

Constituye el conjunto de toda el agua presente en la tierra. Dadas las características del planeta se puede presentar en los tres estados, sólido (formando la criosfera), líquido y gaseoso (como componente de la atmósfera). Su distribución es la siguiente:

- Océanos 97%
- Glaciares 2%
- Aguas subterráneas 0,57%
- Ríos y lagos 0,001%
- Humedad del aire 0,001%
- Seres vivos 0,00004%

La relación que tiene con los otros subsistemas viene determinada por el ciclo del agua, donde se ve como circula de unos subsistemas a otros.





Este suele confundirse con el tiempo meteorológico, ya que ambos analizan las mismas variables (entre ellas, temperatura, presión y humedad atmosférica), pero con diferencias considerables de tiempo cronológico. Cuando hablamos de tiempo solo nos restringimos a las condiciones diarias existentes en una zona; en cambio, el clima corresponde al conjunto de fenómenos meteorológicos recurrentes (patrón promedio) de un determinado lugar (ya sea local, regional o global), tomando en cuenta un mayor lapso de tiempo (por lo general, años).

## **ELEMENTOS CLIMÁTICOS**

El clima no tiene que ver únicamente con la temperatura existente en un momento dado, ya que está determinado por todos los elementos meteorológicos que se dan en una región: temperatura, presión atmosférica, humedad, vientos, y precipitaciones.

Todos estos elementos están condicionados por los llamados factores del clima, es decir, los que hacen que se produzca un clima con determinadas características.

### **- Temperatura**

Es la cantidad de calor que posee la atmósfera, dependiendo de la energía que el Sol genere. Por ello, está relacionada directamente con la radiación solar.

Si bien el Sol emite directamente hacia nuestro planeta sus rayos, estos no llegan de forma íntegra a la superficie terrestre.

Una de las principales causas es la acción protectora de la atmósfera (capa de ozono), que impide la llegada de rayos dañinos y retiene, en su parte alta, una buena cantidad de radiación.

La temperatura varía de acuerdo con el lugar del planeta (latitud) donde nos situemos, ya que no todos los puntos del planeta reciben la misma cantidad de radiación solar.

La posición de la Tierra con respecto al Sol y el movimiento de la misma alrededor de él condiciona la llegada más directa de los rayos solares al Ecuador (donde las temperaturas son bastante altas), mientras que en la zona de los polos la radiación pasa escasamente, disminuyendo así la temperatura.

Existen varios instrumentos para medir la temperatura de un lugar. Entre ellos destacan los termómetros de máximas y mínimas, que, como su nombre lo indica, sirven para medir las temperaturas extremas de un determinado momento. Si bien realizan la misma función, su estructura es diferente, ya que el primero contiene en su interior mercurio y el segundo, alcohol. Usualmente, la temperatura atmosférica se mide en grados Celsius (°C), pero también existen otras escalas de medición térmica, como las de grados Fahrenheit o Kelvin.

### **- Presión atmosférica**

Se refiere a la fuerza que ejerce la atmósfera en todas las direcciones, producto del peso de sus capas superiores y de la atracción (fuerza de gravedad) que ejerce la superficie terrestre. La unidad de medida de la presión atmosférica es la atmósfera, definida como la cantidad de peso que ejerce una columna de mercurio de 760 milímetros de altura a una latitud de 45°, al nivel del mar y a una temperatura de 0° centígrados.

En meteorología se usan los milibares o milímetros de mercurio. La relación entre estas medidas es la siguiente: 1 atmósfera son 1.013,2 milibares o 760 milímetros de mercurio.

La presión atmosférica disminuye con la altitud, debido a que cuanto más alto está un punto sobre el nivel del mar menos capa de aire tiene por encima.

Esta disminución no se realiza por igual en toda la atmósfera, el descenso es de 1,33 milibares por cada 11 metros de ascensión; mientras que en las capas atmosféricas más altas, la disminución es más lenta.

De igual manera, si nos movemos horizontalmente, la presión atmosférica no es igual en todas partes, ya que si nos encontramos en un sector donde el aire es frío, este desciende y genera una presión más alta sobre la Tierra, mientras que si el aire se calienta, se eleva y en la superficie existirá una baja presión. A los centros de baja presión se les denomina ciclones, mientras que los de alta presión reciben el nombre de anticiclones.

El principal instrumento utilizado para su análisis es el barómetro de mercurio, instrumento que consta de un tubo de cristal lleno de mercurio, con un extremo abierto que va sumergido en una cubeta. También existe el barómetro aneróide, cuyas variaciones son reflejadas por las agujas de un reloj.

### - Vientos

El aire que contiene nuestra atmósfera está en constante movimiento por medio de las corrientes o vientos. Estos viajan por la atmósfera a partir de una diferencia en la presión, capaz de desplazar el aire desde las zonas de mayor a menor presión.

Cuando la atmósfera se calienta, lo hace primero desde su capa más inferior hasta la más superior, lo que provoca una dilatación del aire. Paulatinamente, el aire comienza a subir, creando un flujo circular constante.

La Tierra gira sobre su eje de oeste a este, provocando una desviación de todos los objetos en movimiento, incluyendo los vientos. A este efecto se le llama fuerza de Coriolis. Esta determina que todos los objetos en movimiento situados en el hemisferio norte, incluyendo las masas de aire, se desvíen en el sentido de las agujas de un reloj, mientras que aquellos situados en el hemisferio sur toman la dirección opuesta.

Es posible identificar dos principales grupos de vientos, los cuales se clasifican de acuerdo con la superficie que cubren en su recorrido y con su regularidad. Hablamos de vientos planetarios cuando se trata de aquellos que cubren y se desplazan por grandes extensiones de la Tierra, mientras que al referirnos a vientos locales indicamos aquellos que se rigen por las condiciones topográficas de un sector determinado y más limitados.

Los vientos planetarios son los alisios, contralisios y circumpolares. Los vientos alisios circulan entre los trópicos, desde los 30 o 35º de latitud hacia el Ecuador. Se dirigen desde las altas presiones subtropicales hacia las bajas presiones ecuatoriales. Dado que estos vientos proceden de dirección este, son también llamados alisios del este y, gracias a la fuerza de Coriolis, siempre se mueven hacia el oeste.

El aire ecuatorial se eleva, se enfría y se mueve en dirección norte y sur, alejándose de la región ecuatorial. A unos 30º de latitud norte, el aire se enfría cada vez más e inicia el descenso. El aire en descenso va calentándose y fluye por la superficie en dirección norte, hacia el polo, o en dirección sur, hacia el Ecuador. Hablamos, entonces, de vientos contralisios cuando se trata de vientos que se mueven de los trópicos hacia los polos y las corrientes de aire que fluyen hacia el sur se convierten en los alisios del norte de latitudes bajas.

El aire de las capas altas continúa dirigiéndose lentamente hacia el norte y enfriándose, descendiendo finalmente en la región polar. Allí se enfría todavía más a nivel superficial y fluye en dirección sur. Esas masas de aire en movimiento se denominan vientos circumpolares (que circundan los polos). La circulación de las masas de aire en el hemisferio sur se producen de forma similar a las descritas aquí para el hemisferio norte.

En el caso de los vientos locales, existe una enorme variedad, cada uno de ellos con características propias.

Entre los más conocidos podemos nombrar el Chinook, viento seco que sopla desde el norte hacia el este de las Montañas Rocosas, en Estados Unidos; el Foehn o Föhn, flujo de aire cálido y seco que afecta la

zona más septentrional de los Alpes; el Doctor, brisa marina que sopla a mediodía en una localidad australiana; el Pampero, un viento frío del sudoeste de los Andes, en Argentina, y el Mistral, masa de aire fría y seca procedente del noroeste que se presenta cuando el cielo está despejado y que influye directamente en la zona norte del Mediterráneo.

Las principales características que podemos analizar con respecto al viento son su velocidad y dirección, utilizando para su análisis el anemómetro y la veleta, respectivamente.

### **- Humedad atmosférica**

Corresponde a la cantidad de vapor de agua presente en el aire, originada por la evaporación del vital elemento desde los océanos, lagos y ríos. Se relaciona directamente con la temperatura, ya que las masas de aire cálido contienen mayor humedad que las de aire frío.

Existe una cantidad límite de humedad que puede contener una masa de aire, denominada punto de saturación. Una vez traspasado este umbral, el vapor de agua contenido cambia de estado, se condensa y se convierte en precipitaciones. Estas últimas pueden presentarse como lluvias, granizo o nieve.

La humedad atmosférica se puede expresar de forma absoluta como humedad absoluta, o de forma relativa como humedad relativa o grado de humedad. La primera, se refiere a la masa total de vapor de agua que contiene la atmósfera en un momento dado, y la segunda, es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que existe en la atmósfera y la máxima que podría contener a idéntica temperatura sin precipitarse.

Para medir la humedad atmosférica se utiliza el psicrómetro y el higrómetro.

### **- Nubes**

Si bien no constituyen esencialmente un elemento climático, las nubes son uno de los principales indicadores de las condiciones meteorológicas de un determinado sector.

Estas corresponden a masas visibles de vapor de agua o de cristales de hielo suspendidas en el cielo. Cuando el vapor de agua en el aire se eleva lo suficiente como para enfriarse y convertirse en gotas de agua (proceso llamado condensación), estas se unen formando una nube.

A pesar de existir una gran variedad, es posible identificar tres tipos básicos: cúmulos, estratos y cirros. Los cúmulos corresponden a las típicas nubes blancas y esponjosas (semejantes al algodón) que podemos apreciar durante los días cálidos, formadas por la elevación de burbujas de aire caliente. Por ello, sólo aparecen de día, ya que por la noche el aire ya no es calentado por la superficie terrestre y, por lo tanto, ya no se eleva para formarlos.

Los estratos son nubes que se ubican en capas, las que pueden llegar a cubrir totalmente el cielo. Son las nubes más bajas, que se forman a unos 500 metros de altura. En algunas ocasiones generan lloviznas persistentes o finas nevadas; incluso, en las regiones montañosas producen una bruma húmeda.

Por último, los cirros corresponden a formaciones nubosas ubicadas a gran altura (más de 5 kilómetros), lo que ocasiona que el agua que contienen se transforme en cristales de hielo. Son similares a delgados filamentos brillantes.

### **Factores del clima**

Todos los elementos anteriormente nombrados están determinados por una serie de rasgos geográficos y naturales que alteran las características climáticas de un sector determinado y que influyen en la generación de las condiciones meteorológicas.

Estos reciben el nombre de factores del clima y entre los principales, destacan:

**Altitud:** se relaciona con la altura de un lugar de la Tierra en relación con el nivel del mar. La temperatura del aire disminuye con la altitud, esto se explica al estudiar las propiedades físicas del aire: las moléculas de aire que se encuentran bajo presión, chocan unas contra otras, aumentando así la temperatura. Cuando el aire cálido asciende, la presión sobre él disminuye. El aire se expande, entonces se reduce el número de colisiones y el aire se enfría. Este proceso se denomina enfriamiento adiabático. La velocidad del enfriamiento adiabático del aire seco es de, aproximadamente, 10°C por cada 1.000 metros de altitud. El aire húmedo se enfría más lentamente. La tasa de cambio de la temperatura con la altitud se denomina gradiente adiabático.

**Latitud:** la cantidad de energía interceptada en cualquier punto de la superficie de la Tierra varía considerablemente con la latitud. En las cercanías del Ecuador, los rayos del Sol son casi perpendiculares a la superficie terrestre y este sector recibe más energía por unidad de área que las regiones al norte y al sur, mientras que las regiones polares reciben el mínimo. Además, dado que la Tierra, que está inclinada sobre su eje, rota una vez cada 24 horas y completa una órbita alrededor del Sol más o menos cada 365 días, el ángulo de incidencia de la radiación y, por tanto, la cantidad de energía que alcanza en diferentes partes de la superficie cambia hora tras hora y estación tras estación.

**Relieve:** es un factor superficial que actúa, preferentemente, sobre las temperaturas y las precipitaciones.

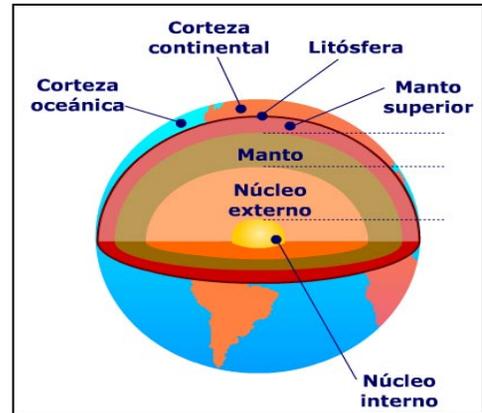
Un claro ejemplo es la acción de las cordilleras en las condiciones climáticas de un determinado sector. Cuando una masa de aire encuentra una montaña, asciende y se enfría, se satura (ya que el aire frío no puede contener mucho menos agua que el aire cálido) y libera gran parte de su humedad sobre la ladera de barlovento (expuesta al viento). Cuando el aire frío y seco desciende de nuevo por la parte de sotavento, se calienta y absorbe humedad. Como resultado, la ladera de barlovento de una montaña suele presentar una vegetación densa y vigorosa, así como un mayor número de otras especies, que la ladera de sotavento, en la que aparecen algunas zonas áridas o secas, con condiciones incluso similares a los desiertos. Este fenómeno se denomina sombra de lluvia.

**Distancia de la tierra con el mar:** la acción modificadora del océano sobre las zonas climáticas también es un factor determinante para entender las condiciones de temperatura y precipitaciones de un sector. El océano mantiene por un tiempo la temperatura que recibe de los rayos solares, lo que permite que las zonas que están cerca de él tengan temperaturas menos variables. Por ejemplo, en la playa las temperaturas del día y la noche, en invierno y verano, no tienen grandes variaciones, como sí las tiene una ciudad en la misma latitud, pero alejada del mar.

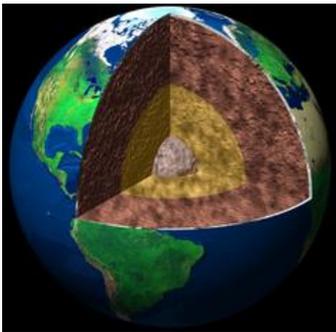
**Corrientes marinas:** corresponden a una de las tres formas de movimiento permanente que poseen las aguas de los océanos (las otras dos son las olas y las mareas) y que influye directamente en las condiciones climáticas. Por la acción del viento, grandes masas de aguas superficiales viajan desde el Ecuador, transmitiendo su calor hacia las latitudes más altas y modificando, principalmente, las condiciones climáticas de las regiones costeras.

## LA GEOSFERA

Como la mayor parte del interior de la tierra es desconocido, se han planteado varios modelos que explican su estructura. Todos ellos coinciden en que el interior de nuestro planeta se encuentra organizado en capas. La variación y/o interrupción en la velocidad de ciertas ondas sísmicas es una forma indirecta para establecer las distintas capas que forman el interior de la tierra. Las investigaciones realizadas al respecto se han centrado en dos aspectos; en la composición de los materiales que forman las distintas capas y en el comportamiento mecánico de dichos materiales. Es así que se distinguen dos modelos, que representan diferentes capas (pero que coinciden en muchos aspectos)



## MODELO ESTÁTICO DEL INTERIOR DE LA TIERRA



Considera la composición química del planeta.

### - Corteza:

La capa exterior delgada de la superficie de la Tierra, cuyo espesor promedio es de 10 kilómetros bajo los océanos y de 50 kilómetros bajo la corteza continental. Ésta es la única capa de la Tierra que los humanos realmente hayan visto.

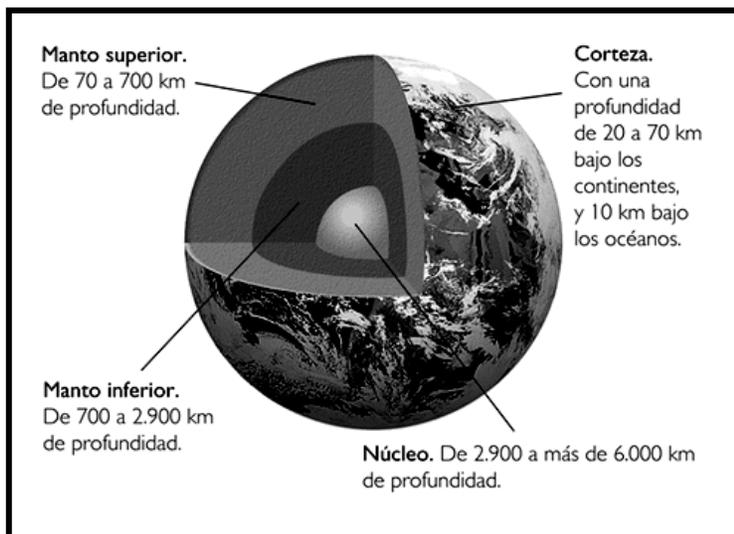
Es la capa más externa y representa el 0,5% de la masa total de la tierra. La corteza se divide en oceánica y continental. Si bien presentan los mismos elementos, se encuentran combinados en diferentes proporciones. La corteza continental es menos densa y más gruesa que la oceánica. La corteza continental está formada principalmente por aluminio, silicio y magnesio; en cambio, la corteza oceánica está compuesta por aluminio, hierro, magnesio, calcio y potasio. Es la región más superficial de nuestro planeta y por ello la parte con menor temperatura. Está formada por rocas en fase sólida. Su espesor fluctúa entre los 6 Km

bajo el suelo marino y los 60 Km bajo las regiones montañosas. Su densidad media es de  $2.800 \text{ Kg/m}^3$

- **Manto:** Se encuentra en estado sólido, pero este se comporta como un fluido. En él podemos diferenciar dos partes; Manto superior y Manto inferior. El manto superior está compuesto principalmente por olivino y piroxeno; sin embargo, en el manto inferior predominan el silicio, magnesio y oxígeno. El manto en su totalidad representa más de 60% de la masa de la tierra.

Esta región se extiende bajo la corteza hasta unos 2.900 Km de profundidad. Las temperaturas en su interior oscilan entre los

1.500 y los 3.000 K. Su densidad media es de unos  $4.500 \text{ Kg/m}^3$ . La corteza y la parte superior del manto forman la litosfera. El manto superior contiene minerales sólidos. Parte de esta zona se conoce como



Astenosfera, la que está formada por roca fundida conocida como magma. La litosfera flota sobre la Astenosfera.

El manto inferior se extiende entre el manto superior y el núcleo. En esta región la fase de los materiales es sólida pero tiene temperaturas tan elevadas que se comporta como una masa líquida de gran viscosidad.

- **Núcleo:** Es la capa más interna de la Tierra y está compuesta principalmente por hierro y níquel. Contiene, además; cobre, oxígeno y azufre. El núcleo se divide en núcleo externo, el cual se encuentra en estado líquido, y el núcleo interno, que es sólido. Aunque las temperaturas en el núcleo interno alcanzan los 5.000° C, es sólido, debido a las altas presiones a las que se encuentra sometido. El núcleo constituye poco más del 30% de la masa terrestre.

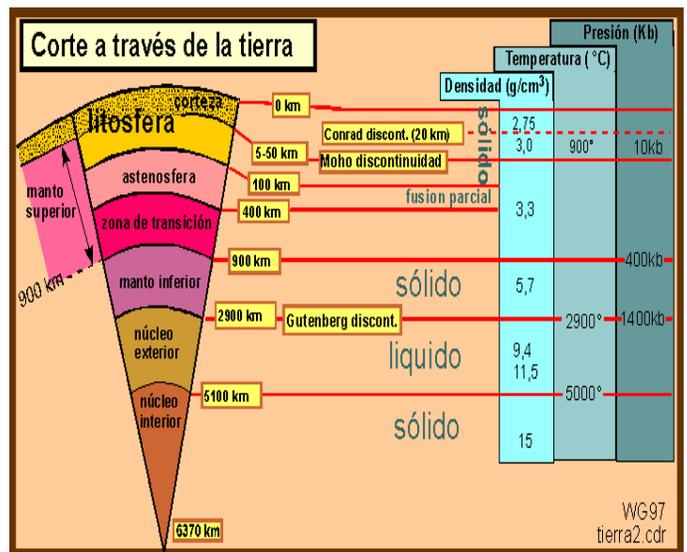
Se extiende desde la base del manto hasta el centro de la Tierra. Su espesor aproximado es de 3.500 Km. Su densidad media sería de unos 10.720 Kg/m<sup>3</sup>. El núcleo externo se extiende desde los 2.900 Km hasta los 5.000 km de profundidad. En su interior la temperatura alcanza unos 6.000 K, razón por la cual la materia se presenta como un fluido.

El núcleo interno se extiende desde los 5.000 Km hasta los 6.370 Km de profundidad. Está formado principalmente por material en fase sólida debido a las enormes presiones existentes (unas 106 veces mayor que la presión atmosférica). La temperatura es más elevada que en el núcleo externo, formado preferentemente por níquel, hierro y azufre.

### MODELO DINÁMICO DEL INTERIOR DE LA TIERRA

- **Litosfera:** Capa sólida de estructura rígida de grosor aproximado de 100 km dividida en 8 grandes placas las que se encuentran sobre el manto que es un fluido más denso por lo tanto flotan moviéndose lo que explica la variación de formas de los continentes y cadenas montañosas; generándose a su vez una gran cantidad de efectos de tipo geológico como existencia de volcanes, terremotos, etc.

Es la capa más externa. Está formada por la corteza y una parte externa del manto. La litósfera se encuentra sobre una capa fluida. Su espesor varía de los 100 a los 150 Km. Se encuentra fragmentada en placa, llamadas placas tectónicas o litosferitas.

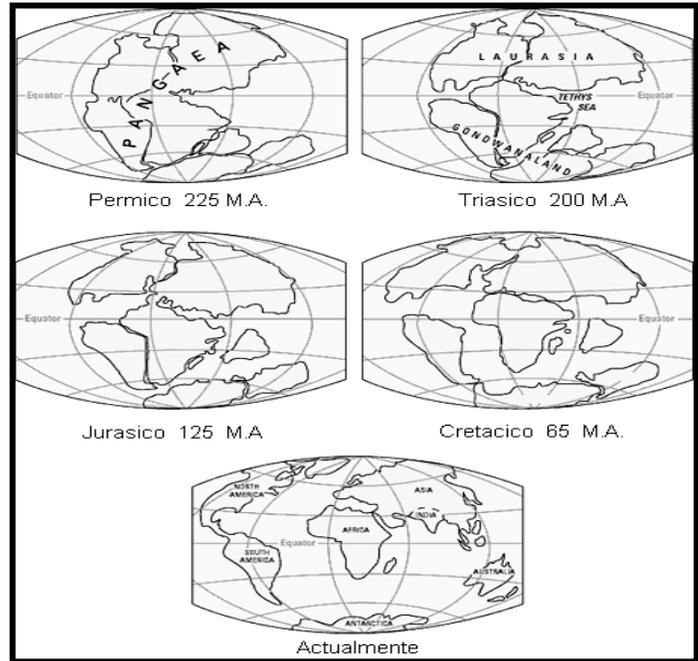


- **Astenosfera:** Capa formada por el manto. Debido a las elevadas temperaturas, está en constante movimiento, produciendo el desplazamiento de las placas que se encuentran sobre ella. En esta placa encontramos el magma, material que es expulsado en las erupciones volcánicas.

Es una zona menos sólida debajo de la litósfera, de alta temperatura donde se propagan las ondas sísmicas con menor velocidad dada la viscosidad que presenta.

- **Mesosfera:** Está formada por el resto del manto, es decir, es la porción de manto que se encuentra entre la Astenosfera y el núcleo. Esta capa se distingue por no presentar el comportamiento plástico que tiene la Astenosfera, ya que aquí el manto vuelve a comportarse de manera rígida, Alcanza hasta los 2.900 Km. de profundidad.

**Núcleo:** Corresponde al núcleo interno y externo. A esta capa también se le llama Endosfera. El núcleo interno se encuentra en estado sólido y el núcleo externo en estado líquido. Es la fuente de calor interno del planeta. En el núcleo interno el calor se transmite por conducción. Se ha estudiado una diferencia entre la velocidad de rotación de ambos núcleos.



## SUELOS

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre, que se forma a partir de la desintegración de las rocas (por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento) y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella.

Están compuestos de materia orgánica e inorgánica, aire y agua. Un buen suelo contiene, aproximadamente, 45% de materia inorgánica, 5% de materia orgánica, 25% de agua y 25% de aire.

Los componentes de los suelos se pueden clasificar en:

- **Inorgánicos**, como la arena, la arcilla, el agua y el aire; y
- **orgánicos**, como los restos de plantas y animales.



## TIPOS DE SUELOS

**Suelos arenosos:** son aquellos que están formados principalmente por arena. Este tipo de suelo no retiene el agua y, al poseer poca materia orgánica, no es apto para la agricultura.



**Suelos calizos:** son aquellos que poseen abundantes sales calcáreas. Este tipo de suelo es de color blanco, seco y árido, por ende no es apto para la agricultura.

**Suelos húmiferos** (también llamados *tierra negra*): son aquellos que poseen gran cantidad de materia orgánica en descomposición. Este tipo de suelo es de color oscuro, retiene el agua y es excelente para la agricultura.





**Suelos arcillosos:** son aquellos que están formados principalmente por arcilla, de granos muy finos color amarillento. Este tipo de suelo retiene el agua formando charcos, y si se mezcla con humus puede ser apto para la agricultura.

**Suelos pedregosos:** son aquellos formados por rocas y piedras de todos los tamaños. Este tipo de suelo no retiene el agua, por ende no son buenos para la agricultura.



**Suelos mixtos:** son aquellos suelos que tienen características intermedias entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos, es decir, de los dos tipos.

## LAS ROCAS Y SUS PROCESOS DE FORMACIÓN

La Tierra es un planeta rocoso: la mayor parte de su masa se encuentra en forma de rocas. El hombre ha estado en contacto con ellas desde siempre; hace milenios se conocen rocas como el mármol, el granito o las calizas, pero existe poco conocimiento general sobre su formación.

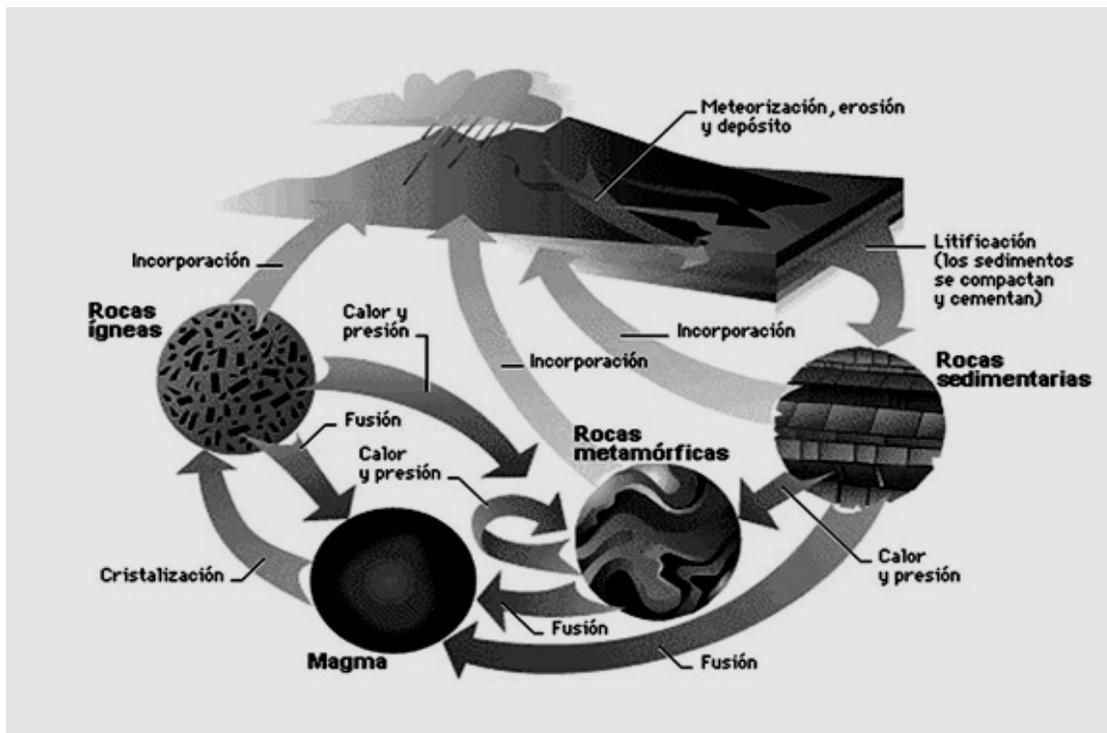
Las rocas son agregados de **minerales** sólidos de origen natural, cuyos componentes son definidos y se encuentran ordenados en su interior formando cristales.

Los minerales y, por lo tanto, las rocas, tienen un origen muy diverso. Según este parámetro, existen tres categorías, cuyos procesos de formación son bien distintivos: las rocas pueden ser **ígneas**, **sedimentarias** o **metamórficas**.

Las rocas ígneas (del latín *ignis*, "fuego") se originan a partir de un líquido compuesto principalmente por roca fundida, gases disueltos y cristales en suspensión, al que llamamos **magma**. Los magmas, a su vez, provienen de zonas profundas de la Tierra, donde las rocas calientes, pero sólidas del manto terrestre pueden derretirse parcialmente. El magma se abre camino hacia arriba, dado que es más liviano que las rocas que lo rodean, y es muy rico en elementos pesados, que abundan en las capas más internas de la Tierra. Así, a medida que asciende por la corteza, se va enfriando dando origen a cristales los que al ser más pesados que la parte líquida, se depositan al fondo. De esta forma, el líquido restante se hace cada vez más liviano y puede seguir subiendo.



Debido a este proceso, la composición del magma cambia y se pueden ir generando diferentes minerales, dependiendo de la temperatura y de la profundidad a la que este se encuentre. Las rocas **ígneas** poseen componentes más pesados y suelen ser de color oscuro, mientras que aquellas que poseen minerales más livianos, como el cuarzo, suelen ser claras.



**Figura:** Representación del ciclo de las rocas.

El curso que sigue el magma también permite clasificar las rocas. Cuando este se abre paso a través de algún cuerpo de roca da origen a rocas **intrusivas**, mientras que aquel que sale y se enfría en la superficie produce rocas **extrusivas**. Para que se forme una roca intrusiva, una posibilidad es que el magma se estacione en algún lugar profundo de la corteza y se enfríe allí lentamente, lo que facilitará la formación de cristales grandes, pues estos tendrán tiempo de crecer y solidificarse completamente, formando una roca **plutónica**. Otra posibilidad es que el magma siga ascendiendo, colándose entre las fracturas de las rocas más superficiales, donde el contacto con estas hace que el enfriamiento sea algo más rápido.

Por su parte, las rocas extrusivas son las que se forman debido a las erupciones volcánicas. Cuando el magma asciende y se estaciona en la corteza, eventualmente puede salir a la superficie durante una erupción debido al aumento de la presión dentro la cámara que lo alberga. En estos eventos, se generan rocas a partir de **lava** –nombre que recibe el magma al salir a la superficie– una vez que esta ha perdido parte de sus gases. La lava que emana de un cráter puede fluir, enfriándose rápidamente al exponerse a la temperatura ambiente formando una roca volcánica, compuesta de cristales muy pequeños y de vidrio; o bien puede ser expulsada violentamente hacia el aire en columnas que se elevan a veces kilómetros hacia arriba, donde se enfrían extremadamente rápido y se llenan de burbujas. Estas se encuentran compuestas principalmente por vidrio y reciben el nombre de rocas **piroclásticas**, un ejemplo es la famosa piedra pómez.

Otro tipo de roca lo constituyen las rocas **sedimentarias**. Estas están constituidas por fragmentos de cualquier otra roca que se encuentre en la superficie terrestre, ya sea ígnea, sedimentaria o metamórfica, y que por efecto del agua, el viento o el hielo, entre otros factores, ha sido partida, molida, desintegrada o disuelta, para ser luego transportada por estos agentes.



Esta acumulación de fragmentos de roca que puede tener tamaños muy variados, recibe el nombre de **sedimento**. Los sedimentos pueden depositarse y con el paso del tiempo ser compactados y pegados por una especie de cemento formado por algún mineral que se cristalice entre los granos, originando una roca sedimentaria **clástica**. Los sedimentos también pueden ser solo una precipitación de material disuelto en agua, tal como ocurre cuando se tiene agua con mucha sal y esta se deposita en el fondo. Si el agua finalmente se evapora, se obtendrá un agregado de cristales unidos entre sí, que dará origen a una roca sedimentaria **química**.

Las rocas sedimentarias muchas veces pueden albergar fósiles, restos de organismos del pasado que permiten conocer la historia y evolución de la vida y los ambientes de la Tierra.

Por último, existen las rocas **metamórficas** (del griego *meta*, “cambio”, y *morph*, “forma”), las cuales se

forman cuando una roca de cualquier tipo es sometida a altas presiones y/o temperaturas. Las rocas metamórficas son las más complejas de todas, ya que cualquier roca puede ser sometida a este proceso, por ende sus procesos de generación pueden ser muy variados. Estas pueden formarse cuando las rocas se entierran bajo la superficie, sufriendo gran presión debido al peso de las rocas sobre



ellas, y temperaturas más calientes a medida que se ubican a mayor profundidad; pueden originarse cuando un magma que llega caliente la roca, o incluso debido al impacto de un meteorito. De todos modos, algo que todas tienen en común es que sus componentes cambian. Se generan nuevos minerales y los que existían pueden desaparecer o recrystalizarse, es decir, cambiar de forma, de tamaño, de orientación o de posición, dependiendo de las condiciones a las que se someta la roca y de cómo era esta originalmente. Incluso, cuando el metamorfismo alcanza niveles muy altos, la roca puede ser fundida y dar origen a magma, volviendo a comenzar el ciclo.

Las rocas pueden ser tan variadas como podamos imaginar y el ciclo que lleva a su formación ha estado repitiéndose por millones de años, del cual solo podemos observar sus productos: las rocas que existen hoy. La máquina de crear rocas que es la Tierra seguirá funcionando, y quizás los geólogos del futuro intentarán descifrar cómo se formaron aquellas que verán mañana, mientras el proceso se siga repitiendo bajo sus pies.

En general, de acuerdo a su origen se pueden distinguir tres grupos de rocas, los cuales, a su vez, pueden presentar subcategorías.

- Las rocas ígneas se forman cuando el magma, o roca fundida al interior de la tierra, se enfría y se solidifica.
- Las rocas sedimentarias se forman cuando los sedimentos (materiales depositados) se comprimen y cementan en un proceso llamado litificación.
- Las rocas metamórficas se forman cuando los diferentes tipos de roca (sedimentarias, ígneas e incluso las metamórficas) sufren cambios físicos, químicos o mineralógicos debido a la acción de la temperatura y/o presión.

## DERIVA CONTINENTAL

Su teoría conocida como la deriva continental sostiene que la Pangea se habría comenzado a fracturar hace unos 200 millones de años y que los fragmentos habrían comenzado un lento movimiento alrededor de la superficie terrestre propulsados por sí mismos.

## LOS CONTINENTES UN GRAN ROMPECABEZAS

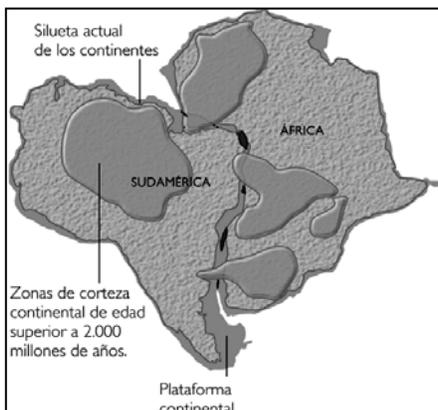
Alfred Wegener, geofísico y meteorólogo alemán, luego de investigar las similitudes entre las formas de las costas africanas y sudamericanas postuló, en 1912, que alguna vez hubo un único supercontinente al que denominó Pangea (toda la Tierra).

Tomó sus ideas del conocido hecho que África y Sudamérica parecían unirse como unas piezas de un rompecabezas. Recolectó datos de ambos continentes, y encontró que tipos de fósiles y de rocas en la costa Este de Sur América correspondían a los encontrados en la costa Occidental de África. Cuando añadió los continentes del Norte al rompecabezas, Wegener se dio cuenta que la cadena de las Montañas Apalaches en Norte América continuaban como las Montañas Caledonias en el Norte de Europa.

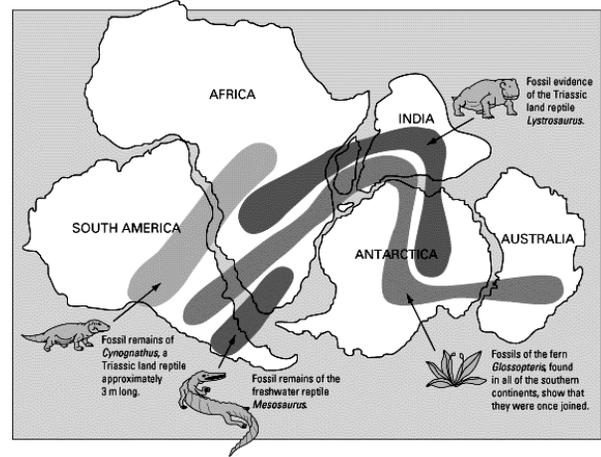
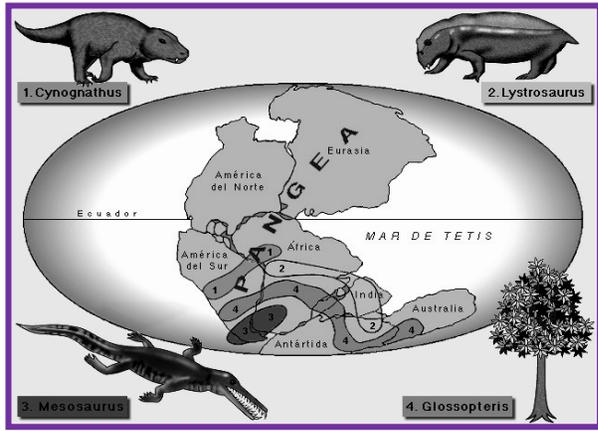


## PRUEBAS DE LA EXISTENCIA DE UN ÚNICO SUPERCONTINENTE

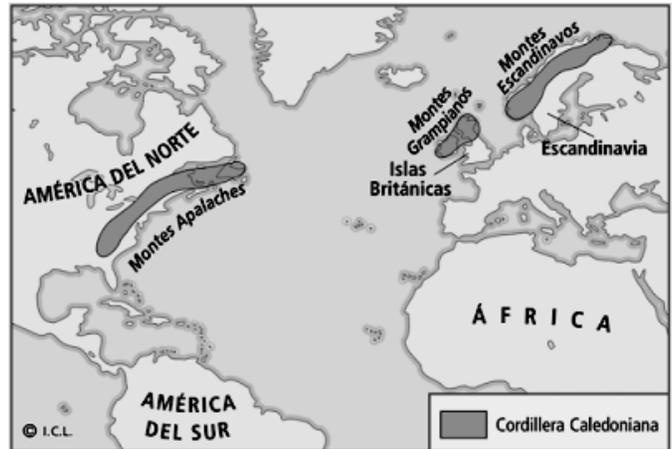
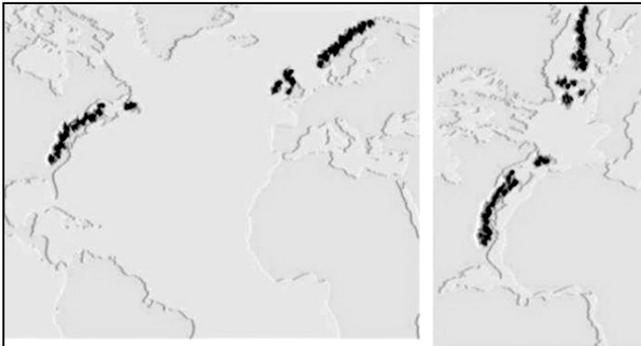
- **Pruebas morfológicas, geográficas:** Coincidencia entre las costas de continentes hoy en día separados. Ejemplo: África y Sudamérica. Coincidencia en la forma de la costa de continentes muy alejados.



- **Pruebas biológicas / paleontológicas:** La existencia de fósiles de animales y vegetales idénticos en continentes separados por océanos. Continentes separados tienen floras y faunas diferentes, pero fósiles idénticos. Ejemplo: marsupiales en Australia



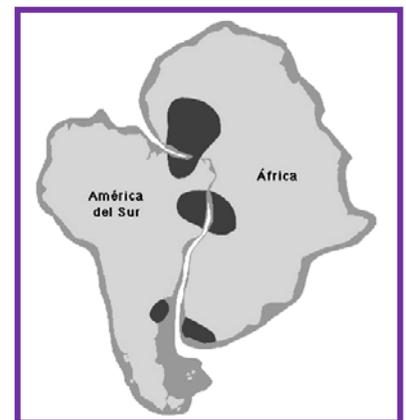
- **Pruebas geológicas:** Estructuras geológicas iguales en continentes separados. Ejemplo: diamantes en Brasil y Sudáfrica. Continuidad en las cadenas montañosas en continentes muy alejados, ejemplo la alineación de cadenas montañosas en la actualidad (Apalaches en Norteamérica y cadenas montañosas de Escocia y Escandinavia)

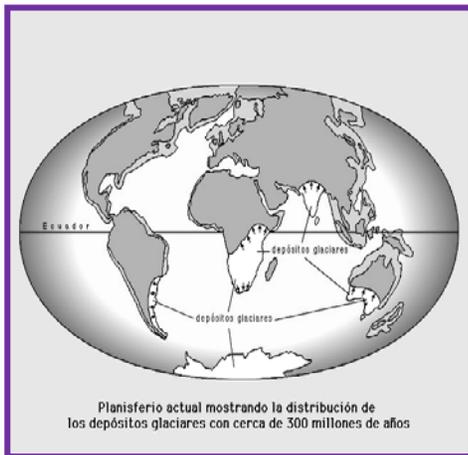


Similitud de formaciones de rocas sedimentarias y metamórficas de mayor antigüedad en América del sur y África.

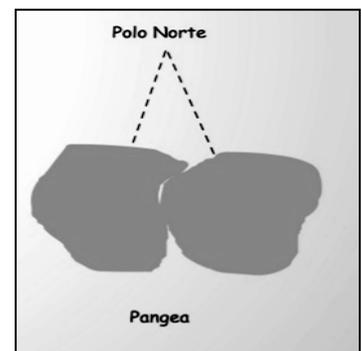
- **Pruebas climáticas:** Rocas indicadoras de climas iguales en zonas a distinta latitud en la actualidad. Ejemplo: depósitos glaciares de la misma época en la Patagonia y la India.

Hace 300 millones de años, un gran casquete polar cubrió una extensa área continental. Los restos de ese continente, con las señales de haber estado cubiertos de hielo, se encuentran muy alejados unos de otros.



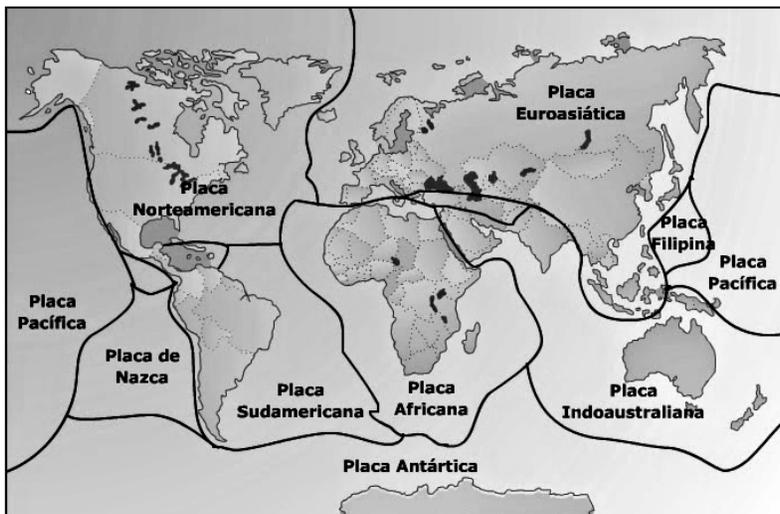


- **Pruebas geomagnéticas:** Minerales magnéticos en rocas de igual edad en distinto continente indican dos polos norte. Trasladando los continentes, apuntan a un único polo.



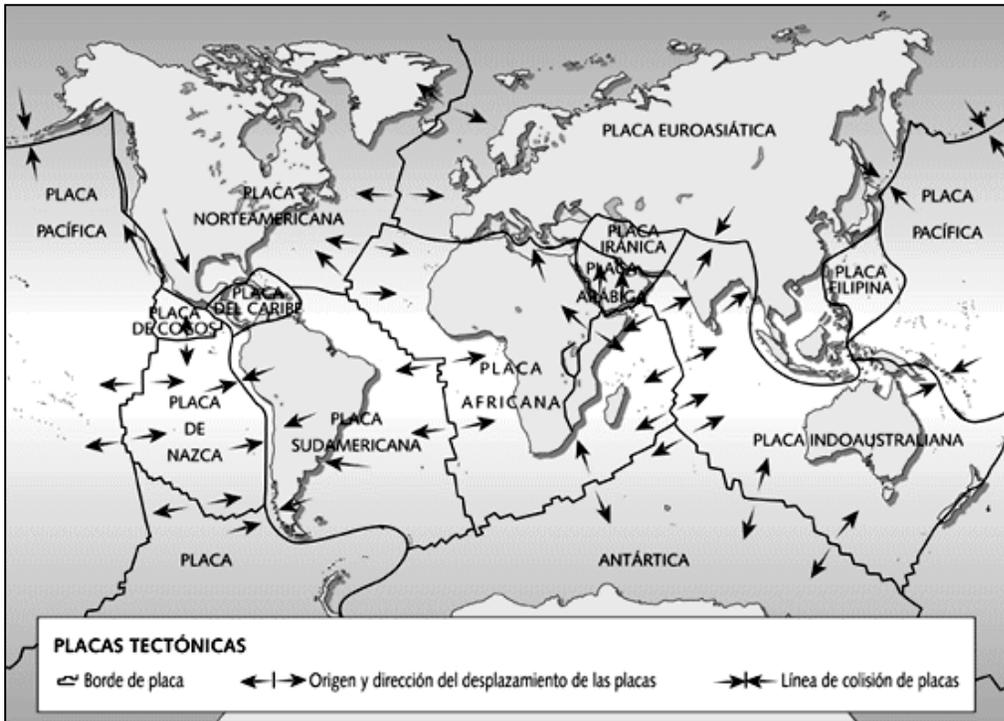
### TECTÓNICA DE PLACAS

En la década de 1960, nace la teoría de la tectónica de placas, según la cual la litosfera se encuentra dividida en numerosas placas que se mueven unas respecto a otras "flotando" sobre la Astenosfera. Esta teoría plantea que dicho movimiento se debe a corrientes convectivas ascendentes que se producen en el manto externo. Investigaciones recientes han ratificado esta teoría al observar regiones del suelo oceánico donde aflora nuevo material y otras donde se consume el antiguo material producto del movimiento de las placas. Distribución mundial de las placas tectónicas



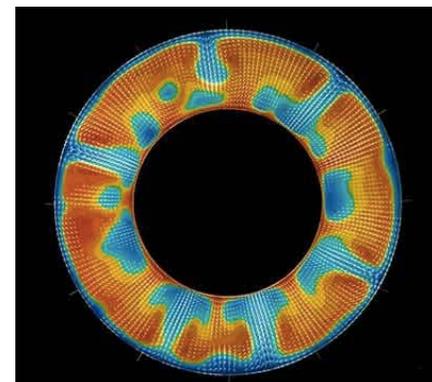
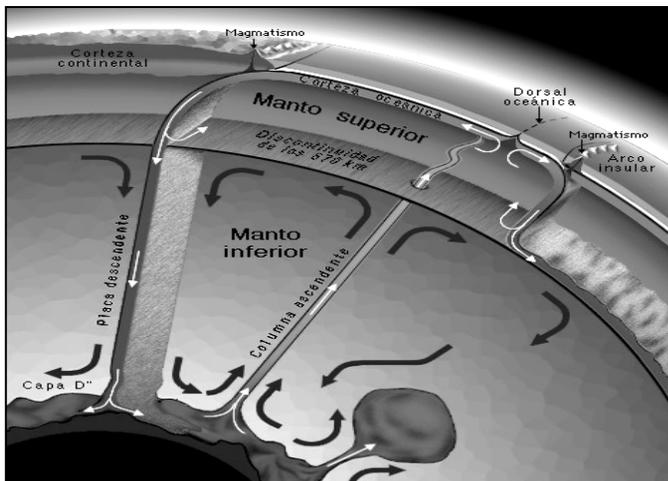
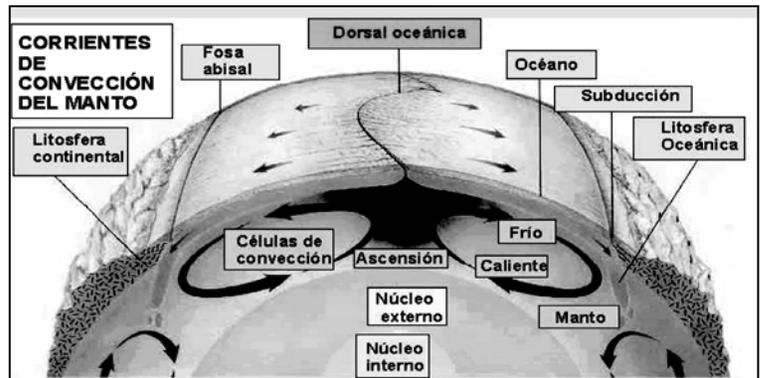
Las placas sudamericana y africana se separan entre sí 5cm cada año, mientras que las placas de Nazca y sudamericana se acercan 9 cm al año.

Los movimientos que se suceden muy dentro de la Tierra y llevan calor desde el interior hasta una superficie más fría hacen que las placas se muevan muy lentamente a lo largo de la superficie. Existen diferentes hipótesis para explicar exactamente cómo es que estos movimientos permiten que las placas se muevan.



El origen del calor de la Tierra viene explicado con el calor de formación de la tierra y el calor procedente de la desintegración de elementos radiactivos. Además en el manto se producen movimientos: llamamos corrientes de convección.

Este movimiento se produce cuando entran en contacto el manto y el núcleo externo, el núcleo externo al estar en estado líquido calienta a las rocas y les hace perder densidad, esto hace que las rocas ahora calientes y menos densas, asciendan hacia la corteza. Una vez en contacto con la corteza las rocas se enfrían y aumentan su densidad por lo tanto vuelven a bajar, y así sucesivamente generando las corrientes de convección. Estas corrientes a su vez generan el movimiento de las placas tectónicas.



Sección transversal de la convección térmica simulada numéricamente del manto. Las zonas rojas y amarillas indican las corrientes calientes que ascienden, mientras que las zonas azules representan las regiones de las corrientes descendentes frías. (Cortesía de D. Bercovici, C. Schubert y C. A. Clatzmaier.)

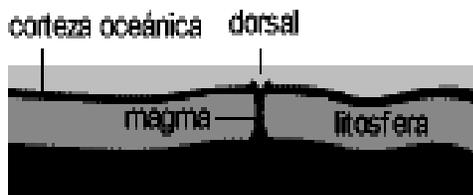
### ¿QUÉ OCURRE ENTRE LAS PLACAS?

La dinámica de las placas puede someter a las rocas a esfuerzos que pueden ser de compresión, distensión y cizalladura. Ante ellos, las rocas pueden sufrir plegamientos, roturas o dislocaciones. Cuando esto ocurre se dice que la roca se ha deformado.

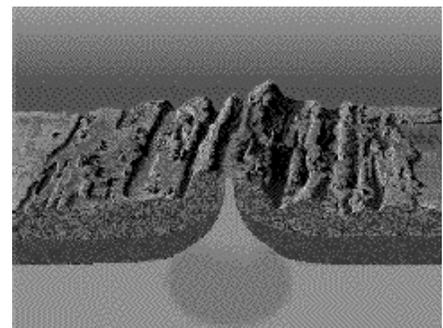


Los límites o fronteras entre las placas pueden ser clasificados en divergentes, transformantes y convergentes de acuerdo a su comportamiento.

- Las fronteras divergentes, se presentan entre dos o más placas que se separan. La Tierra es un planeta cambiante gracias a la energía que proviene del interior



terrestre. Las corrientes de convección transmiten la energía desde el Núcleo a la Litosfera provocando cambios en ésta. Las



corrientes de convección arrastran materiales y energía que poco a poco adelgazan y rompen la placa litosférica. Esta separación origina el

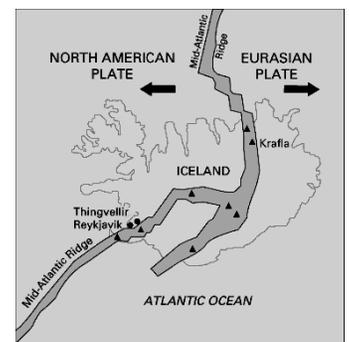
constante afloramiento de material como ocurre en los grandes sistemas montañosos de las profundidades oceánicas. En esas zonas se



acumulan tensiones y se producen terremotos hasta que se forma una gran fractura llamada RIFT. Los materiales

salen por grandes grietas del interior terrestre y se pegan a la zona de rotura donde se construye placa. Este borde se denomina Límite Constructivo. Se forman elevaciones a ambos lados de la rotura que se conocen con el nombre de Dorsales Oceánicas.

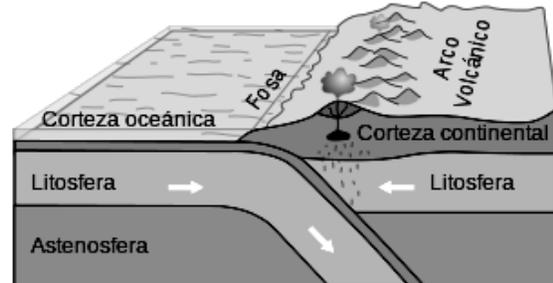
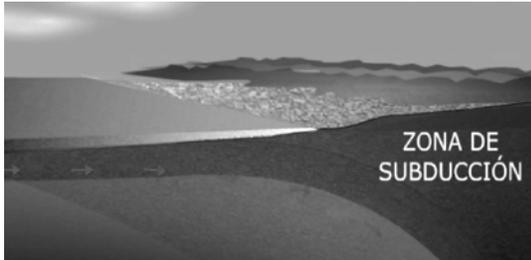
Al romperse la placa en dos, los materiales que se depositan separan las nuevas placas; por eso, a estos límites también se les conoce como Límites Divergentes.



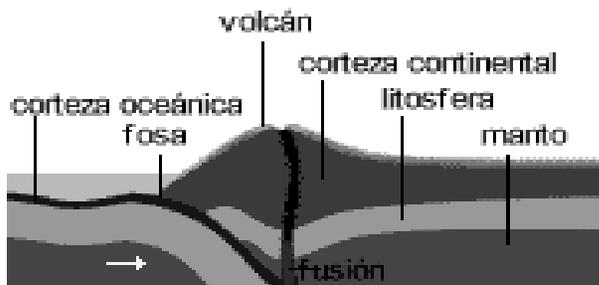
**Ejemplo: Islandia se habría formado por este tipo de fronteras.**

- **Las fronteras convergentes, se dan entre placas que se acercan.** Por acción de las corrientes de convección las placas pueden chocar, en esos casos se destruye una placa. Se forma un Límite Destructivo entre ellas. También se le da el nombre de Límite Convergente. **Si las placas tienen diferente densidad se produce el fenómeno de subducción: la placa de mayor densidad se introduce por debajo de la placa de densidad menor.**

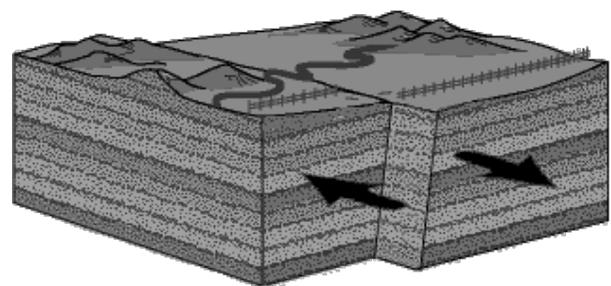
Una placa se introduce por debajo de otra, entre ellas se produce un fuerte rozamiento en la Zona de Subducción.



El rozamiento es tan fuerte que puede provocar terremotos, volcanes o incluso formar grandes cadenas montañosas. Es decir, si ambas placas poseen similar densidad, su colisión origina grandes deformaciones o plegamientos en las zonas de contacto, fenómeno responsable de la formación de montañas (orogénesis) como el Himalaya.



- **Las fronteras transformantes, se encuentran entre placas en contacto que se mueven una respecto a la otra en forma paralela al límite de contacto.** Los límites pasivos son zonas de rotura donde no se construye ni se destruye placa. Son zonas muy inestables donde hay un fuerte rozamiento entre dos placas que se mueven. Esto provoca frecuentes los terremotos.



El caso más conocido es el de la falla de

**San Andrés en California.** Es una falla que discurre por unos 1300 km a través del estado de California. Forma el límite tectónico entre la placa Norteamericana y la placa del Pacífico. Esta falla es famosa por producir grandes y



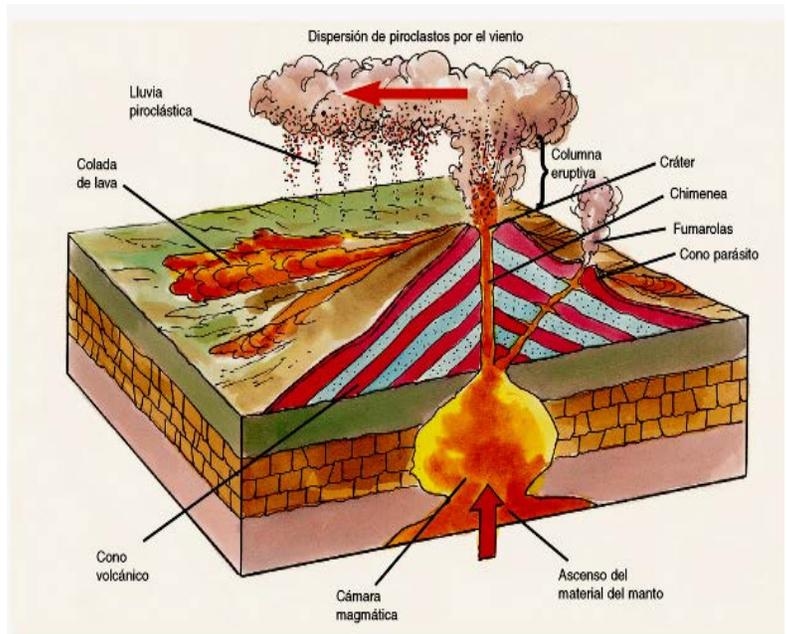
devastadores terremotos. El sistema de fallas de San Andrés termina en el golfo de California. Debido al movimiento de la placa del Pacífico, que penetra por el golfo de California y hacia el norte de la falla de San Andrés, en los próximos 50000 años la península de Baja California se desplazará hacia el norte, separándose de México y convirtiéndose en una isla. Se calcula que llegará frente a Alaska en unos 50 millones de años.

## VOLCANES

Un volcán es un fenómeno geológico en el que predomina el material en estado incandescente a elevadas temperaturas. Para que surja un volcán es necesaria la presencia de una grieta o abertura por donde el magma (rocas fundidas cargadas con gases) procedente del interior de la Tierra sea lanzado a la superficie bajo la forma de corriente de lava, o bien, como nubes de gases o cenizas volcánicas, cuando esto ocurre se generan sismos. El magma puede llegar a la superficie a través de largas fisuras; al salir al exterior recibe el nombre de lava. Las erupciones inyectan grandes cantidades de polvo y dióxido de azufre en forma de gas hacia la atmósfera donde se transforman en aerosoles manteniéndose por varios años y expandiéndose por todo el mundo, esta nube de polvo y ceniza impide el paso de la radiación solar, provocando una disminución global de la temperatura, la lava volcánica y sus desechos inundan parte de los suelos creando nuevos suelos ricos en alimentos para las plantas que son arrastradas por las lluvias.

### Partes de un volcán:

- **Mofetas:** Son fumarolas frías que desprenden dióxido de carbono
- **Géiseres:** Son pequeños volcanes de vapor de agua hirviendo.
- **Cámara magmática:** Lugar donde se acumula el magma antes de salir al exterior.
- **Chimenea:** Conducto por donde salen al exterior los materiales volcánicos desde la cámara magmática.
- **Cráter:** Orificio de salida al final de la chimenea. Si tiene más de 1 kilómetro de diámetro, se denomina caldera.
- **Cono volcánico:** Montículo formado por la acumulación de los materiales que arroja el volcán (lava y materiales piroclásticos). En el cono principal puede haber pequeños conos adventicios o parásitos asociados a chimeneas secundarias.
- **Dique o filón:** Fractura del terreno por la que asciende el magma sin llegar a salir al exterior. Al enfriarse este magma da lugar a rocas filonianas.
- **Colada de lava.** Ríos de lava que salen del cráter.
- **Solfataras:** Son emisiones de vapor de agua y ácido sulfhídrico.
- **Columna eruptiva.** Altura alcanzada por los materiales emitidos al aire durante la erupción.
- **Cono parásito.** Cono secundario del volcán que suele emitir gases (fumarolas)
- **Fumarolas:** Son emisiones de gases de las lavas en los cráteres.

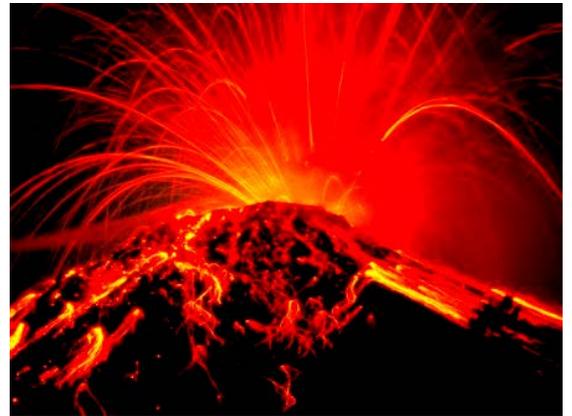


Cuando el magma del interior de la tierra se acumula en las cámaras magmáticas, la presión va aumentando hasta que llega a ser tan fuerte que necesita salir. Entonces se abre paso por la chimenea hasta la superficie y es cuando tiene lugar la erupción volcánica. En cuanto el magma sale a la superficie, se convierte en lava que desciende por las laderas del cono volcánico formando grandes mantas o coladas. Si la lava es poco líquida se solidifica rápidamente y se forman mantos muy cortos que a veces obstruyen el cráter hasta que se produce una nueva explosión donde se rompe o se acumula por encima del cráter formando agujas que pueden alcanzar cientos de metros de altura. Si la presión en el interior de un volcán no es suficientemente alta para que el magma salga a la superficie, éste puede estar dormido o apagado. Se dice que está dormido cuando puede entrar en erupción de nuevo y apagado cuando no se espera que entre en erupción. Las erupciones de los volcanes no son siempre de la misma forma. A veces son silenciosas y tranquilas y otras son violentas y con grandes explosiones. Esto depende de la composición del magma y de la cantidad de gases que lo acompañan.

### CLASIFICACIÓN DE VOLCANES:

#### - SEGÚN SU ACTIVIDAD:

- **Volcanes activos.** Se trata de un volcán que se encuentra en su punto más peligroso. Entran en erupción regularmente y esto puede afectar a la zona que lo rodea. En Ecuador, el volcán Sangay, ha entrado en erupción con frecuencia en los últimos 79 años. El “Faro del Mediterráneo” es el volcán Stromboli, justo al lado de la costa oeste de Italia, y ha estado activo desde hace más de 2.000 años.



- **Volcanes inactivos.** Son volcanes donde se ha producido una erupción en su historia, pero ha permanecido tranquilo por un tiempo. Existen numerosos volcanes inactivos en las islas de Hawaii, así como en Islandia y Australia.

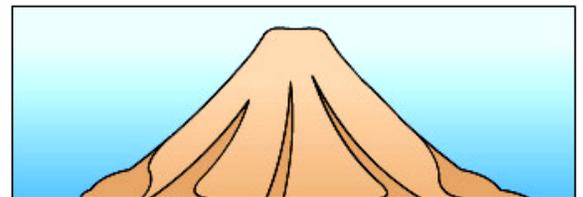
- **Volcanes extintos.** El volcán no ha entrado en erupción desde hace mucho tiempo, y la evidencia sugiere que no volverá a hacerlo.

#### SEGÚN SU FORMA:

- **VOLCANES EN ESCUDO:** Se forman en lugares donde la lava es expulsada de forma fluida. Su base es muy amplia con pendiente suave, resultado de diferentes coladas y magazas poco viscosos.



- **ESTRATOVOLCANES:** Son volcanes que alternan erupciones explosivas y erupciones tranquilas. Tiene coladas de lava con gran pendiente.



- **CALDERAS VOLCÁNICAS:** son grandes depresiones volcánicas de entre 5 y 15 km de diámetro que se forman por una explosión o hundimiento de la cámara magmática o por erosión.



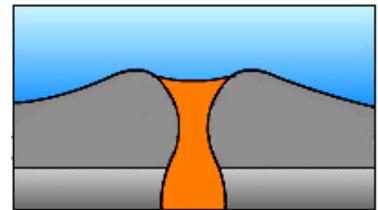
- **CONOS BASÁLTICOS:** Son bastante raros de ver. Son muy bajos debido a la gran fluidez de la lava basáltica.

- **CONOS DE CENIZA:** Se forman en lugares donde las erupciones son de tipo explosivo con abundancia de materiales piroclásticos (cenizas, lapilli, etc...)

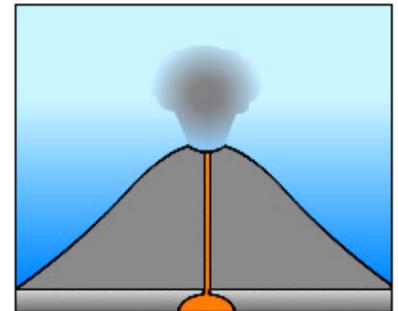
- **MAAR:** son depresiones volcánicas pequeñas (diámetro no mayor de 1 km) que se forma en una erupción hidromagmática, es decir una erupción que se produce entre una masa magmática y el agua en proporciones iguales.

**SEGÚN SU ERUPCIÓN:** Dependiendo de la temperatura de los magmas, de la cantidad de productos volátiles que acompañan a las lavas y de su fluidez o viscosidad, los tipos de erupciones pueden ser:

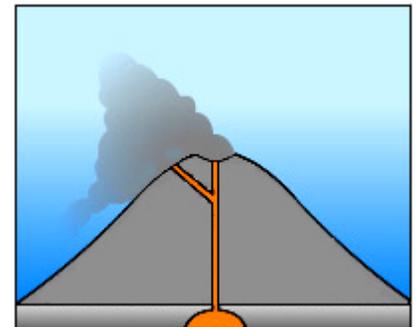
- **HAWAIANO:** La lava que expulsa es fluida, sin desprendimientos de gases. Algunas partículas de su lava, cuando son arrastradas por el viento, forman hilos cristalinos. El magma es poco viscoso, de bajo contenido en volátiles y con una composición química de carácter básico. Los gases ascienden a mayor velocidad que la masa magmática, de forma que al llegar a la boca salen sin explosividad y la lava fluye fácilmente con coladas con ligeras acumulaciones piroclásticas.



- **ESTROMBOLIANO:** El magma es poco viscoso pero tiene una mayor concentración de volátiles. La erupción se hace en fases explosivas rítmicas, el volcán Estrómboli en (Lípari) lo hacía cada 10 minutos. En cada etapa se rompe la parte solidificada que obstruye el cráter. El material piroclasto se acumula alrededor del cráter formando conos volcánicos. La lava es fluida con desprendimientos abundantes y violentos de gases. Debido a que los gases pueden desprenderse con facilidad, no se forman cenizas. Cuando la lava cae por los bordes del cráter, desciende por las laderas y barrancos, pero no alcanza tanta extensión como el hawaiano.



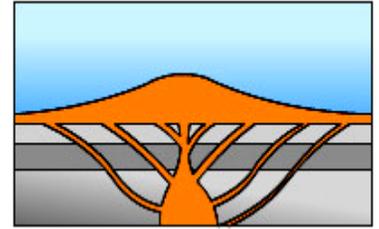
- **VULCANIANO:** En este tipo de volcanes se desprenden grandes cantidades de gases de un magma poco fluido. Por eso las explosiones son muy fuertes y pulverizan la lava, produciendo muchas cenizas que se lanzan al aire con otros materiales piroclastos. La erupción es muy violenta y de lava muy viscosa que se solidifica rápido y puede taponar el conducto volcánico cerca del cráter. Erupciones con explosiones esporádicas que liberan gases en forma de columnas eruptivas de cenizas. Ejemplo: el Etna en Sicilia. Cuando expulsa la lava, ésta se consolida rápidamente, pero los gases que desprenden rompen su superficie. Por eso resulta muy áspera y muy irregular.



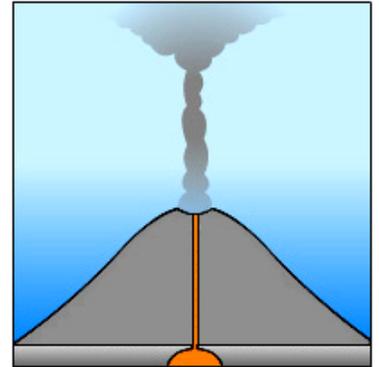
- **PELEANO:** Su lava es muy viscosa y se consolida con gran rapidez. Llega a taponar por completo el cráter. La enorme presión de los gases que no encuentran salida, levanta este tapón que se eleva formando una

gran aguja. Son erupciones con lava muy viscosa que se solidifica en la parte alta de la chimenea impidiendo que salgan los gases, haciendo que se abran grietas laterales por las que se libera lava que corre por las laderas y forma las nubes ardientes. Si no se hacen grietas puede llegar a producirse una explosión tan grande que destruya el edificio volcánico. Ejemplo: Mont-Pelée en Martinico.

- **ISLÁNDICOS:** Son los únicos volcanes originados por erupciones fisurales y se caracterizan por su relieve plano, resultado del depósito de lavas muy fluidas en capas horizontales sucesivas. La mayoría se encuentra en Islandia.



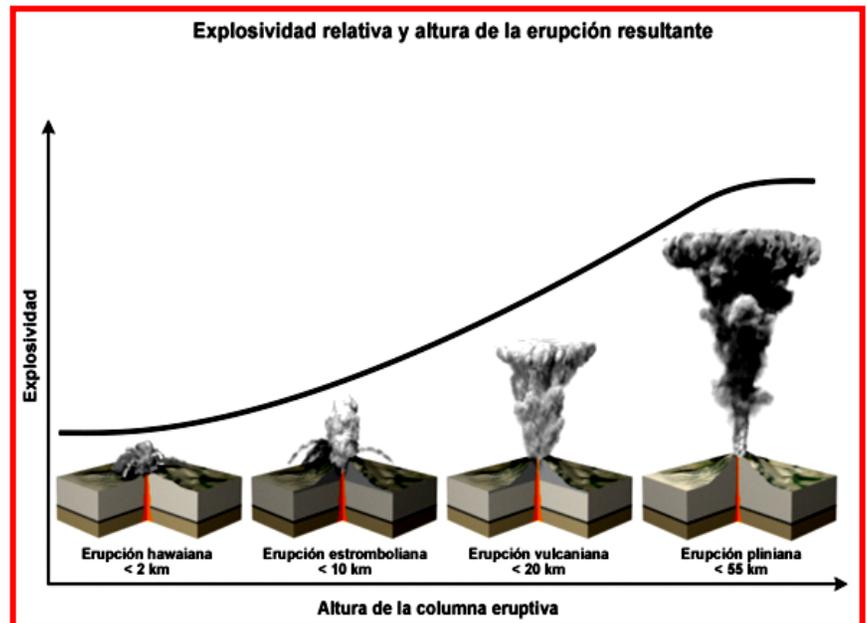
- **PLINIANO:** De magma muy viscoso y de carácter ácido. Comienza con la explosión de gases a gran temperatura y velocidad que pueden llegar a los 10 km de altura y que se presentan en forma de hongo. Cuando la columna eruptiva alcanza una determinada altura los fragmentos de magma más gruesos comienzan a caer.



- **KRAKATOANO:** Origina tremendas explosiones y enormes maremotos.

- **ERUPCIONES DE CIENO:** Sus grandes cráteres se convierten durante el periodo de reposo del volcán en enormes lagos o se cubren de nieve. Al recobrar el volcán su actividad, el agua mezclada con cenizas y otros restos, es lanzada formando torrentes y avalanchas de cieno que destruyen todo lo que encuentran a su paso.

- **ERUPCIONES FISURALES:** Son las que se originan a lo largo de una rotura de la corteza terrestre y que pueden medir varios kilómetros. Las lavas que fluyen a lo largo de la rotura son fluidas y recorren grandes extensiones formando amplias mesetas con un kilómetro a más de espesor y miles de kilómetros cuadrados de superficie.



- **HIDROMAGMÁTICA:** Se produce una interacción entre una masa magmática y el agua en partes iguales. Si hay más agua, por ejemplo en el caso de una colada de lava que se aproxime a la costa, el enfriamiento es muy brusco formándose una columna de vapor. Si hay menos agua, el agua se evapora totalmente y se enfría el magma.

## CHILE UN PAÍS DE VOLCANES

A lo largo de la Cordillera de Los Andes existen, sólo en nuestro territorio, cerca de tres mil volcanes, desde pequeños conos de ceniza, hasta enormes calderas de varias decenas de kilómetros de diámetro. Muchos de ellos, donde las condiciones climáticas son de extrema aridez, se han preservado intactos por millones de años, siendo actualmente inactivos.

Sin embargo, a lo largo y ancho de Chile existen 500 volcanes considerados geológicamente activos y unos 60 con registro eruptivo histórico, dentro de los últimos 450 años y que suman más de 300 erupciones, las que han provocado daños en las personas, bienes y ambiente. Además en nuestro territorio se encuentran dos de los cuatro volcanes más activos de Sudamérica: Villarrica y Llaima.

Sin embargo, los volcanes tienen un rol importante en la evolución de la corteza de nuestro planeta. La actividad volcánica ha formado diversas estructuras, dando lugar a elementos del relieve y creados suelos fértiles, los cuales han nutrido la vegetación y a la humanidad.

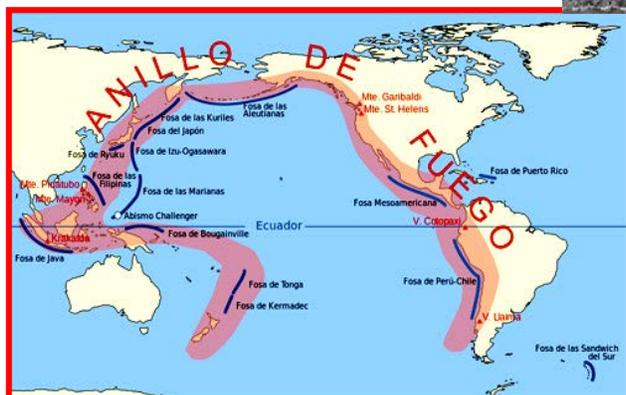
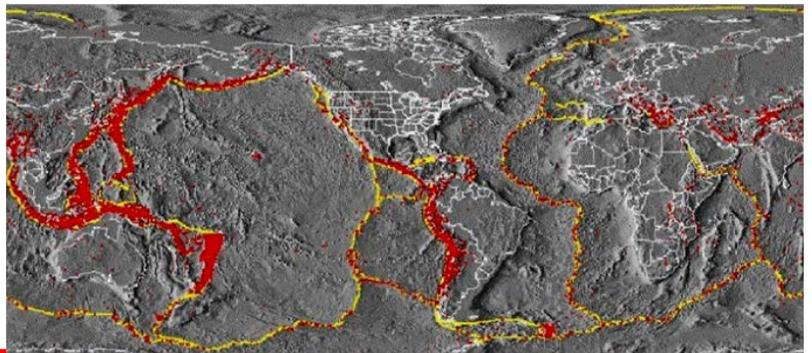
Más de 1.500 volcanes en el mundo, han tenido erupciones durante los últimos 10 mil años y más de un tercio, tienen actividad con registro histórico.

Geológicamente, hay un cierto consenso, en considerar "activo" a un volcán que ha tenido erupciones durante la Era Cristiana, es decir, durante los últimos 2000 años. Sin embargo, los volcanes prehistóricos y, en consecuencia, no listados entre los activos, son los que al despertar, después de un prolongado tiempo de reposo, han producido las erupciones más violentas y con resultados más desastrosos.

Por lo general, alrededor de 60 volcanes entran en erupción cada año, aunque no se sabe con certeza, cuantos volcanes submarinos, en promedio, tienen erupciones en este lapso.

## CINTURON DE FUEGO

El Cinturón de Fuego del Pacífico (o Anillo de Fuego del Pacífico), también conocido como Cinturón Circumpacífico, está situado en las costas del océano Pacífico y se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una



actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca.

Incluye a Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Guatemala, México, Estados Unidos, Canadá, luego dobla a la altura de las islas Aleutianas y baja por las costas e islas de Rusia, Japón, Taiwán, Filipinas, Indonesia, Papúa Nueva Guinea y Nueva Zelanda.

El lecho del océano Pacífico reposa sobre varias placas tectónicas, las cuales están en permanente fricción y por ende, acumulan tensión. Cuando esa tensión se libera, origina terremotos en los países del cinturón.

Además, la zona concentra actividad volcánica constante. En esta zona las placas de la corteza terrestre se hunden a gran velocidad (varios centímetros por año) y a la vez acumulan enormes tensiones que deben liberarse en forma de sismos.

El Cinturón de Fuego se extiende sobre 40 000 km (25 000 millas) y tiene la forma de una herradura. Tiene 452 volcanes y concentra más del 75 % de los volcanes activos e inactivos del mundo. Alrededor del 90 % de los terremotos del mundo y el 80 % de los terremotos más grandes del mundo se producen a lo largo del Cinturón de Fuego. La segunda región más sísmica (5-6 % de los terremotos y el 17 % de terremotos más grandes del mundo) es el cinturón alpino, el cual se extiende desde Java a Sumatra a través del Himalaya, el Mediterráneo hasta el Atlántico. El cinturón de la dorsal Mesoatlántica es la tercera región más sísmica.

El Cinturón de Fuego es el resultado directo de la tectónica de placas, el movimiento y la colisión de las placas de la corteza terrestre. La sección oriental del Cinturón es el resultado de la subducción de la placa de Nazca y la placa de Cocos debajo de la placa Sudamericana que se desplaza hacia el oeste. La placa de Cocos se hunde debajo de la placa del Caribe en Centroamérica. Una porción de la placa del Pacífico, junto con la pequeña placa de Juan de Fuca se hunden debajo de la placa Norteamericana. A lo largo de la porción norte del cinturón, la placa del Pacífico, que se desplaza hacia el noroeste, está siendo subducida debajo del arco de las islas Aleutianas. Más hacia el oeste, la placa del Pacífico está subducida a lo largo de los arcos de la península de Kamchatka en el sur más allá de Japón. La parte sur es más compleja, con una serie de pequeñas placas tectónicas en colisión con la placa del Pacífico, desde las Islas Marianas, Filipinas, Bougainville, Tonga y Nueva Zelanda. Indonesia se encuentra entre el cinturón de Fuego a lo largo de las islas adyacentes del noreste, incluyendo Nueva Guinea, y el cinturón Alpide a lo largo del sur y oeste de Sumatra, Java, Bali, Flores y Timor.



En el cinturón de fuego del Pacífico se han registrado los 10 sismos más fuertes del siglo pasado y del actual.

- Chile sufrió el terremoto más intenso registrado hasta ahora; midió 9,5 grados en la escala de Richter y sacudió las ciudades de Santiago y Concepción. Murieron 5000 personas y dos millones quedaron sin hogar.
- Alaska sufrió tres sismos grandes en menos de ocho años. El 9 de marzo de 1957 un movimiento de 9,1 grados golpeó las islas Andreanof, mientras que, en 1964 y 1965, registró terremotos de 9,1 y 8,7 grados respectivamente y generó un tsunami de olas de 10 metros de alto.



- Todavía permanece fresco el recuerdo del catastrófico sismo de 9 grados del 26 de diciembre de 2004 en Indonesia y Sumatra, que desató un tsunami que mató a más de 250.000 personas.
- El 4 de noviembre de 1952, Rusia registró un terremoto de magnitud 9 que generó un tsunami que

golpeó las islas hawaianas. Y el 31 de enero de 1906 un sismo de 8,8 grados fue registrado cerca de la costa de Ecuador y Colombia, que generó un fuerte tsunami que mató a 1000 personas.

- En Tibet y la India, unas 2000 casas fueron arrasadas y 1500 personas murieron tras el movimiento de 8,6 grados registrado en la cuenca de Brahmaputra.

- Uno de los más devastadores fue el del 27 de febrero de 2010 en Chile, que produjo más de 500 muertos, con sus 8,8 grados de intensidad.

- El 11 de marzo de 2011, Japón sufrió un terremoto de 9 grados, seguido de tsunami con olas de 10 metros de altura, que arrasó con pueblos enteros y provocó un desastre nuclear, cuya radiación permanecerá por años.

Valdivia fue afectada por el famoso terremoto de 1960, es la ciudad donde se registró aquella tristemente célebre intensidad record de XI a XII en Escala de Mercalli y 9,5 en Escala Richter. Simplemente el mayor movimiento telúrico jamás registrado. El epicentro se localizó a 39.5° de Latitud Sur y a 74.5° de Longitud Oeste. El hipocentro se ubicó a 60 km de profundidad. 2.000 personas murieron (4.000 a 5.000 en toda la región), 3.000 resultaron heridas y más de 2 millones quedaron damnificadas a causa de este desastre. Los ríos cambiaron su curso. Nuevos lagos nacieron. Las montañas se movieron. La geografía, como nunca se había visto, se modificó marcadamente. En los minutos posteriores un Tsunami arrasó lo poco que quedaba en pie. El mar se recogió por algunos minutos y luego una gran ola se levantó destruyendo a su paso casas, puentes, botes y, por supuesto, muchas vidas humanas y animales. Algunas naves fueron a quedar a kilómetros del mar, río arriba.



## **ONDAS SÍSMICAS Y ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA**

Aun hoy no se sabe exactamente cómo está constituido el interior de la Tierra. Las excavaciones más profundas las han llevado a cabo las compañías mineras en África del Sur para extraer oro a 3,5 km de profundidad pero el calor y la presión impiden que los humanos descendan mucho más ya que el aumento de la temperatura es en promedio de 1°C por cada 30 m o de 30°C por km. Como se estima que el radio terrestre es de 6370 km, la información sobre las profundidades que proporcionan las excavaciones es mínima.

Isaac Newton fue el primero en proponer una teoría sobre la estructura de la Tierra; basándose en sus estudios sobre la gravedad, calculó el promedio de la densidad de la Tierra y encontró que ésta era de más del doble de la densidad de las rocas cercanas a la superficie. Concluyó por ello que el interior tenía que ser mucho más denso que las rocas de la superficie y se ha comprobado que es así. Esto último también excluía la posibilidad de que hubiera un submundo cavernoso, pero en ese entonces todavía no se conocía dónde comenzaba el material más denso y cómo variaba la composición de las rocas de la superficie.

El conocimiento actual de la estructura interna de la Tierra proviene de datos indirectos proporcionados por la investigación geofísica; el estudio de los terremotos es el que más datos ha aportado. Con cada terremoto se origina un frente de ondas sísmicas que viaja en todas direcciones; estas ondas se propagan de manera semejante a las que se producen al tirar una piedra en el agua. La observación del desplazamiento de las ondas sísmicas a través de la Tierra, ha ayudado a conocer los materiales por los que transitan pues su velocidad de propagación está en función del tipo de material por el que se desplazan.

Los sismos pueden tener diversos orígenes: volcánico, de impacto, por explosiones y aquellos producidos por el roce de las placas de la corteza terrestre. La propagación de la energía resultante se da en forma de ondas elásticas. A través de la Tierra viajan dos tipos de ondas elásticas: las de cuerpo o internas, que pueden ser compresionales (ondas P) y se transmiten tanto en medios sólidos como líquidos; y las de corte o cizalla (ondas S) que son más lentas y sólo se transmiten a través de medios sólidos. Ambas se registran y se miden con sismógrafos. Las ondas compresionales son las que se transmiten en la dirección del desplazamiento de las partículas del medio, en el que se producen compresiones y dilataciones. Las ondas de corte o cizalla se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación de la deformación en el medio, por lo que están asociadas con deformaciones del terreno de tipo de cizalla.

Con la sofisticada red de estaciones sismográficas del mundo, se han estudiado en detalle las ondas que atraviesan el interior del planeta y se ha podido definir su velocidad, amplitud, reflexiones, refracciones y otras características físicas. Al integrar todos los resultados obtenidos por las estaciones sísmicas se ha deducido una estructura terrestre interna de capas concéntricas discontinuas. Las discontinuidades constituyen los límites de las capas concéntricas, y son zonas donde la velocidad de las ondas aumenta o disminuye abruptamente al pasar de un medio a otro.

Una de las más importantes observaciones de la estructura de la Tierra fue hecha por el sismólogo croata Andrija Mohorovicic. Él notó que las ondas P medidas a más de 200 km del epicentro de un terremoto, llegaban con más velocidad que las medidas dentro de un radio de 200 km. Esto se debía a que las ondas más veloces viajan a través de un medio que les permite acelerarse. Con base en esto, Mohorovicic definió, en 1909, el principal y primer borde del interior de la Tierra, ubicado entre la corteza que forma la superficie y la capa más densa por debajo llamada manto.

Las ondas sísmicas viajan más rápido en el manto que en la corteza, porque éste se compone de un material más denso. Por consiguiente, las estaciones más lejanas al origen de un terremoto reciben ondas que han viajado a través de las rocas más densas del manto y por tanto han adquirido mayor velocidad.

En 1914 se descubrió el núcleo terrestre y se definió un borde agudo del núcleo y el manto a 2900 km de profundidad, donde las ondas P se refractan y disminuyen velocidad.

Existen estudios más detallados que muestran otras divisiones como el área de baja velocidad ubicada entre los 60 y 250 km de profundidad, que se interpreta como una zona de alta plasticidad de los materiales del manto, y la discontinuidad de Wiechert que se manifiesta a los 5150 km y parece diferenciar al núcleo en dos partes concéntricas.

Sabemos entonces, siempre por métodos indirectos, que la Tierra está formada por diversas capas de distinta densidad y composición. La corteza es la parte más superficial del manto y hasta una profundidad de unos 100 km se denomina litosfera. A los 2950 km de profundidad se describe la discontinuidad llamada de Gutenberg o fundamental, que separa el manto inferior del núcleo externo. Al pasar del manto al núcleo externo, aumenta la densidad (de 5,5 a 10 g/cm<sup>3</sup>) pero disminuye drásticamente la velocidad de las ondas P (de 10,5 a 8,0 km/s), y las ondas S no se transmiten. Esto indica que el material del núcleo externo es líquido. Tanto la densidad como la velocidad de las ondas P aumentan con la profundidad hasta llegar a los 5150 km, donde se encuentra la discontinuidad denominada Lehmann entre el núcleo externo y el núcleo interno; este último es sólido y llega hasta el centro de la Tierra situado a 6371 km de profundidad.

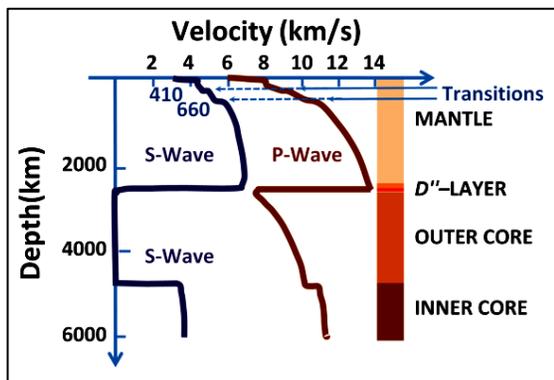
La mayoría de los avances en esta rama de la geofísica ocurridos en los últimos 20 años se deben en buena medida a la instalación de redes instrumentales y de comunicación y al establecimiento de un mayor número de estaciones a escala regional y global.

Algunos avances relevantes en la evolución de la sismología están ligados al desarrollo tecnológico mientras que otros resultan de la conjunción de aportes previos; por ejemplo el mejor conocimiento del manto y de la corteza se dio hasta 1960 con el cálculo más detallado y la modelación matemática de la dispersión de ondas superficiales (viajan sobre la superficie de la Tierra y se desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo; o sea, las ondas p y s).

En época más reciente muchas contribuciones carecen de apellido; son tantos los investigadores que han contribuido, directa o indirectamente, en el desarrollo de determinado tema que es difícil asignar determinado avance a una sola persona, al igual que precisar el momento específico en el que éste ocurrió. Un ejemplo de ello es la tomografía sísmica, en la que convergen conocimientos previos como el de los tiempos de trayecto, el conocimiento de la estructura de la Tierra, los sismogramas sintéticos y los métodos de inversión.

Los avances tecnológicos que ocurrieron durante el siglo XX no sólo permitieron el incremento en la cantidad y calidad de los datos sísmicos, también propiciaron el desarrollo de métodos de modelado y

una interpretación más sofisticada de los resultados con el uso de la computadora. De esta forma fue posible estudiar el interior de la Tierra por medio de modelos inhomogéneos estratificados; es decir, métodos de modelado e inversión que surgieron como un complemento para explicar las señales observadas, la reproducción cuantitativa de las señales sísmicas registradas gracias a los avances del conocimiento sobre el comportamiento de la propagación de la energía.



**Velocidad de las ondas.** Se puede ver como la onda S no tiene velocidad en el núcleo externo, al ser líquido.

Otra innovación en los años 50, fue la posibilidad de construir diferentes escenarios sobre el origen físico del fenómeno, tomando en cuenta las señales de la fuente y las estructuras geológicas interpretadas o inferidas. Así, los primeros sismogramas sintéticos (así se les denominaron) se usaron para analizar registros sísmicos de reflexión, lo que se convirtió rápidamente en un procedimiento estándar de interpretación. Su popularización en la sismología de terremotos fue muy rápida, ya que permiten obtener más detalles de la estructura mediante una comparación de registros calculados a partir de modelos geológicos.