

SEGUNDA EDICIÓN

Analía Pérez Riobo - Ana Vrba

CIENCIAS DE LA TIERRA



CIENCIAS DE LA TIERRA

**Analía Pérez Riobo
Ana Vrba**



**Editorial
MAIPUE**

ÍNDICE

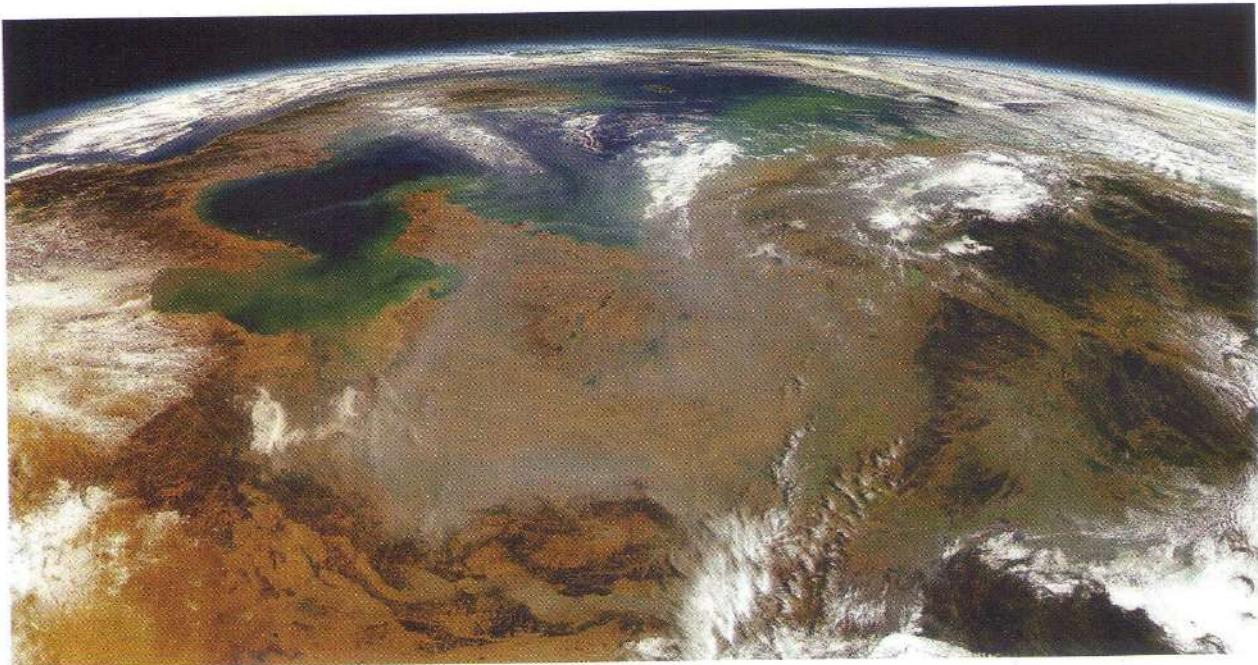
Capítulo 1: La Tierra	7
Características de la Tierra	7
Características principales de la litósfera continental	9
Características principales de la litósfera oceánica	10
La teoría de la Tectónica de Placas: una revolución científica	11
Paleomagnetismo	16
Teoría de la Tectónica de Placas	17
¿Cómo se forman los bordes de placas?	18
Orogenia	24
Manifestaciones externas de la dinámica interna planetaria	25
Deformación de las rocas	30
Capítulo 2: El paisaje geológico	37
El paisaje	37
Procesos endógenos y exógenos	38
¿Cuál es la diferencia entre piedra, roca y mineral?	39
Los minerales	39
Propiedades físicas de los minerales	42
Mineralogía descriptiva	44
Las rocas y su ciclo	46
Morfogénesis debida a procesos endógenos	54
Capítulo 3: Recursos, reservas y riesgos geológicos	65
Las tres “R” vinculadas pero diferentes	65
Recursos mineros	66
Yacimientos originados por procesos ígneos y metamórficos	68
Recursos edáficos: los suelos	73
Los recursos hídricos	77
Convivir con la madre Tierra	80
Geoética	85
Capítulo 4: Historia geológica del paisaje	87
Escala	89
Corte geológico	91
Mapa geológico	92
Tiempo geológico	93
Edad relativa	95
¿Qué ocurre si no hay deposición de sedimentos y/o ha habido erosión de las rocas?	97
Correlación estratigráfica	97

Edad absoluta	98
Fósiles	99
División del tiempo geológico	101
¿Cómo se formó nuestro planeta?	103
¿Cómo se formaron la atmósfera y los océanos?	104
Eón precámbrico	104
Eón fanerozoico	105
Era mesozoica	109
Era cenozoica o terciaria 65,5-2,6 Ma	110
Bibliografía	119

CAPÍTULO

1

La Tierra



CARACTERÍSTICAS DE LA TIERRA

La Tierra es el tercer planeta del sistema solar. Tiene, aproximadamente, la forma de un elipsoide de revolución, aplastado en los polos y ligeramente abultada alrededor del Ecuador. Allí, el radio es de 6378 km y, en los polos, de 6357 km. Es un planeta rocoso en el que predominan los compuestos constituidos por silicio, oxígeno, aluminio y hierro. La temperatura y la presión aumentan a medida que avanzamos hacia el centro de la Tierra.

El interior terrestre consiste en una serie de capas de diferente composición, densidad y propiedades físicas. Los materiales más densos están concentrados en el centro y los menos se ubican en la superficie.

De acuerdo a la composición de los materiales que forma la Tierra, se la divide en tres capas: corteza, manto y núcleo como podemos observar en la figura 1.1.

Se distinguen desde su periferia hacia el interior:

La **corteza** es la parte superficial terrestre o capa rocosa externa. Según su naturaleza continental u oceánica, se las clasifica en **corteza oceánica** y **corteza continental**.

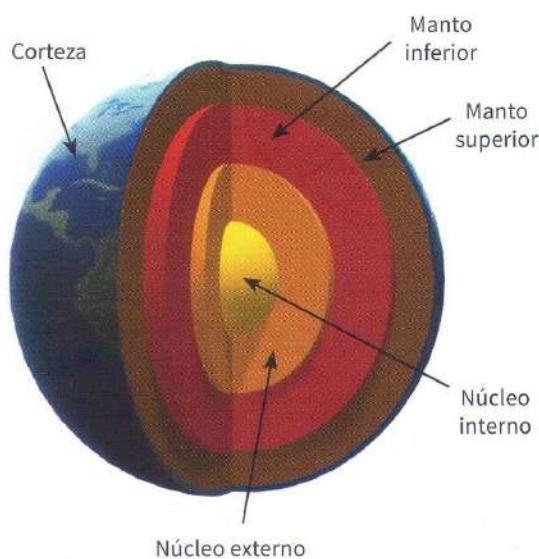


Figura 1.1 Estructura de la Tierra que muestra su estratificación

Al núcleo se lo divide en externo e interno, y representa el 32% de la masa terrestre. Se extiende desde la discontinuidad de Gutenberg hasta aproximadamente los 6370 km.

El núcleo externo compuesto sobre todo de hierro está ubicado a partir de los 2900 km y hasta los 5100 km. Al igual que el núcleo interno que, además, está formado por níquel. Este se localiza a partir de los 5100 km hasta el centro de la Tierra.

En las figuras 1.2 y 1.4, se representa el modelo basado en las propiedades físicas que divide a la Tierra en capas: **corteza, litósfera, astenosfera, mesosfera y núcleo**.

La cáscara que envuelve al planeta se llama **corteza**, su grosor varía entre los 5 y 70 km. Sus rocas están formadas por minerales que contienen metales livianos como el aluminio, el sodio, el potasio y el calcio, además de abundante silicio y oxígeno.

La **litósfera** es una capa de roca dura y quebradiza. Está compuesta por la corteza y parte del manto superior. Se fragmenta en grandes bloques denominados placas litosféricas. Su grosor varía desde los 50 km a más de 250 km.

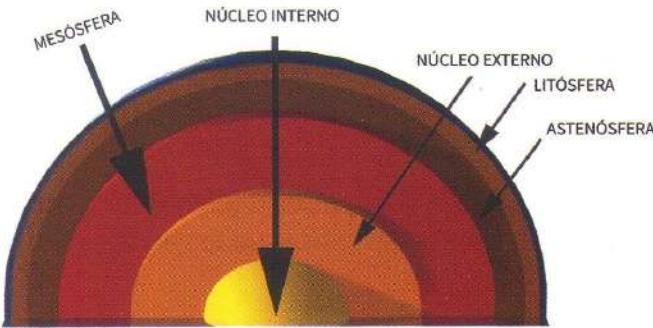


Figura 1.2 Distribución de las capas terrestres de acuerdo con el modelo basado en las propiedades físicas

De acuerdo a las cortezas que la constituyen, se la denomina litósfera continental u oceánica.

Llamaremos **litósfera continental** a aquella litósfera de elevado grosor emergida respecto del nivel del mar y constituida por la corteza continental. Posee una densidad menor que la media.

La **litósfera oceánica** tiene una densidad mayor que la media y, por lo tanto, tiende a hundirse, está constituida por la corteza oceánica.

Bajo la litósfera, hasta unos 410 km, yace la **astenósfera**. Esta es la capa blanda del manto superior y su temperatura es de aproximadamente 1400 °C. Las diferencias de temperatura entre la litósfera y la astenósfera determinan que la litósfera se encuentra mecánicamente separada de la astenósfera, lo que le facilita desplazarse sobre ella.

La **mesósfera** o manto rodea al núcleo, es una capa rocosa de 2900 km de grosor. Se la ubica a partir de la astenósfera hasta la capa D, en el límite con el núcleo.

Los elementos predominantes en la mesósfera son el silicio, hierro, magnesio y oxígeno. La mesósfera es sólida y, está sometida a elevadas temperaturas y presiones.

A los 410 km y hasta los 660 km, se ubica una zona de transición. La densidad incrementa a medida que aumenta la profundidad. La composición mineralógica de la roca del manto cambia en función de la temperatura y la presión dominante.

Alrededor de los 660 km comienza el manto inferior, las rocas que lo forman están muy calientes debido a las elevadas temperaturas y presiones reinantes a esa profundidad. Como consecuencia, la composición mineralógica cambia nuevamente.

En el límite entre el manto inferior y el núcleo, se encuentra la capa D. Se caracteriza por estar constituida por diferentes tipos de rocas y por estar parcialmente fundida en determinados sectores.

El **núcleo** es una aleación de hierro y níquel. Lo constituyen dos regiones denominadas núcleo externo e interno. El primero es líquido y su grosor es de aproximadamente 2300 km. El segundo es sólido y tiene forma de esfera.

El núcleo terrestre es responsable del campo magnético terrestre; este campo es análogo al que desarrollaría una barra imantada, situada en el centro de la Tierra. El eje del campo magnético está inclinado 11,5 grados respecto del eje geográfico, pero varía su posición con el tiempo.

Hasta la década del 60, a la Tierra, se la consideraba formada por tres capas: **sial**, **sima** y **nife**. Estos nombres resultan de la composición química asignada a cada capa: sílice y aluminio a la exterior; sílice y magnesio a la intermedia y, níquel y hierro al núcleo. A partir de la implementación de la teoría de la Tectónica de Placas, estos términos han evolucionado.

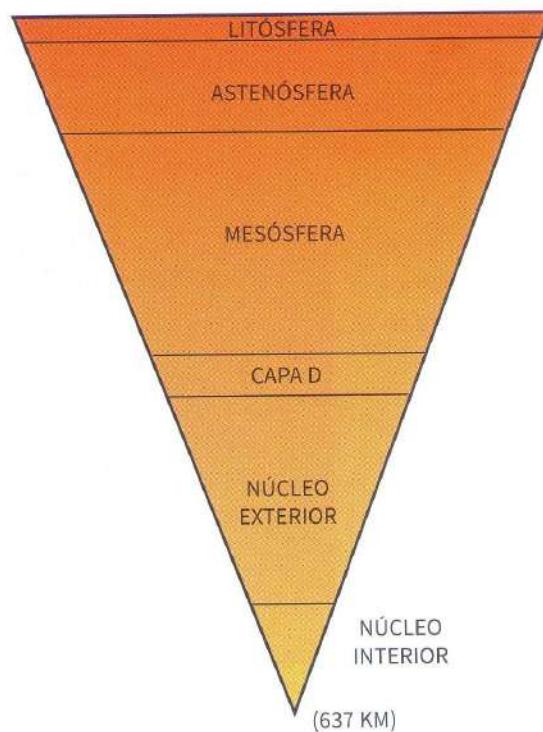


Figura 1.3 Distribución de las capas terrestres de acuerdo con el modelo basado en las propiedades físicas, representado en una sección vertical

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA LITÓSFERA CONTINENTAL

Las masas de corteza continentales se elevan por encima del océano, las rocas que las componen son **ígneas**, **metamórficas** y **sedimentarias**. Presentan una gran variedad en las formas de su superficie: llanuras, valles, mesetas y montañas.

Pero observando la Tierra mediante una imagen satelital, encontramos formas más complejas de la corteza. Desde una perspectiva regional, encontramos como componentes característicos de la corteza continental a los cratones y los cinturones montañosos.

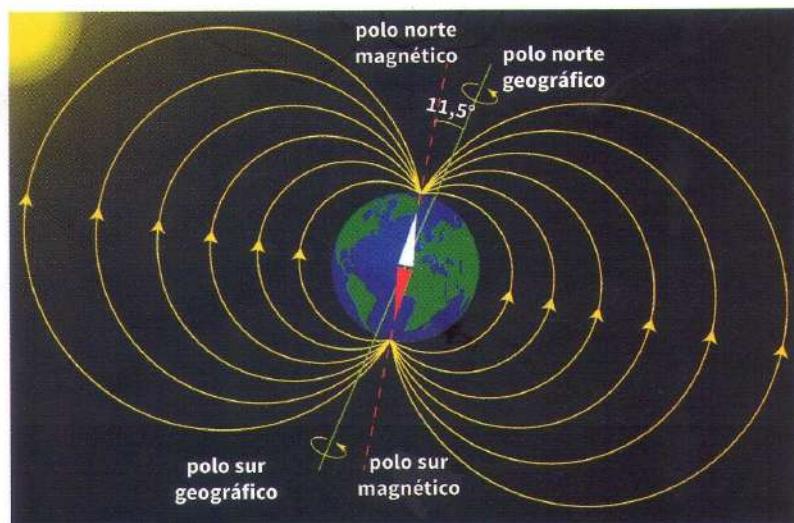


Figura 1.4 Campo magnético terrestre

Vocabulario

● Rocas

Material constitutivo de la corteza terrestre, formado en general por una asociación de minerales característicos.

● Rocas ígneas

Se forman a partir de un magma o roca fundida que se enfriá y se solidifica. Cuando la roca fundida alcanza la superficie, se la denomina lava. Si la roca fundida no llega a la superficie, se cristaliza en profundidad.

● Rocas sedimentarias

Resultan de la acumulación de fragmentos minerales o de conchas y/o precipitaciones de minerales a partir de soluciones.

● Rocas metamórficas

Están formadas por la transformación de otras rocas preexistentes en el interior terrestre, debido a la elevación de la temperatura y/o de la presión o a la presencia de fluidos químicamente activos.

Los **cratones** son regiones estables alejados de los bordes de las placas y constituidas por rocas antiguas deformadas. Su edad es de alrededor de 700 millones de años o incluso anterior. En los cratones, se distinguen dos áreas: los escudos y las cubiertas de rocas sedimentarias o plataformas estables continentales de rocas sedimentarias. Por ejemplo, el Escudo Canadiense y el cratón del Río de la Plata.

Los cinturones montañosos antiguos y recientes son zonas lineales intensamente deformadas, por lo general, están formadas por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Por ejemplo, la cordillera de los Andes.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA LITÓSFERA OCEÁNICA

La corteza oceánica es de **basalto**, una roca volcánica densa y, en general, más joven que la continental, su edad es de alrededor de 150 millones de años.

Las observaciones indirectas de la superficie oceánica detectaron distintos tipos de formas de relieve: la cordillera centro-oceánica, las llanuras abisales, las fosas, los montes submarinos y los márgenes continentales.

LA TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS: UNA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

La teoría de la Tectónica de Placas ha producido un cambio radical en la forma de entender la Tierra y generó una revolución científica.

A mediados del siglo XX, en 1960, se consolida una teoría que había empezado a delinearse a fines del siglo XIX. Esta explicaría una serie de fenómenos geológicos relacionados con la formación de las cadenas montañosas, el origen de la corteza oceánica, la extinción de la vida y la migración de la fauna.

Los científicos observaron que la litósfera terrestre es móvil y que los continentes migran a lo largo del tiempo geológico.

La teoría de la Tectónica de Placas propone que la litósfera terrestre se rompe en placas debido al calor interno. El calor se distribuye por las corrientes de convección térmica en el manto terrestre y resulta en la rotura de la litósfera en placas litosféricas. Los límites de estas placas son zonas de intensa actividad geológica; sus movimientos generan fallas, terremotos, volcanes y montañas.

Mapa planetario de las placas litosféricas

En el mapa de la figura 1.5, se observa la forma de la litósfera terrestre o cáscara externa. Las placas son unidades rígidas y se mueven como una sola unidad. Existen seis placas grandes y otras menores. La placa Pacífica es excepcional por ser la única constituida exclusivamente por la litósfera oceánica.

Las placas litosféricas se fragmentan y por interacción entre ellas, se desarrollan tres tipos de bordes de placas: **expansión o divergente, convergente o de subducción y transformante**.

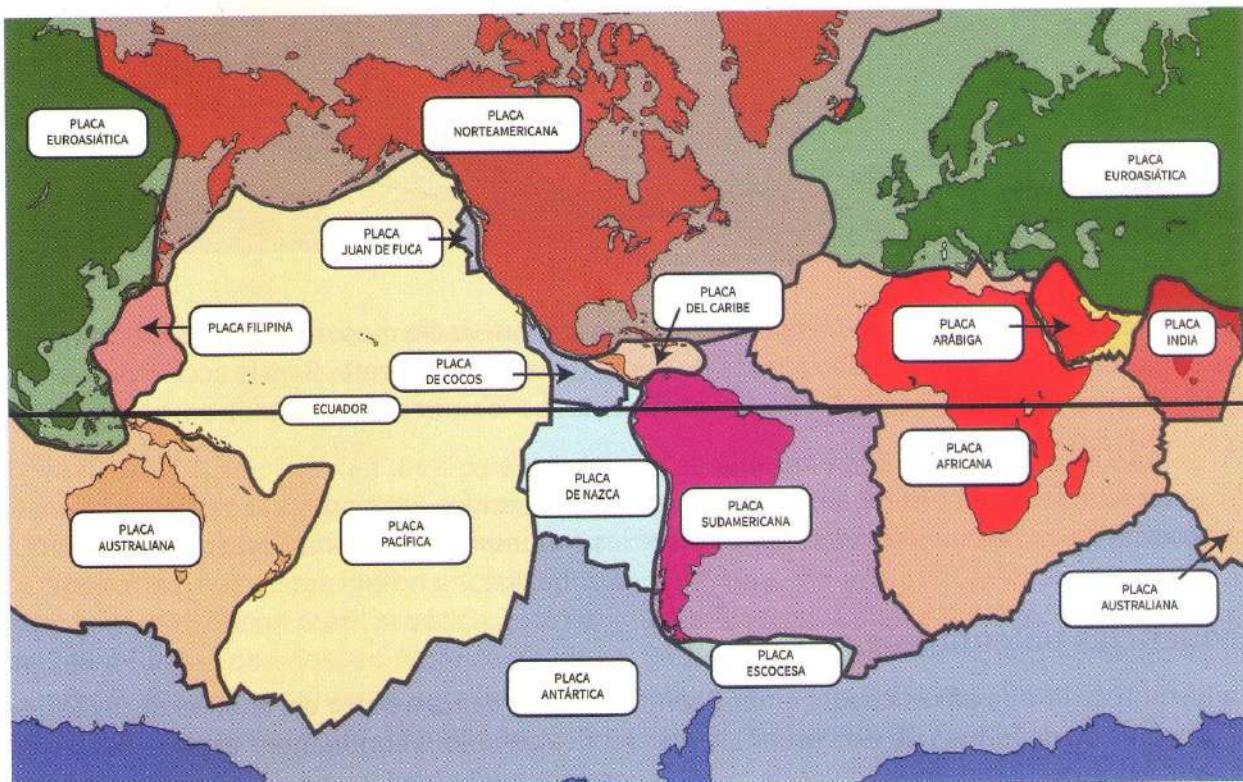


Figura 1.5 Mapa de placas tectónicas

Cómo los científicos desarrollaron la revolucionaria teoría

Durante gran parte del siglo XX, la mayoría de los geólogos y los geofísicos opinaban que los continentes y las cuencas oceánicas estaban fijos; la teoría tradicional en esa época, consideraba a la Tierra como un cuerpo rígido.

Sin embargo, ya a comienzos de 1900, Frank Taylor, Howard Baker y Alfred Wegener propusieron la idea de que los continentes van a la deriva sobre la superficie terrestre.

Pero fue Wegener, un meteorólogo alemán, el primero que realizó una profunda investigación sobre la deriva continental. En su libro *El Origen de los Continentes y Océanos*, publicado en 1915, plantea la relación de las formas de los continentes y las evidencias de fósiles similares encontrados en América del Sur y África. Dibujó una serie de mapas que mostraban cómo se fueron separando los continentes a lo largo del tiempo geológico, comenzando por un supercontinente al que denominó **Pangea** (que significa “todas las tierras”).

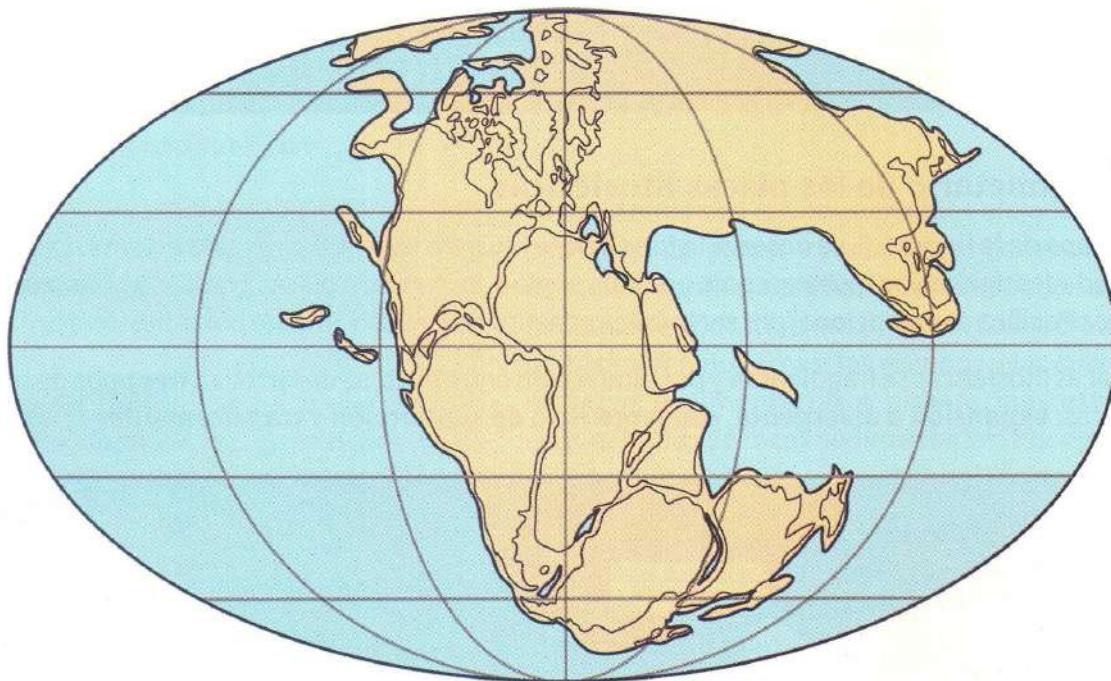


Figura 1.6 Mapa que muestra la gran masa continental llamada Pangea

De acuerdo con Wegener, hace 200 millones de años antes de la era mesozoica, todos los continentes han estado unidos en una única masa de tierra, un supercontinente. Bajo la acción de fuerzas asociadas con la rotación de la Tierra, los continentes se rompieron y se separaron, abriendo los océanos Índico y Atlántico.

Wegener estableció un considerable número de pruebas o evidencias geológicas y paleontológicas, que indicaban un registro histórico común entre los continentes de América del Sur y África.

Evidencias paleontológicas

La historia de la vida pasada sobre ambos continentes se realiza a partir del análisis de fósiles. Si la distribución de formas de vida primitivas es idéntica en ambos continentes, estas necesitarían puentes intercontinentales a través de los océanos para poder trasladarse o bien existía una disposición diferente de los continentes.

Wegener estudió varios organismos fósiles encontrados en diferentes masas continentales. Aque-lllos hallados, en rocas de América del Sur y África, eran idénticos. Si ambos continentes estuvieran separados, sería fácil de entender que la flora y la fauna sean muy distintas.

Los fósiles de *Mesosaurus* y *Glossopteris* encontrados en ambos continentes eran ejemplos clásicos de vida del pasado geológico, ya que para Wegener significaban la prueba de que las masas continentales estaban unidas en el supercontinente Pangea, porque los organismos que los originaron no podían atravesar el océano a nado ni volando.

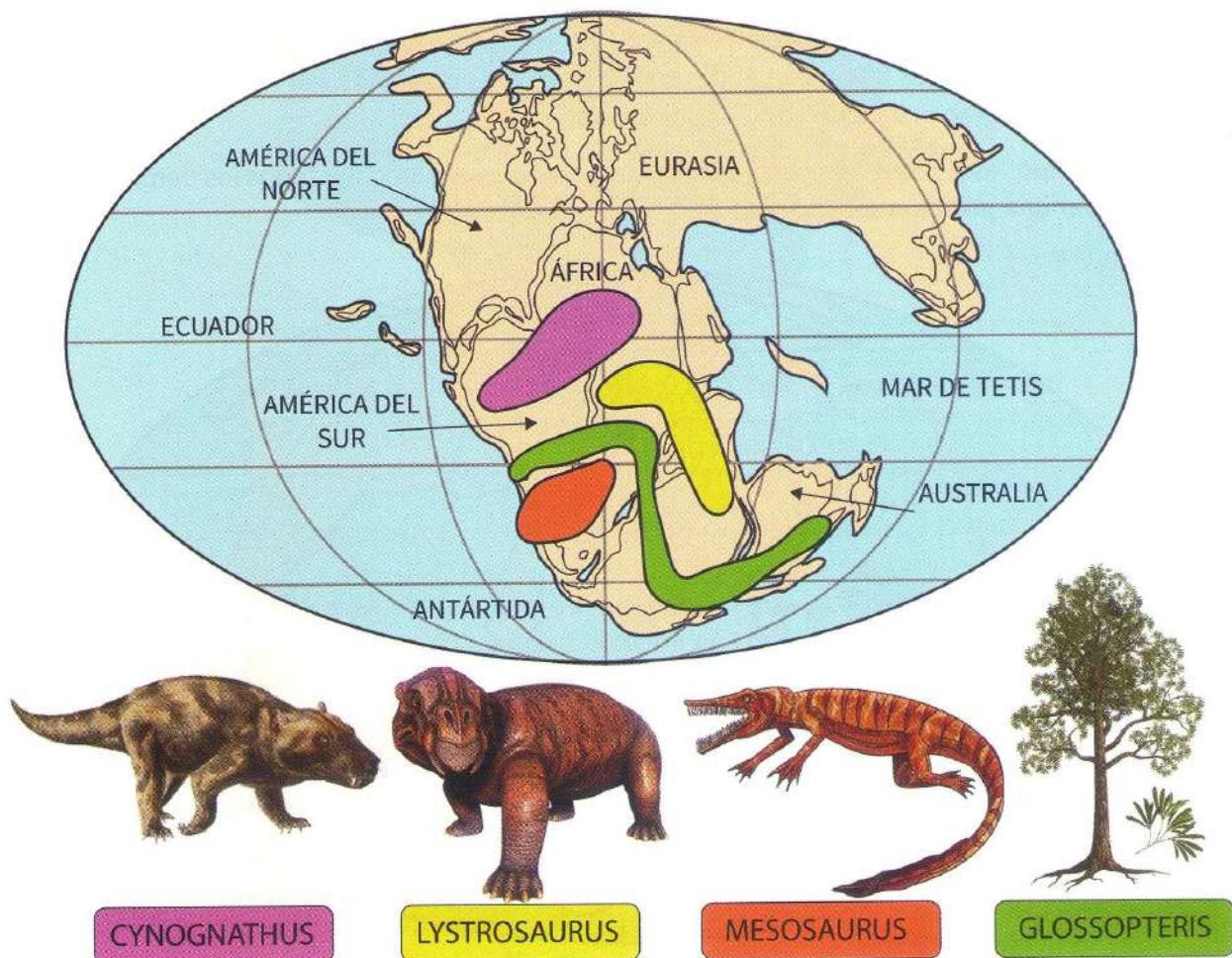


Figura 1.7 Distribución de las plantas y animales fósiles encontrados en América del Sur, África, Madagascar, India, Antártida y Australia

En la figura 1.7, se observan los siguientes fósiles de plantas y animales ligadas al mundo vi-viente del pasado: *Cynognathus* (1) era un reptil que vivió en el Triásico en América del Sur y África. *Lystrosaurus* (2) era un reptil característico del Triásico, que vivió entre 245 y 205 millones de años atrás, sus restos fueron encontrados en Antártida, India, América del Sur y Sudáfrica. *Mesosaurus* (3) era un reptil acuático. Estos animales vivieron al final del Paleozoico, hace más de 245 millones de años, en América del Sur y Sudáfrica. *Glossopteris* (4) era un helecho, se caracterizaba por sus grandes semillas que no podían ser arrastradas muy lejos por el viento, por lo que solo se encontró disperso en todo el sur del continente de Pangea.

Evidencias paleoclimáticas

Wegener también encontró pruebas de cambios climáticos en el hemisferio sur. Hace 300 millones de años, es decir, a fines del Paleozoico, grandes masas de hielo cubrían extensas áreas del planeta. Actualmente la prueba de esta edad de hielo se encuentra distribuida en los distintos continentes del hemisferio sur, a los 30° del Ecuador, en climas subtropicales o tropicales. La evidencia es difícil de explicar en un contexto en donde los continentes están fijos, debido a que las zonas climáticas se determinan por la latitud.

Wegener propuso que el continente de Pangea se encontraba ubicado cerca del polo Sur, en donde las condiciones climáticas favorecen el desarrollo de climas muy fríos y la formación de gruesas masas de hielo de gran extensión sobre la superficie.

Wegener escribió “esta prueba es tan convincente que, por comparación, todos los demás criterios deben ocupar una posición secundaria”.

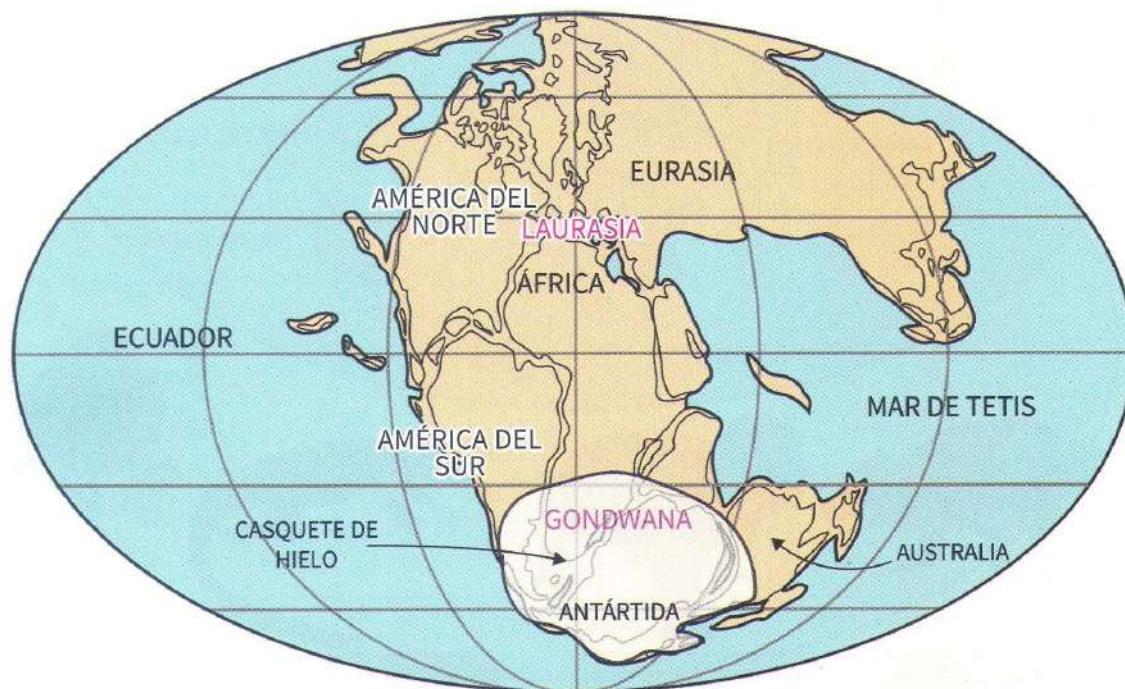


Figura 1.8 Distribución del casquete de hielo que cubría la región sur de Pangea

En el mapa de la figura 1.8, se observa la distribución de los continentes en una sola masa de tierra. La glaciación paleozoica afectó, en especial, la región sur de Pangea y fue considerada una de las evidencias más importantes de la deriva continental.

Evidencias debido a tipos de rocas y estructuras

Si los continentes estuvieron juntos en el pasado, las rocas situadas a ambos lados de las masas continentales tendrían que ser similares y de la misma edad.

Wegener encontró rocas ígneas de 2200 millones de antigüedad en Brasil, de conformación parecida a rocas de similar edad en África y cinturones montañosos antiguos de ubicación continua a lo largo de los bordes continentales a ambos lados del océano Atlántico.

Wegener dijo “es como si fuéramos a recolocar los trozos rotos de un periódico juntando sus bordes y comprobando después si las líneas impresas coinciden. Si lo hacen, no queda más que concluir que los trozos estaban realmente unidos de esta manera”.

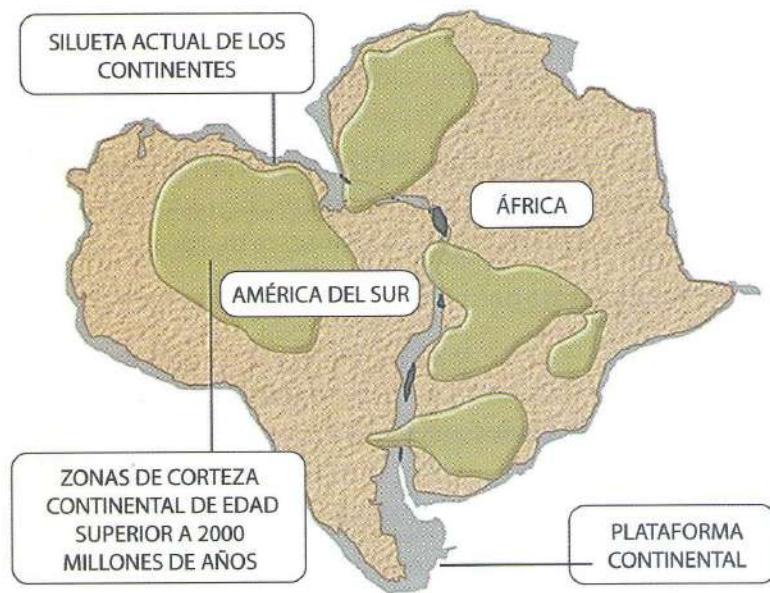


Figura 1.9 América del Sur y África juntas, coinciden en las líneas de contorno, el tipo de rocas y las estructuras geológicas

La coincidente geografía entre América del Sur y África antes de la rotura de Pangea, se evidencia en las áreas de color gris de la figura 1.9. Las áreas de color verde formadas por rocas metamórficas, tienen en común su edad, 2000 millones de años. En aquel tiempo, la mayoría de los científicos rechazaron las ideas de Wegener, ya que el pensamiento científico de la época coincidía con la visión de una tierra rígida y estática.

Recién, en 1944, el geólogo inglés Arthur Holmes al publicar su libro *Principios de Geología Física* consideró a la teoría de la Deriva Continental como un aporte significativo en el estudio de las ciencias geológicas.

Vocabulario +

• Ecosondas

Aparato que utiliza la detección acústica o los ecos reflejados sobre el fondo marino para obtener información acerca de los fondos oceánicos.

Desarrollo de la teoría de la Tectónica de Placas

Las nuevas tecnologías utilizadas a partir de 1960 facilitaron el conocimiento del fondo oceánico, los geólogos tuvieron nueva información y nuevas ideas resultaron de las investigaciones llevadas a cabo en dos áreas: en la geología del fondo oceánico y en el paleomagnetismo (estudio de las características del campo magnético del pasado geológico).

La geología del fondo oceánico

A partir de 1960, el desarrollo de **ecosondas** facilitó a los geólogos y geofísicos realizar mapas de detalles de la topografía del fondo oceánico. Cuando los estudios se completaron, mostró algo que hasta el momento se conocía poco: la cuenca oceánica estaba dividida por una gran cordillera

centro-oceánica de aproximadamente 64.000 km de largo y 1500 km de ancho. En su parte más alta, aparece una fosa de hundimiento, de alrededor de 1 a 3 km de profundidad, denominada **zona rift**, que es el lugar donde se separan dos placas. Otras evidencias mostraron que el fondo oceánico era relativamente joven y que la composición de la corteza oceánica era muy distinta de la continental.

PALEOMAGNETISMO

A partir de 1950, se mejoraron los sensores magnéticos y, por lo tanto, el estudio de las propiedades magnéticas de las rocas. Los nuevos instrumentos de medición permitieron medir la intensidad y la dirección del campo magnético generado por una muestra de roca.

El **paleomagnetismo** es el magnetismo permanente que adquieren las rocas a lo largo del tiempo geológico.

Muchas rocas contienen minerales con hierro, como la **magnetita**, y se convierten en imanes fósiles. Estos minerales se orientan según el campo magnético terrestre en el momento en el que la roca se está formando.

Dichas rocas preservan la información paleomagnética, es decir, conservan a modo de huella el campo magnético terrestre de la época en la que se originaron.

Las rocas formadas a lo largo de los bordes de separación de las placas litosféricas se orientan según el campo magnético terrestre. En estas zonas de expansión, las rocas contienen un registro de la dirección de los polos magnéticos, que presentan la característica de formar fajas de mayor y menor intensidad de campo orientadas en forma paralela y simétrica a la cordillera centro-oceánica.

La evidencia paleomagnética se convirtió en un elemento de certeza de la expansión del fondo oceánico.

En el diagrama de la figura 1.10, se esquematiza un fenómeno natural, que ocurre a lo largo de millones de años. Las flechas indican la separación de las placas, las lavas formadas durante este proceso contienen minerales magnéticos, que se magnetizan de forma natural y se orientan según el campo magnético terrestre.

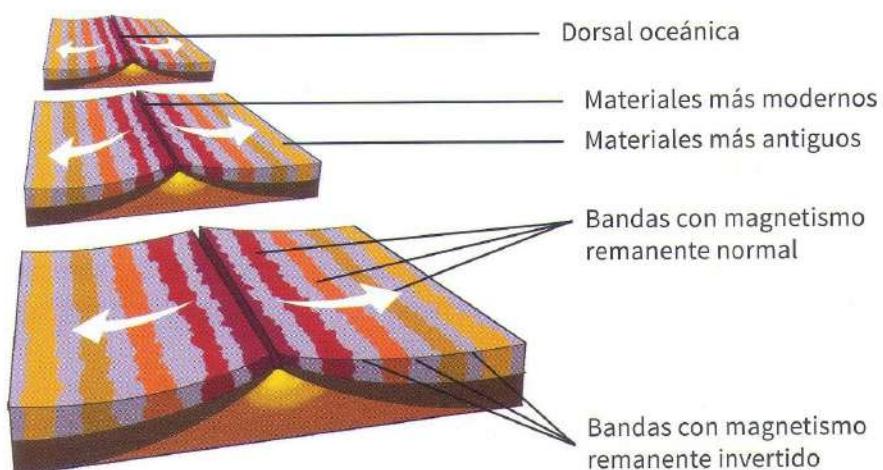


Figura 1.10 Épocas normales del campo magnético alternadas con otras de polaridad inversa, a lo largo de la dorsal centro-oceánica

A lo largo de millones de años, el campo magnético terrestre cambia de polaridad periódicamente. Una época de **polaridad magnética normal** indica, que la roca formada hace millones de años, tiene el mismo campo magnético que el actual. En cambio, las épocas de **polaridad inversa** o invertida indican lo opuesto. Durante una inversión magnética, el polo Norte magnético se convierte en polo Sur y viceversa.

A la luz de la nueva información, se retoma el concepto de la deriva continental formulada por Wegener y se reconstruyen las posiciones de las placas litosféricas en el pasado sobre la base de anomalías del campo magnético bien conocidas.

El estudio del paleomagnetismo ha permitido confirmar la hipótesis de la deriva continental y formular nuevos conceptos científicos a cerca de la expansión de los fondos oceánicos.

TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS

La teoría de la Tectónica de Placas estudia los movimientos de las placas litosféricas y las interacciones entre ellas. Permite explicar las principales características estructurales terrestres a consecuencia de los movimientos de las placas tectónicas.

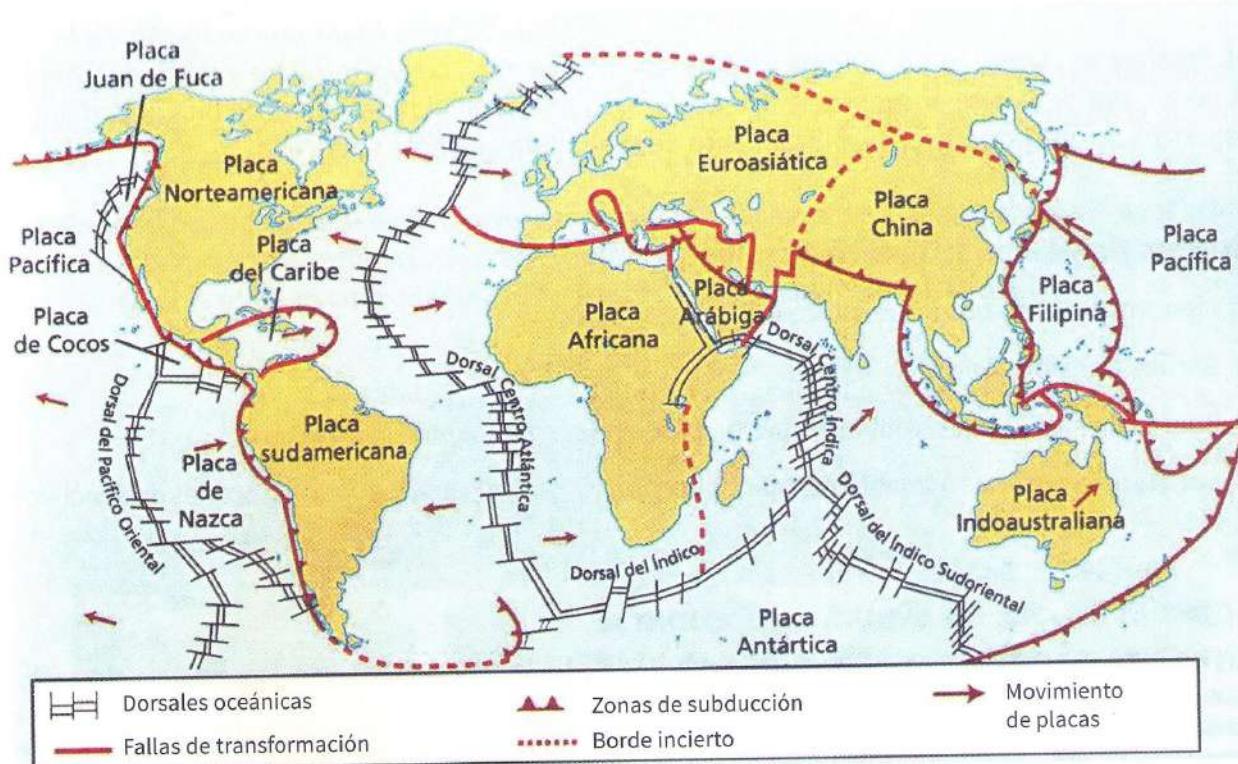


Figura 1.11 Mapa planetario de las placas tectónicas con sus respectivos bordes de placas y movimientos relativos

¿Por qué se mueven las placas litosféricas?

La energía interna terrestre se manifiesta en forma de calor, que las corrientes de convección redistribuyen desde el interior terrestre hasta la superficie, lo que hace que las rocas calientes asciendan y las frías y densas se hundan; el resultado es el movimiento de las placas litosféricas sobre la astenosfera.

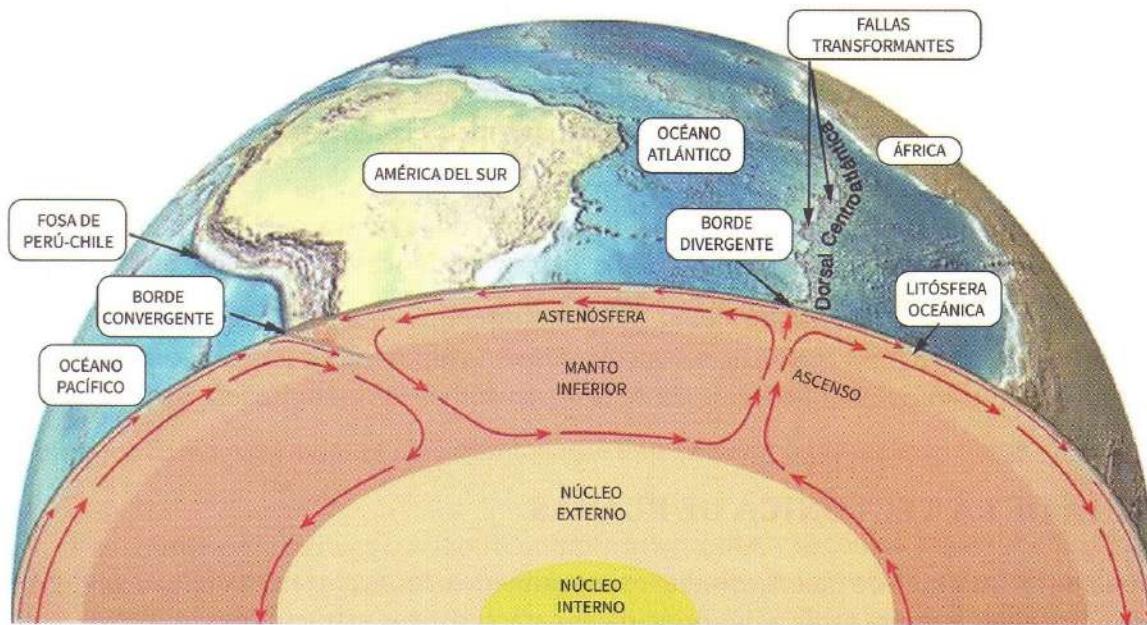


Figura 1.12 La Tierra y sus capas: núcleo interno, núcleo externo, manto inferior, manto superior y la astenosfera, y sus respectivas corrientes de convección

La litosfera es rígida, como se mencionó antes, incluye a la corteza terrestre y parte del manto superior, por debajo se encuentra la astenosfera. Es una capa blanda, capaz de fluir bajo débiles esfuerzos, lo que permite el desplazamiento de la litosfera que flota sobre ella.

Bordes de placas litosféricas

Existen tres tipos de bordes de placas:

- Bordes transformantes
- Bordes divergentes o también llamados bordes de separación o de acreción
- Bordes convergentes o también llamados bordes de colisión, de subducción o bordes destructivos

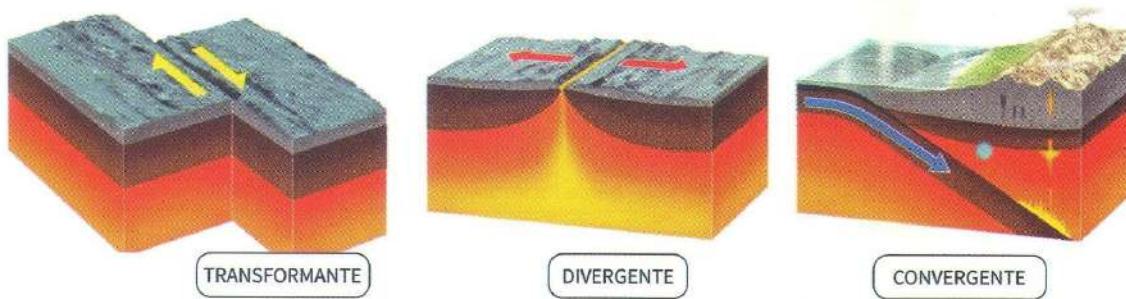


Figura 1.13 Bordes de placas. Las flechas indican el movimiento de una placa respecto de la otra

¿CÓMO SE FORMAN LOS BORDES DE PLACAS?

En la figura 1.12, se observa la convección térmica del manto inferior y superior. Sus efectos por arrastre de material generan una columna de ascenso de material del manto y otra de descenso.

Como resultado, determina la formación de un borde divergente de placa, donde la corriente de convección asciende y un borde convergente, donde desciende.

Borde divergente

Es el lugar en donde dos placas se separan, lo que origina que el material del manto ascienda y se forme un nuevo fondo oceánico de litósfera oceánica.

La acreción oceánica es la formación de un nuevo fondo oceánico a partir del rift; por eso, también a este borde de placa se lo denomina **borde de acreción**.

La litósfera oceánica recién formada se ubica a ambos lados del valle de rift, las placas se separan del centro de manera progresiva, e inmediatamente otra litósfera más joven ocupa su lugar. A medida que la litósfera se aleja de la dorsal, se enfria y se vuelve más densa tendiendo a la **subsidencia**, es decir, al hundimiento. La edad máxima del fondo oceánico actual es de alrededor de 200 millones de años.

Los bordes divergentes están relacionados con las **dorsales oceánicas**. Estas elevaciones del fondo oceánico son zonas con gran flujo de calor y vulcanismo. Se ubican en el océano Atlántico, el océano Pacífico y en el océano Índico, reciben el nombre de dorsal centro-atlántica, dorsal del Pacífico Oriental y dorsal centro-índica respectivamente.

Representan el 20% de la superficie de la Tierra, su ancho oscila entre los 1000 a 4000 km y su altura varía entre los 2 a 3 km sobre el fondo del océano. El valle de rift se sitúa en la cresta de la dorsal. Este es el lugar donde se evidencia la separación de las placas y se crea nueva litósfera oceánica.

La velocidad promedio de separación de las placas litosféricas es de 5 cm por año. La menor velocidad de separación o divergencia de placas observada en la dorsal centro-atlántica es de 2 cm por año y la máxima es de 15 cm por año y se registra en la dorsal del Pacífico Oriental.

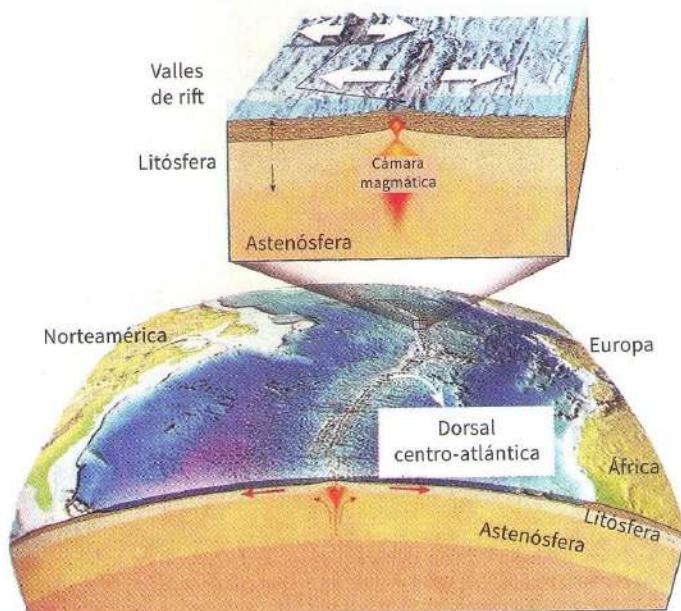


Figura 1.14 Dorsal centro-atlántica o cordillera centro-oceánica, formada a partir del borde divergente de placa. Obsérvese el material del manto en ascenso que forma un nuevo fondo oceánico de litósfera oceánica

Vocabulario



Subsidencia

La geología describe a la subsidencia como el movimiento de una superficie en la que el componente vertical de desplazamiento es claramente predominante sobre la horizontal. Este fenómeno se observa en los bordes de placas convergentes, en donde una placa litosférica más densa se hunde sobre otra que tiende a flotar sobre la anterior.

En el momento de la formación de la litósfera oceánica, las lavas que intervienen en este proceso, al enfriarse fosilizan el campo magnético. El fondo submarino mostrará a ambos lados de la dorsal anomalías magnéticas alargadas y paralelas a la misma, correspondientes a los distintos períodos de tiempo geológico en el que fue creado el fondo oceánico.

Borde convergente

Se trata de un borde a lo largo del cual dos placas litosféricas se acercan hasta colisionar y una de ellas se mueve hacia el manto. Estas son áreas con procesos geológicos complejos, que incluyen actividad ígnea, deformación de la corteza y formación de montañas.

Los bordes convergentes también se denominan bordes de **subducción**. Este es el proceso por el cual una de la placa litosférica en la zona del borde convergente se hunde o es subducida debajo de la otra. Esta característica se puede observar en la figura 1.15.

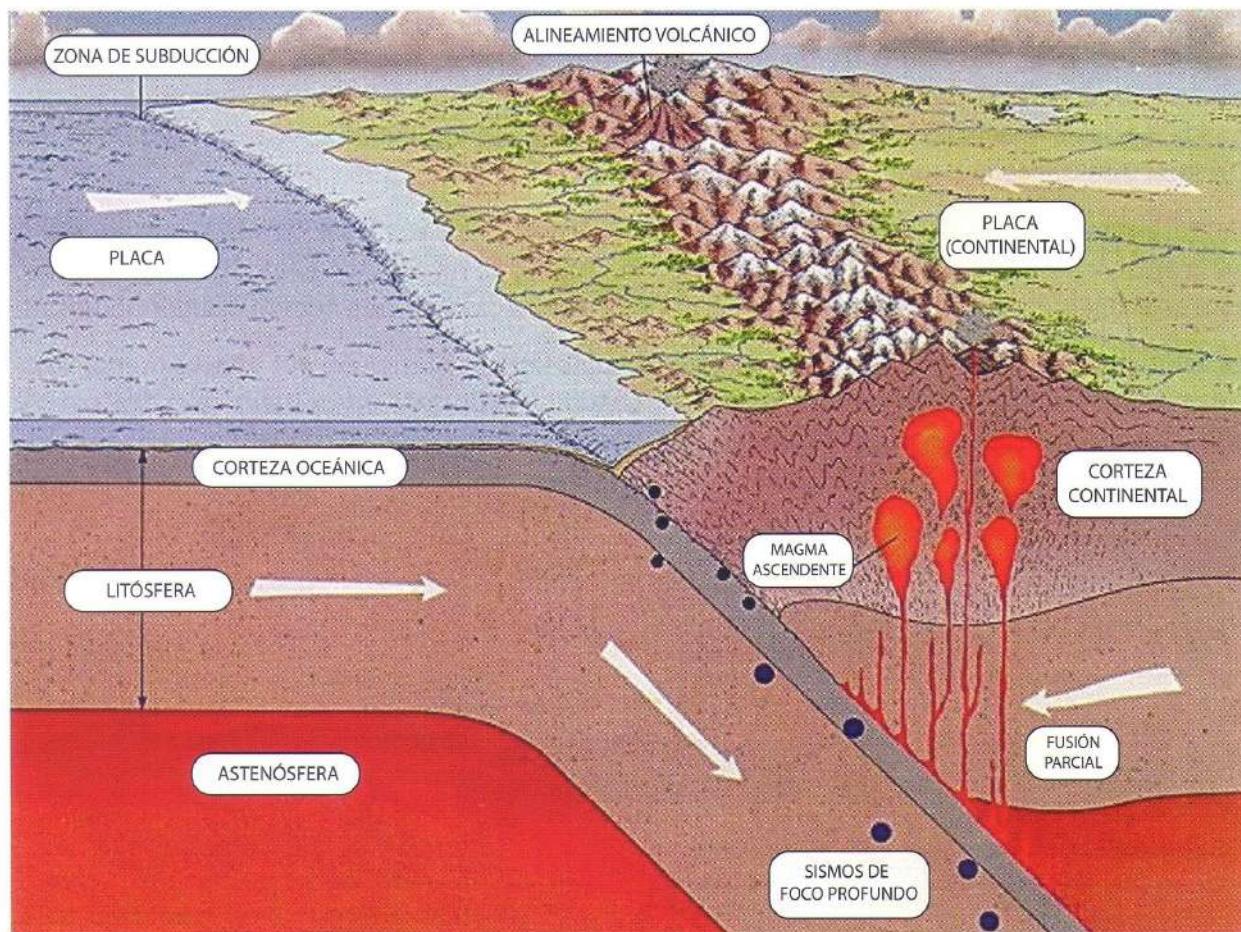


Figura 1.15. Borde convergente de placa

En la figura 1.15, se observa la litósfera oceánica densa descendente. La fosa oceánica sería semejante a una trinchera oceánica de gran profundidad y longitud. Como ejemplo, podemos citar a la fosa de Tonga y la fosa de las Marianas, la de mayor profundidad conocida (11.000 m), ambas situadas en el océano Pacífico occidental.

Los **arcos volcánicos o cadena de volcanes** resultan de la fusión parcial de la litósfera descendente. Pueden estar ubicados a modo de arco volcánico sobre el continente, como la cordillera de los Andes, o bien islas volcánicas, como el arco de las islas Kuriles.

En los bordes convergentes de placas, las **rocas ígneas** formadas a partir de la actividad volcánica son rocas de composición andesítica, muy comunes en estos tipos de bordes de placas.

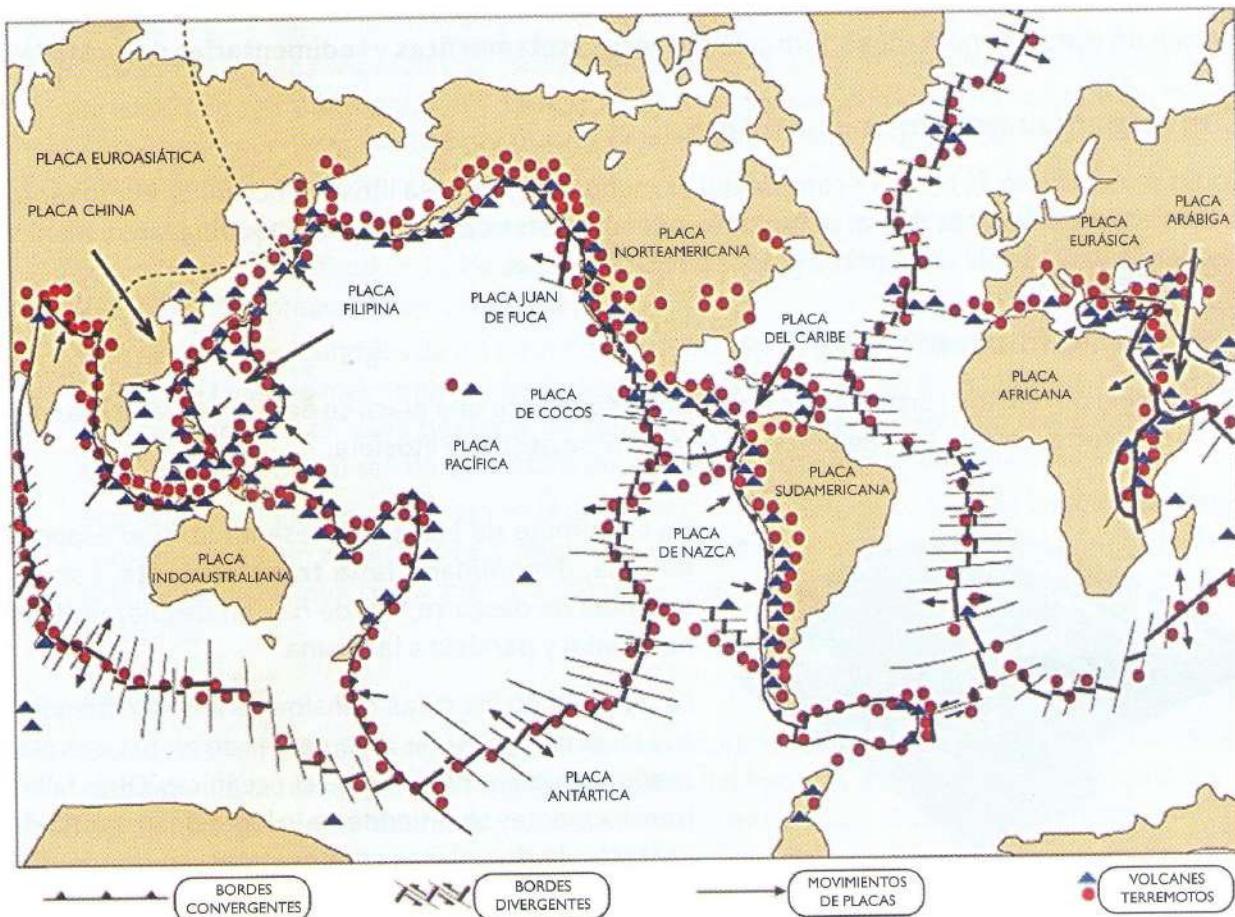


Figura 1.16 Mapa de distribución de áreas volcánicas y de cinturones sísmicos asociadas con bordes de placas

El mapa de la figura 1.16 muestra, en color azul, las zonas volcánicas relacionadas con bordes de placas divergentes y convergentes.

Los cinturones sísmicos o áreas sísmicas que se observan en el mapa están asociados a los tres bordes de placas. Los puntos rojos indican el lugar donde se producen los terremotos.

Los procesos específicos asociados a los bordes convergentes dependen de los tipos de litósfera involucrada en la colisión de las placas tectónicas.

Convergencia oceánica-oceánica

Si ambas placas al converger estaban constituidas por corteza oceánica, una de ellas se hunde por debajo de la astenosfera, siendo finalmente calentada y absorbida dentro del manto.

El vulcanismo, que se origina en este tipo de subducción, forma volcanes submarinos. Si la subducción se mantiene, los volcanes forman islas, que se disponen a modo de arco. Por ejemplo, las islas Kuriles en el océano Pacífico.

Convergencia continente-continente

Cuando convergen dos placas continentales ninguna de las dos puede subducir dentro del manto, ambas placas se fusionan en un solo bloque continental. En la zona de unión de ambas placas, se forman un cinturón montañoso, formado por **rocas metamórficas** y **sedimentarias deformadas**.

Convergencia oceánica-continental

Como se mencionó, la litósfera continental es menos densa que la litósfera oceánica; por lo tanto, la litósfera oceánica más densa, se hundirá en la astenosfera. El ángulo con el que la placa oceánica desciende varía desde unos pocos grados a casi la vertical.

Borde transformante

Es una zona de tensión cortante o de **cizallamiento**, donde una placa se desliza lateralmente respecto de la otra, en este tipo de borde no se crea ni se destruye litósfera.

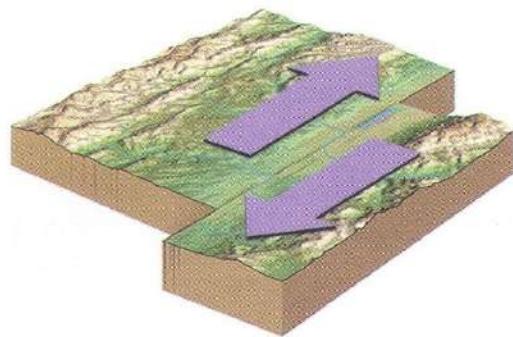


Figura 1.17 Diagrama de falla transformante. Las flechas indican los movimientos de las placas

En este límite de placa, se presenta un tipo especial de falla, denominada **falla transformante**. Esta es una falla de desgarre, donde hay un desplazamiento horizontal y paralelo a la misma.

La mayoría de las fallas transformantes se extienden a lo largo de los bordes divergentes de placas, desplazando segmentos de las dorsales oceánicas. Otras fallas transformantes se extienden a lo largo de una zona de contacto de dos placas continentales, en donde una placa se mueve en sentido horizontal con respecto a la otra.



Figura 1.18 Falla de San Andrés, obsérvese la similitud de las características geográficas con la figura anterior

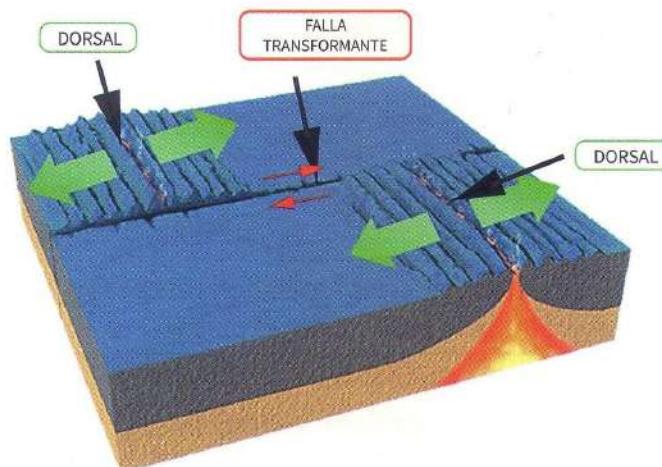


Figura 1.19 Se ilustra cómo la falla transformante en rojo desplaza al rift de la dorsal



Lectura

San Andrés: el peligro real de una de las fallas más temidas del mundo

BBC Mundo, 30 septiembre de 2016

Esta misma semana se produjeron varios temblores en el sur de la falla de San Andrés, varios de ellos de magnitud superior a 4. La Red Sísmica del Sur de California anticipó que los movimientos se pueden prolongar durante los próximos días y emitió una alerta para los condados del sur del estado.

Aunque los expertos no creen que este enjambre sísmico vaya a ser detonante del temido sismo de gran magnitud conocido como Big One, las autoridades recordaron a la población que debe estar preparada para los temblores.

Esto se une a los hallazgos de los científicos que asistieron a la Conferencia Nacional de Terremotos el pasado mes de junio y que advirtieron que la sección sur de la falla de San Andrés está "cargada y lista" para provocar un gran temblor. Además, un estudio realizado por la Universidad de Hawái señaló que la falla de San Andrés se está moviendo verticalmente.

Según la investigación, publicada en la revista *Nature Geoscience*, se trata de un movimiento constante y a gran escala, aunque muy sutil, de tan solo unos 2 milímetros al año. Lo interesante de dicho informe es que es la primera vez que se han podido detectar movimientos verticales.

La sección sur

La falla de San Andrés, que recorre California de norte a sur a lo largo de 1300 kilómetros y que delimita la placa norteamericana de la placa del Pacífico, es una de las más estudiadas del planeta, ya que, en su práctica totalidad, se encuentra sobre la superficie terrestre.

Fue la causante del devastador terremoto de 7,8 grados que destruyó gran parte de San Francisco en 1906, provocando la muerte de más de 3000 personas.

La que más preocupa a los científicos es la sección sur de la falla, en la que no se ha producido un sismo en cerca de 300 años, pese a que los registros geológicos indican que es la causante de un gran terremoto con una periodicidad de unos 150 años.

Los cálculos más conservadores apuntan a que, de producirse un temblor de magnitud 7,8 en la escala de Richter en esa sección —que tendría un impacto directo en Los Ángeles, la segunda ciudad más poblada de EE. UU.— cerca de 2000 personas morirían y habría más de 50.000 heridos. Los daños materiales superarían los US\$200.000 millones.

Un gran impacto

Jennifer Andrews, sismóloga del Instituto de Tecnología de California (Caltech), señala que "en el pasado los terremotos en California tuvieron un impacto limitado porque la densidad de población de ese territorio era muy baja. Hoy en día, las cosas serían muy diferentes ya que en zonas como el sur de California viven millones de personas".

Además, Andrews señala que en el sur de California hay más de 300 fallas y existe el temor de que un gran terremoto en la falla San Andrés haga que estas también se quiebren. Los

últimos grandes sismos que sacudieron California fueron el de Northridge (6,7 grados), en 1994, que dejó 57 muertos en el área de Los Ángeles, y el de Loma Prieta (6,9 grados), que se cobró la vida de 67 personas en San Francisco en 1989.

Sistema de alerta

El sistema —que hace años ya se instaló con éxito en países como Japón y México y que en California se enfrenta a la falta de inversión pública— consiste en una red de sensores que permitirá detectar el inicio de un temblor hasta con 40 segundos de antelación, lo que ayudará a alertar a las autoridades y a la población.

“Un sistema de alerta temprana sería muy útil. Se podrían detener los trenes para que no descarrilen y el tráfico de automóviles en los puentes. Se podría alertar a los hospitales. También ayudaría a que la gente se pudiera proteger, metiéndose debajo de un escritorio o, si hubiera tiempo suficiente, abandonando los edificios”, señala Peggy Hellweg, responsable de operaciones del Laboratorio Sismológico de Berkeley.

Según Hellweg, los sismólogos en California llevan a cabo sus investigaciones con pocos recursos y para que pudieran hacer bien su trabajo “se tendría que invertir mucho más dinero. Nuestros sistemas de alerta de terremotos deberían ser mejores”.

Fuente: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/05/150504_eeuu_california_falla_san_andres_pelicula_peligros_jg

OROGENIA

La **orogenia** es un proceso que conduce a la formación de relieves montañosos. Los procesos tectónicos asociados a bordes convergentes originan cinturones montañosos.

Las placas al colisionar proporcionan los materiales necesarios para armar el cinturón montañoso. Estos materiales se deforman debido a los esfuerzos generados a partir de la colisión. El resultado es un engrosamiento y acortamiento de la corteza, en donde rocas originadas al nivel del mar pueden terminar ubicadas a grandes alturas. Por ejemplo, la cordillera de los Andes o del Himalaya.

Ciclo de Wilson

El profesor John Tuzo Wilson fue un investigador que contribuyó a definir los conceptos de falla transformante y puntos calientes. También, identificó una serie de fases en la fragmentación de una placa continental. Al ciclo completo de apertura y cierre de una cuenca oceánica, se lo ha denominado **ciclo de Wilson** en honor a su contribución a la teoría de la Tectónica de Placas.

Apertura y cierre de una cuenca oceánica

A partir del ciclo de Wilson, se puede explicar la rotura de un supercontinente como Pangea.

Fase 1: todo comienza con la fragmentación continental a partir de un borde divergente. Ejemplo, rift de África. (1)

Fase 2: al continuar la separación de las placas, la hidrosfera también cambia, se forma una cuenca oceánica estrecha. Ejemplo, golfo de Adén. (2)

Fase 3: la divergencia continua forma un océano ancho y maduro. Ejemplo, océano Atlántico. (3)

Fase 4/5: luego, la cuenca oceánica se reduce debido a la formación de un borde convergente, las placas se acercan cada vez más. Ejemplo, océano Pacífico. (4/5)

Fase 6: la colisión de placas debido a la convergencia cierra la cuenca oceánica y se forma un cinturón montañoso. (6)

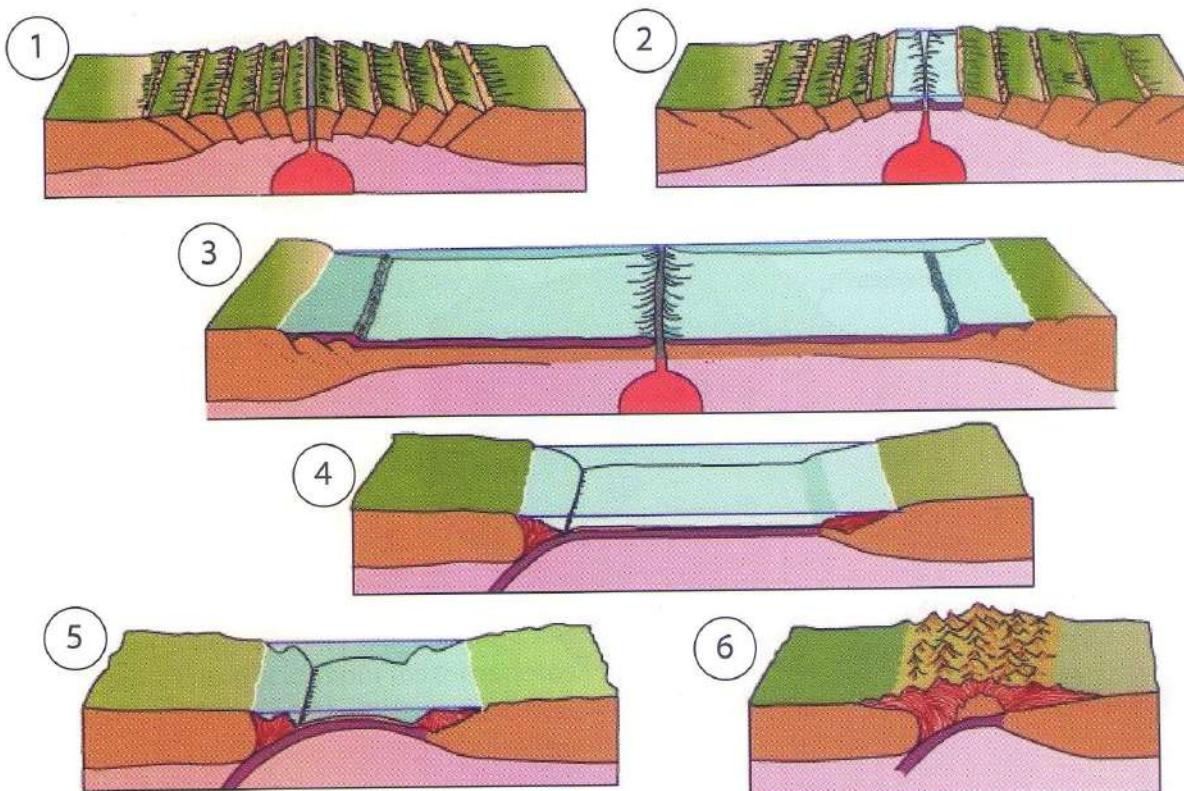


Figura 1.20 Fases del ciclo de Wilson

El ciclo de Wilson explica que, desde la apertura de la cuenca oceánica hasta su cierre definitivo, se producen cambios en las cuatro esferas terrestres: litósfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera.

A partir del ciclo de Wilson, se comprenden los cambios en los rasgos de la superficie terrestre producidos a lo largo del tiempo geológico, así como las variaciones de la biodiversidad que resultan de dichos cambios.

MANIFESTACIONES EXTERNAS DE LA DINÁMICA INTERNA PLANETARIA

En lo cotidiano, el movimiento de las placas tectónicas resulta imperceptible. Existen otros tipos de fenómenos naturales que no pasan desapercibidos para la mayoría de las personas, pero son consecuencia de ese movimiento. Los terremotos, las erupciones volcánicas y la deformación de las rocas de la corteza forman parte de la vida cotidiana de manera directa para una parte importante de la población mundial, debido a la percepción del fenómeno, o indirectamente para otra parte, que solo se entera por las noticias. Todos estos eventos naturales son manifestaciones externas relacionadas con la dinámica interna planetaria.

Terremotos

Nuestro planeta, como ya se mencionó, es dinámico; las placas tectónicas cambian día a día por la acción de las fuerzas tectónicas.

Los terremotos son fenómenos naturales que ocurren con mayor frecuencia a lo largo de los bordes de placas, los de mayor intensidad están relacionados con los convergentes y transformantes.

En los bordes de las placas litosféricas, las rocas se deforman debido a los esfuerzos tectónicos acumulados. Bajo estas condiciones, las rocas van almacenando energía elástica. Cuando dicha energía se libera muy rápido, se produce el terremoto y como resultado se mueve el terreno.

Las ondas sísmicas se generan a partir del sismo. El **foco** o **hipocentro** es el lugar donde se produce el terremoto. El **epicentro** es un punto sobre la superficie terrestre ubicado arriba del foco.

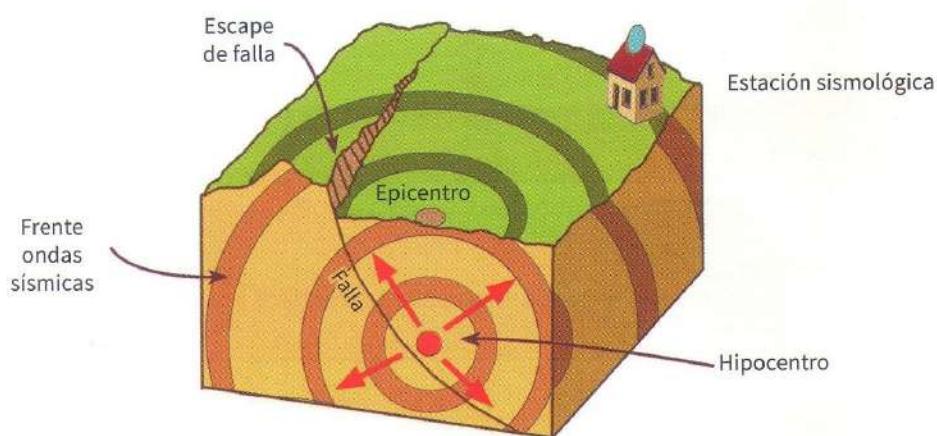


Figura 1.21 Falla, hipocentro, epicentro y ondas sísmicas

Según la ubicación del foco, a los terremotos se los clasifica en: superficiales, intermedios y profundos.

Los terremotos de foco superficial se producen entre los 7 y 69 km. Son característicos de los límites divergentes y transformantes.

Los focos de los terremotos generados entre los 70 y 300 km son intermedios y, profundos cuando ocurren entre los 301 y 600 km. Estos dos últimos son característicos de los límites convergentes.

En un año, se producen más de un millón y medio de terremotos. Las estaciones sísmicas recogen los datos en tiempo real de los sismos ocurridos. En estas estaciones, computadoras de última generación analizan los datos obtenidos sobre la profundidad del sismo, la magnitud y el lugar de ocurrencia.

Las estaciones sísmicas forman parte de una red sísmica de monitoreo global donde se elaboran mapas regionales de detección de terremotos.

Los sismos también proporcionan información acerca de las características del interior terrestre y de su constitución.

Las ondas sísmicas generadas a partir de un sismo pueden dividirse: en ondas de cuerpo y en ondas superficiales.

Las **ondas de cuerpo** atraviesan el globo terrestre y dan indicaciones insustituibles sobre su constitución. Se dividen en varios tipos siendo las dos más importantes las **ondas P** u **ondas primarias**

y **ondas S u ondas secundarias**. Viajan de distinta manera en el interior terrestre y su velocidad de propagación varía de acuerdo con los materiales que atraviesa. Las ondas P son más rápidas que las S y, por lo tanto, son las primeras que los sismógrafos registran.

Las ondas de superficie, como su nombre lo indica, viajan por la parte externa de la Tierra y son las responsables de la mayor destrucción generada por los sismos.

Se utilizan distintas escalas de medición para describir las dimensiones del sismo. La **escala de Mercalli** mide intensidades sísmicas, cuenta con 12 niveles, cada uno se relaciona con los fenómenos observados durante el terremoto y sus consecuencias. La **escala de Richter** es una escala numérica, mide la magnitud del sismo y expresa la cantidad relativa de energía liberada por un terremoto. La **escala de magnitud de momento** mide la energía liberada en el terremoto y se usa para comparar sismos o registrar grandes terremotos.

Según el Servicio Geológico de Estados Unidos, un sismo de magnitud 7, en la escala de Richter, podría liberar una energía de 31.800.000 toneladas de TNT (trinitrotolueno).

La destructividad de los terremotos depende de por lo menos tres factores: la magnitud del sismo, la distancia del terremoto a un centro poblado; y, la distribución y tamaño de las poblaciones perjudicadas y su desarrollo económico.

Los fenómenos naturales o efectos secundarios asociados a los sismos son: los tsunamis, olas gigantes producidas por los terremotos en zonas costeras, también llamados maremotos; la licuefacción o hundimiento del terreno y los deslizamientos de rocas. Todos ellos solo tienen carácter local.

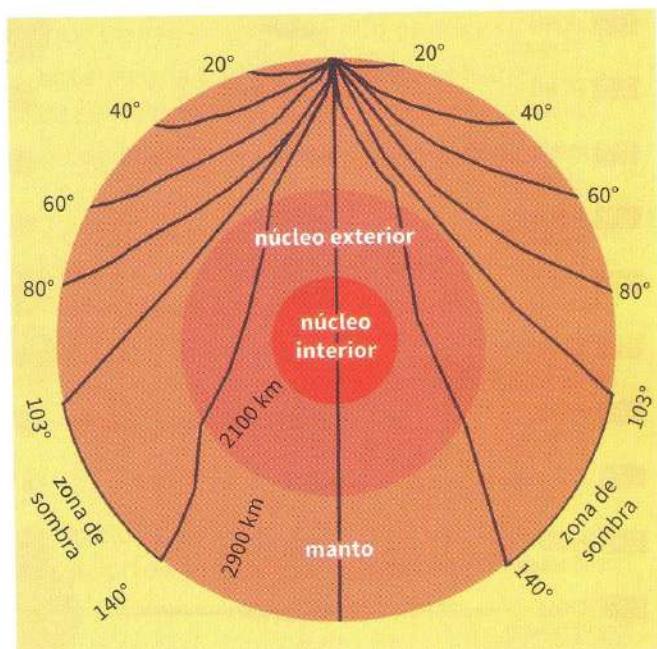


Figura 1.22 Trayectorias posibles de las ondas S y P en el interior terrestre a partir de un foco. En las zonas de sombra, solo se reciben ondas superficiales



Figura 1.23 Daños ocasionados por el terremoto en China en mayo de 2008, cuya magnitud fue de 8,2



Figura 1.24 Edificio destruido por el terremoto de magnitud 8,2 en la escala de Richter, ocurrido en febrero de 2010 en Chile

En la figura 1.25, se observan algunos de los países en riesgo sísmico en América del Sur. El tamaño de los círculos indica los daños producidos en vidas humanas.

Los grandes terremotos de Sudamérica occidental desde 1900

Desde principios del siglo XX los grandes sismos (de magnitud mayor a 8 en la escala de Richter) ocurridos por el choque de la activa placa de Nazca y Sudamericana, han destruido ciudades y provocado más de once mil fallecidos.

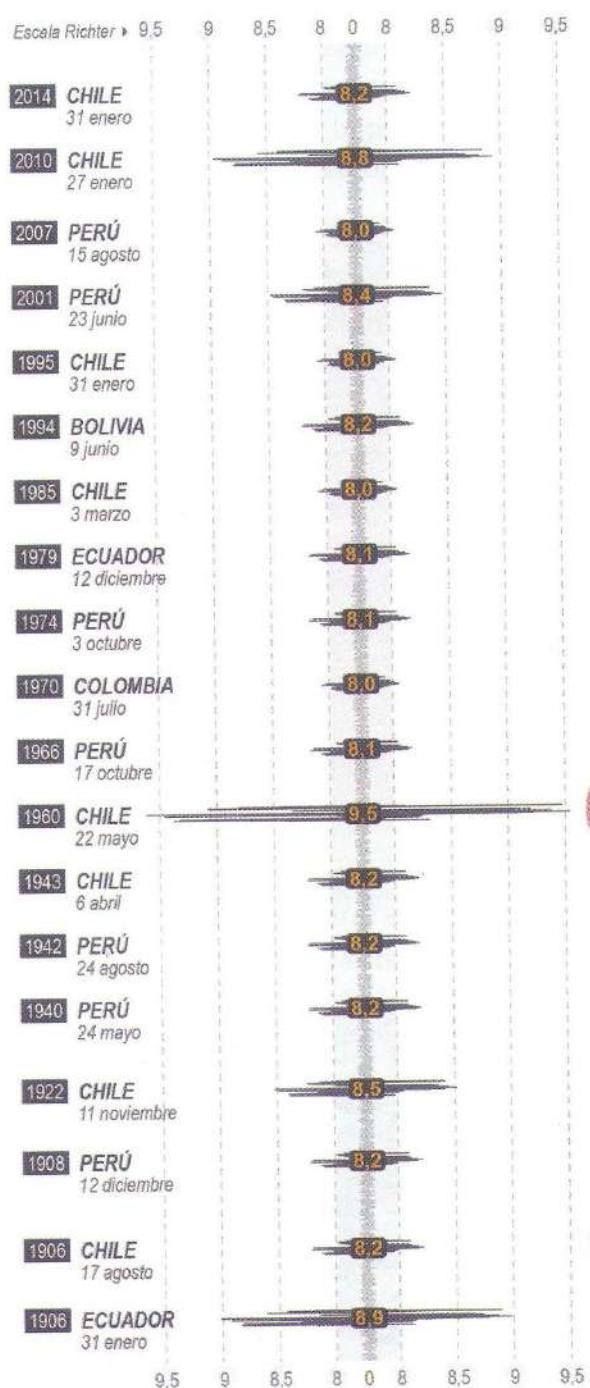


Figura 1.25 Grandes terremotos sudamericanos



Lectura

Tras el secreto submarino de los terremotos

David Shukman

BBC, Ciencia y Medio Ambiente; Sábado, 7 de mayo de 2011

Un equipo de científicos del Reino Unido realiza una expedición en una de las zonas más intrigantes del llamado Anillo de Fuego, el enorme cinturón de intensa actividad sísmica que abarca las costas del océano Pacífico. Su objetivo: entender mejor las causas de los terremotos. Los investigadores planean estudiar durante un mes la fosa de Tonga, en el lecho del Pacífico Sur, una de las fallas más activas del mundo.

Allí, la placa tectónica del Pacífico se ha estado metiendo por debajo de la placa indo-australiana, en un proceso conocido como subducción y que ocurre en todo el Anillo de Fuego.

Sin embargo, en esa zona del lecho marino, se observa una particularidad: los volcanes están siendo arrastrados dentro de la falla, como si esta se los tragara.

Analizando la fosa de Tonga, los científicos británicos intentan descubrir si hay un vínculo entre las montañas submarinas y los terremotos.

Los volcanes bajo estudio se encuentran en la cordillera submarina Louisville, una cadena montañosa en lecho marino de más de 4000 kilómetros de longitud, y los expertos creen que actúan como freno sobre la placa del Pacífico, demorando una ruptura, o bien intensificando los sismos consecuentes.

En general, la isla de Tonga es sacudida con frecuencia por sismos. El más reciente ocurrió en marzo en mar abierto y tuvo una magnitud de 6,4 en la escala Richter.

En 3D

Este estudio, financiado por el Consejo de Investigación del Ambiente Natural del Reino Unido (NERC, por sus siglas en inglés), involucra la realización de sondeos y desarrollo de modelos en tercera dimensión en siete trayectos de la región.

Uno de los investigadores líderes de la expedición, el profesor Tony Watts, de la Universidad de Oxford, le explicó a la BBC: "Queremos saber si las montañas submarinas que están en activa subducción están deteniendo los terremotos o los están causando".

Efecto de retraso

Un estudio reciente de un terremoto en Perú en 2001 mostró que las montañas submarinas podrían haber detenido el sismo por 40 segundos antes de la ruptura.

Otra investigación, esta vez del sismo en Nankaido (Japón) en 1946 pudo captar de forma exitosa una montaña en el océano que había sido arrastrada diez kilómetros de profundidad y aparentemente limitó la magnitud de la ruptura y el riesgo de un tsunami.

Según Watts, se requieren más datos sobre la estructura profunda de la fosa de Tonga para entender las fuerzas que están en juego. "Necesitamos saber si las montañas submarinas están más o menos intactas cuando son arrastradas a la fosa, o se han dañado o decapitado. Si descubrimos que hay un vínculo entre esa montaña y los terremotos, el escaneado de imagen del lecho marino nos pondrá en una mejor posición para entender los futuros sismos y tsunamis".

Fuente: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/05/110426_estudio_anillo_fuego_sao.shtml?print=1

DEFORMACIÓN DE LAS ROCAS

Las rocas de la corteza terrestre se deforman debido al constante movimiento de las placas a lo largo del tiempo geológico.

El término **deformación** se refiere a los cambios de forma o de apariencia que pueden afectar a las rocas de la litósfera.

Los esfuerzos o fuerza aplicada por unidad de área son los que actúan en las rocas deformándolas. Hay tres tipos de deformación: **elástica, plástica y de ruptura**.

Las rocas que se deforman elásticamente ante un esfuerzo, retoman su forma y tamaño original cuando este cesa.

Las rocas que se deforman plásticamente forman pliegues, al igual que los estratos horizontales al aplicarles un esfuerzo de compresión. Si la deformación arquea a las rocas hacia abajo, en una estructura en forma de surco o cubeta, se llaman **pliegues sinclinales**. Si los estratos están deformados en una estructura abovedada, se denominan **pliegues anticlinales**.

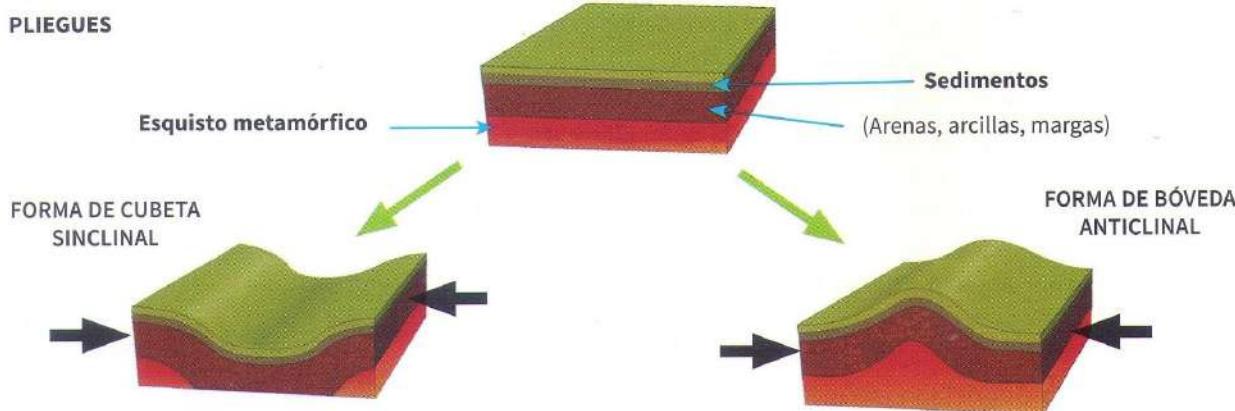


Figura 1.26 Pliegues sinclinales y anticlinales formados por compresión

Vocabulario



• Pliegues sinclinales o anticlinales

Son deformaciones que sufren los materiales terrestres que, en su origen, eran planos. Los pliegues sinclinales son cóncavos y las rocas más jóvenes están situadas en el núcleo del pliegue. A su vez, los anticlinales son convexos y las rocas más antiguas se encuentran en el núcleo del pliegue.



Figura 1.27 Pliegues anticlinales y sinclinales. Los esfuerzos que deformaron estas rocas responden a orogenias ocurridas hace 300 millones de años

Fallas

Cuando los esfuerzos tectónicos aplicados a las rocas sobrepasan la deformación plástica, las rocas ceden ante los esfuerzos aplicados y se rompen. La falla es el resultado de la ruptura de la roca. Las tensiones sobre las rocas producen su ruptura o fracturación, y el desplazamiento relativo de las partes involucradas.

En la figura 1.28, se observan los distintos tipos de fallas resultantes de los diferentes esfuerzos aplicados (ver las flechas en la figura). Las partes separadas de las fallas se llaman **bloques**.

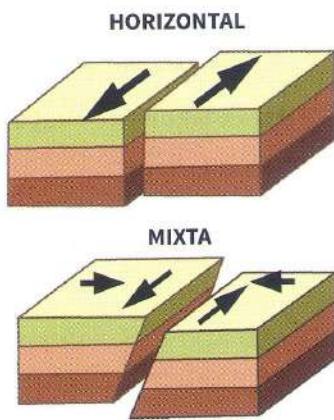
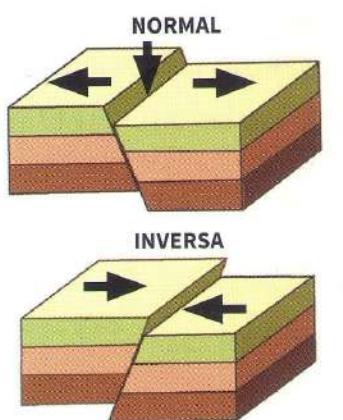


Figura 1.28 Distintos tipos de fallas

Figura 1.29 Falla inversa. Observar el desplazamiento de las rocas a ambos lados de la línea de falla

Vulcanismo

El Cinturón de Fuego es una cadena de volcanes de roca de composición andesítica. Los volcanes se disponen formando arcos montañosos continentales o insulares alrededor de la cuenca del océano Pacífico.

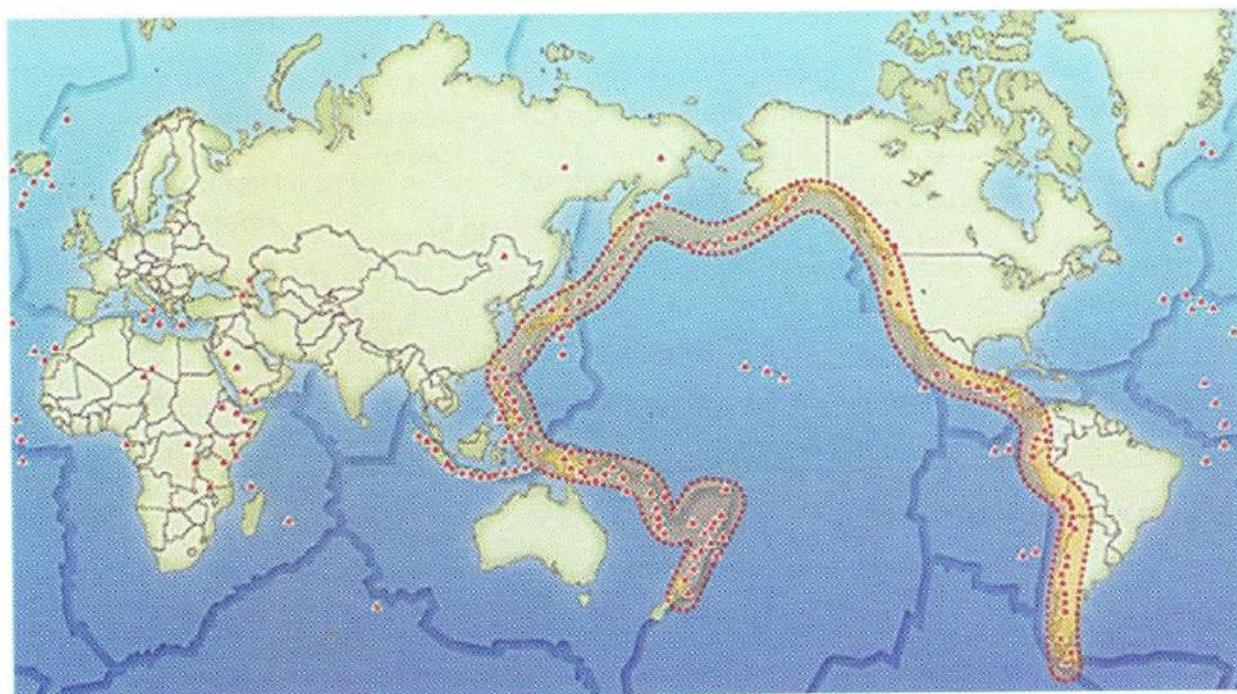


Figura 1.30 El mapa indica la distribución de volcanes en el área del océano Pacífico

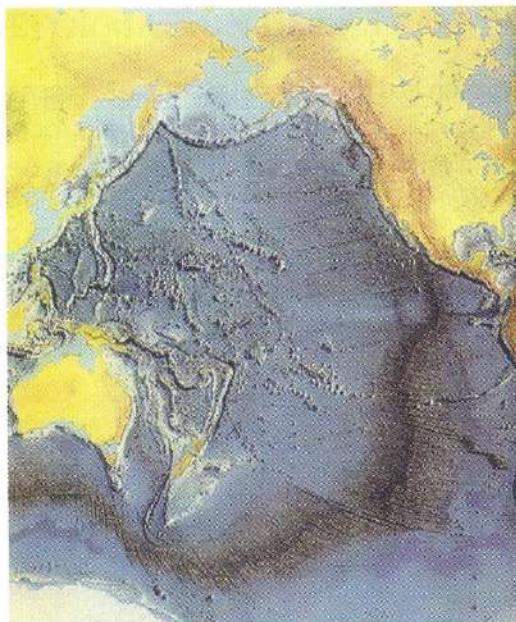


Figura 1.31 Cinturón de Fuego

Punto caliente o pluma de manto

Es un centro de actividad volcánica permanente situado debajo de una placa litosférica. Se forma cuando una columna de material caliente del manto, originada alrededor de los 700 km de profundidad, asciende verticalmente y genera el volcán, en forma de escudo.

El volcán resultará activo mientras permanezca sobre el punto caliente. A medida que la placa se desplaza, se forma una cadena de volcanes, en donde el más antiguo es también el más alejado del punto caliente.

En el siguiente mapa, se observan las distintas islas de Hawái y sus edades en millones de años. El volcán Kilauea, en plena actividad, se encuentra actualmente situado sobre el punto caliente.

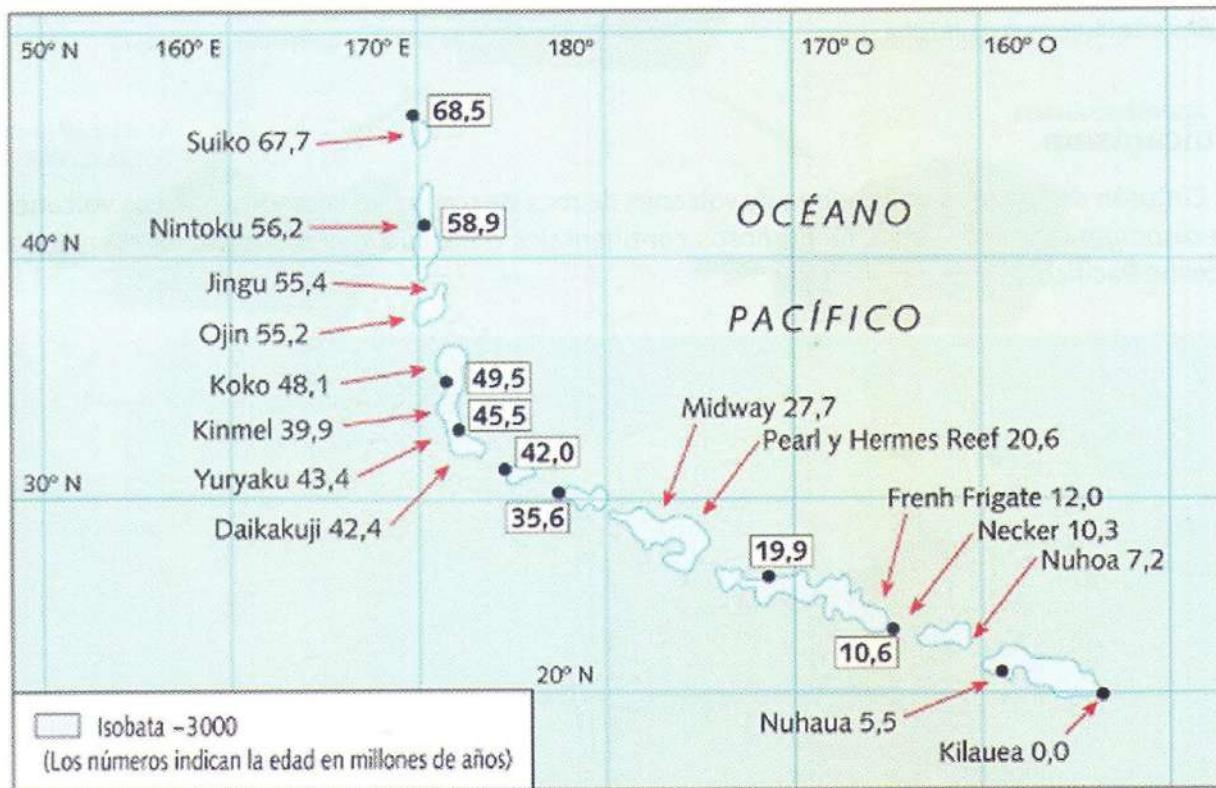


Figura 1.32 Mapa de islas de Hawái



Actividades

1 En la Web, analicen los siguientes videos:

Fosa de las Marianas. En este video, podrán observar el punto más profundo de la Tierra, el campo magnético terrestre y, los bordes de placas divergentes y convergentes: <https://www.youtube.com/watch?v=hy-l7sTU5Pw>

Grandes volcanes del mundo. En este video, se presentan una serie de volcanes llamados super volcanes y los peligros asociados con su erupción: <https://youtu.be/l5XkoyjVggo>

Paisajes submarinos: la dorsal oceánica. En este video, se observa cómo se vería el fondo oceánico si se vaciara el océano:

http://www.dailymotion.com/video/xyvskw_paisajes-submarinos-la-dorsal-oceanica-drenar-el-mar_school

Los tsunamis olas gigantes. En este video, podrán observar los maremotos recientes y qué hacen los científicos para estudiar estas olas gigantes para prevenir este tipo de desastres: https://youtu.be/SU_QrpW6mD0

2 **La teoría de la Tectónica de Placas**

- Determinar en qué placa se encuentra el continente sudamericano.
- Identificar los bordes o límites de la placa de Cocos.
- ¿Cuáles son las placas litosféricas que limitan con la placa sudafricana?
- ¿En qué placa se encuentra la isla de Cuba?

3 **Ciclo de Wilson**

Los montes Apalaches están ubicados en el sector oriental de Estados Unidos. Con la ayuda de este video, resuelvan cuál es la fase de Wilson que determinó su formación: https://youtu.be/OFqhwKVc_ao

4 **Terremotos**

El INPRES (<http://www.inpres.gov.ar>) es el Instituto Nacional de Prevención Sísmica de Argentina, en su página web, se puede acceder a toda la información sísmica de Argentina. Les proponemos investigar:

- ¿Qué se puede observar en el mapa de sismicidad de Argentina? Justifiquen la respuesta.
- Mencionen por lo menos dos provincias de Argentina en donde se encuentran estaciones sismológicas.

¿Sabías qué...?

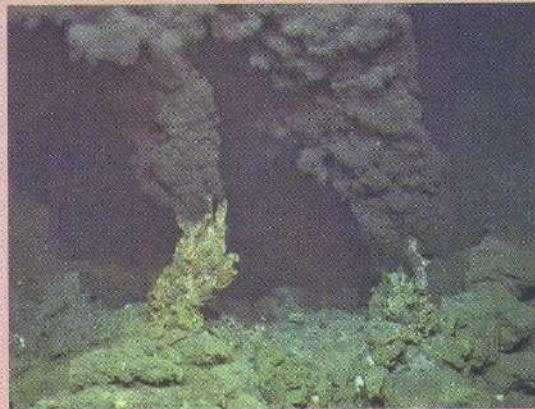


Chimeneas hidrotermales en el fondo oceánico

Sabían que en las cercanías de las dorsales centro oceánicas existen unas chimeneas de hasta 60 metros de alto, ubicadas a más de 4000 metros de profundidad, conocidas como **chimeneas hidrotermales** o **fumarolas negras**.

Lo que sale por ellas es un fluido caliente de agua oceánica (a más de 300 °C) que se calentó por los procesos volcánicos asociados al entorno submarino. El agua está cargada de azufre, hidrógeno, manganeso y otros metales.

Alrededor de las chimeneas, existen más de 400 formas de vida adaptadas a condiciones extremas de calor de gases tóxicos, es un ecosistema exclusivo de este entorno.

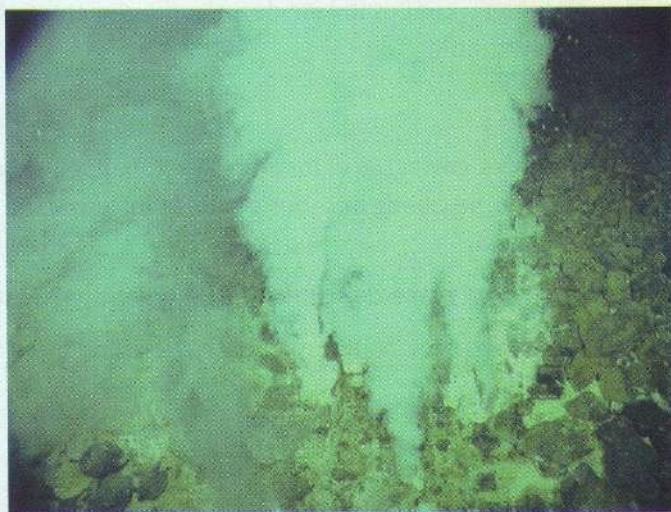


Chimeneas hidrotermales en el fondo oceánico



Ver, oír y pensar

Para saber más sobre el tema de las chimeneas hidrotermales, pueden ver un video en el siguiente enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=sa98Ui1DcCI>



Fumarolas hidrotermales en la Antártida, sumidas a una oscuridad eterna

Terremotos: Cuando tiembla la tierra

El terremoto, un fenómeno natural capaz de sacudir la Tierra 10.000 veces más violentamente que la bomba de Hiroshima, es aún en gran parte impredecible. Más de 500.000 movimientos sísmicos tienen lugar cada año, aunque el planeta solo es sacudido por un temblor grave cada 5 o 10 años.



Origen de un terremoto

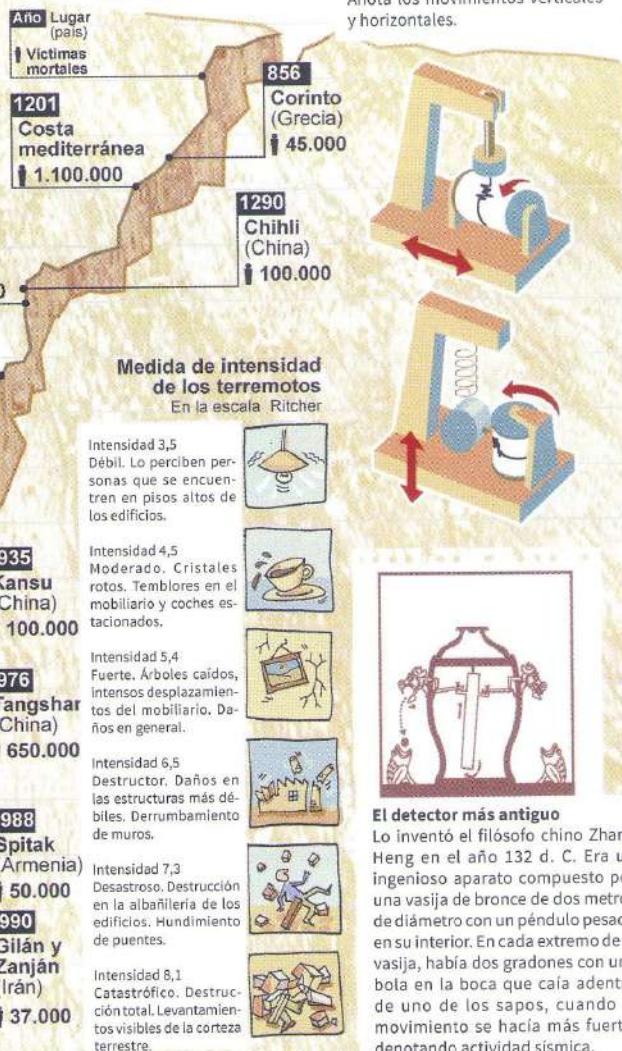
Las fallas

El frotamiento entre dos placas tectónicas a lo largo de una falla impide que inicialmente se deslicen en direcciones opuestas.



El pasado mes de agosto la tierra volvió a rugir en Turquía. Casi una decena de ciudades se vieron afectadas por uno de los más devastadores sismos de la historia de ese país, que alcanzó una magnitud de 6,7 grados en la escala de Richter. 45 segundos fueron suficientes para arrasar la zona central y noroeste del país. Hubo 15.000 muertos y cientos de miles de damnificados. Las carreteras se resquebrajaron, los puentes y los edificios se hundieron y la gente salió a la calle aterrorizada, por si volvía a suceder.

Los peores de la historia



El movimiento de las placas continentales

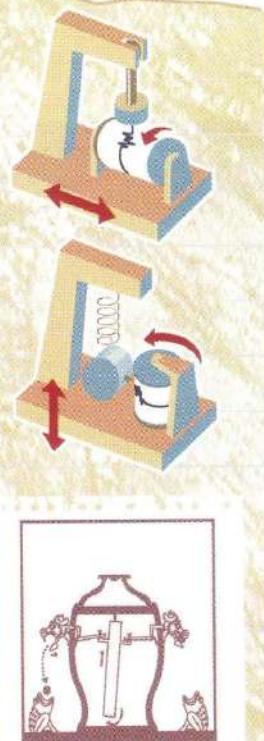
La corteza terrestre es un vasto rompecabezas de placas tectónicas móviles. La fuerza motriz de estas placas tiene su origen en las profundidades de la Tierra. Cuando las placas chocan unas contra otras en su viaje a través del globo, el movimiento se deja sentir en la superficie. Las fallas sísmicas son la línea donde se unen dos placas.



Los aparatos de detección

El sismógrafo

Actualmente, los temblores de la Tierra se miden con un sismógrafo, que consiste en una masa suspendida de gran peso. Lleva sujetado un bolígrafo que registra, en una superficie que da vueltas, el trazo causado por el temblor. Anota los movimientos verticales y horizontales.



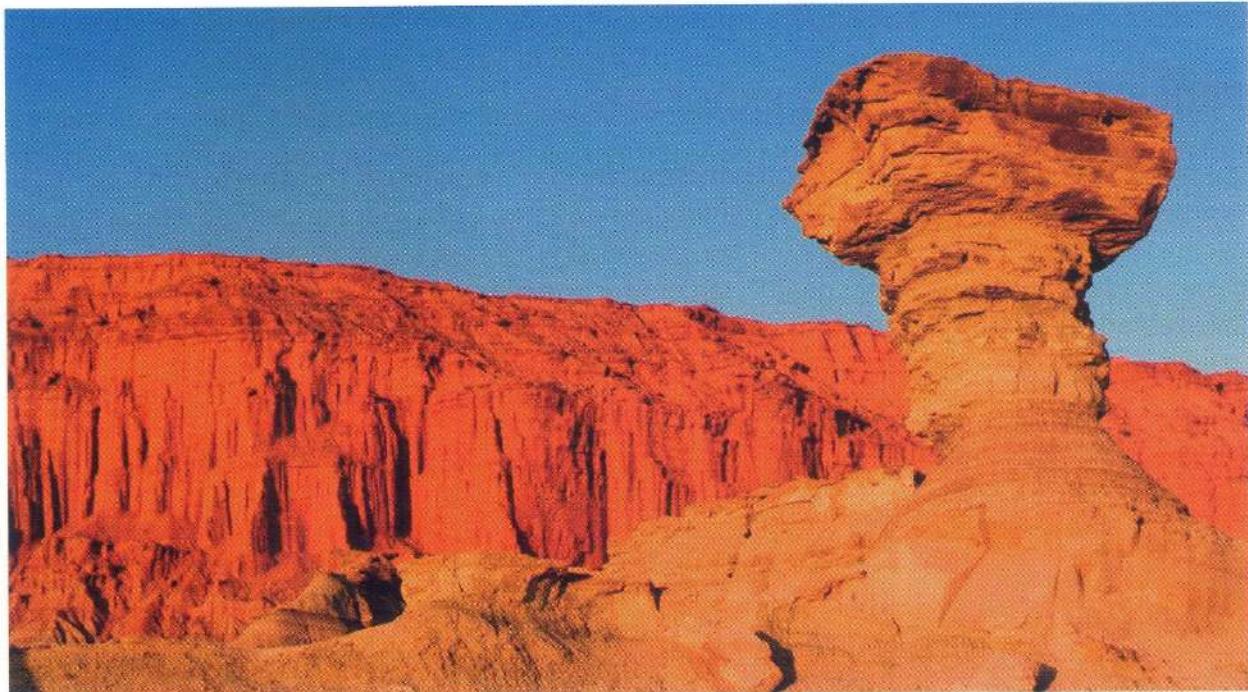
El detector más antiguo
Lo inventó el filósofo chino Zhang Heng en el año 132 d. C. Era un ingenioso aparato compuesto por una vasija de bronce de dos metros de diámetro con un péndulo pesado en su interior. En cada extremo de la vasija, había dos gradones con una bola en la boca que caía adentro de uno de los sapos, cuando el movimiento se hacia más fuerte, denotando actividad sísmica.

Figura 1.33 Infografía sobre cómo se origina un terremoto, cómo se detectan y cuáles fueron los peores de la historia

CAPÍTULO

2

El paisaje geológico



EL PAISAJE

La Tierra es un planeta vivo, pero no como las plantas o animales, que se alimentan y reproducen, sino porque está en estado de actividad constante, tanto en forma externa como interna; y, por eso mismo, evoluciona. Lo primero que nos conecta con estos procesos es el paisaje, ese que vemos a través de la ventana (si no vivimos en una gran ciudad) o cuando damos un paseo o vamos de vacaciones. La playa o las sierras... ¿siempre estuvieron allí?, ¿siempre fueron así? La respuesta es “no”. Los procesos geológicos son el factor dominante en la evolución de las formas del relieve. Desde el enfoque geológico, “paisaje” es un concepto más amplio que el de una imagen agradable del terreno: las rocas que forman las montes y cordilleras, llanuras y también los fondos marinos, han sido modeladas por las fuerzas exógenas (o externas) y endógenas (o internas) del planeta. El paisaje está compuesto por **geoformas** (o las formas que constituyen el relieve) que resultan de una serie de procesos combinados y desarrollados a través del tiempo. Y toda esa historia está contada allí y congelada ante nuestros ojos.

Desde antaño, se suele imaginar al planeta compuesto por esferas o ámbitos. Así, la capa fluida está representada por la **hidrósfera** (de *hydro*, agua) e incluye toda el agua dulce, salobre y salada, en

todos sus estados, comprendida en océanos, mares y lagos, ríos, aguas subterráneas, glaciares, y vapor de agua. La **atmósfera**, (de *atmós*, vapor) que es la capa gaseosa y más liviana que envuelve al planeta, rica en nitrógeno y oxígeno, interacciona con la **litosfera** (de *litos*, piedra), que es la capa sólida y más rígida de la Tierra contando la **corteza** e incluso la parte superior del **manto**, lo que genera el paisaje. A veces, la **biósfera** (de *bios*, vida) o conjunto de seres vivos, también hace su aporte, pero en menor medida.

Entonces, saber interpretar, en forma objetiva, el paisaje a través de sus materiales, de sus formas naturales y de los agentes de energía (eólica, fluvial o marina) que circulan o circularon por ellos a través del tiempo; nos sirve no solo para comprender muchos de los fenómenos naturales, sino también predecir qué ventajas o desventajas produce la intervención del hombre sobre ellos.

Ahora veamos cómo y sobre qué materiales se labran estas geoformas.

PROCESOS ENDÓGENOS Y EXÓGENOS

Los principales procesos exógenos son la **meteorización**, la **erosión**, el **transporte** y finalmente, la **sedimentación** o depositación de los materiales naturales. Estos procesos actúan a través de sus agentes naturales: agua, hielo, aire, viento, gravedad y, a veces, también, a través de la actividad desarrollada por distintas formas de vida, tal como ocurre con raíces de plantas, bacterias y pequeños invertebrados. El resultado combinado de todas estas acciones genera las **rocas sedimentarias**.

Los principales modeladores endógenos, como hemos visto en el capítulo anterior son la **tectónica** (tectonismo), el **magmatismo** y el **vulcanismo** y, por consiguiente, la actividad sísmica y todos los procesos geológicos internos en la corteza terrestre. Los procesos endógenos combinados generan tanto las **rocas ígneas** como las **rocas metamórficas**.

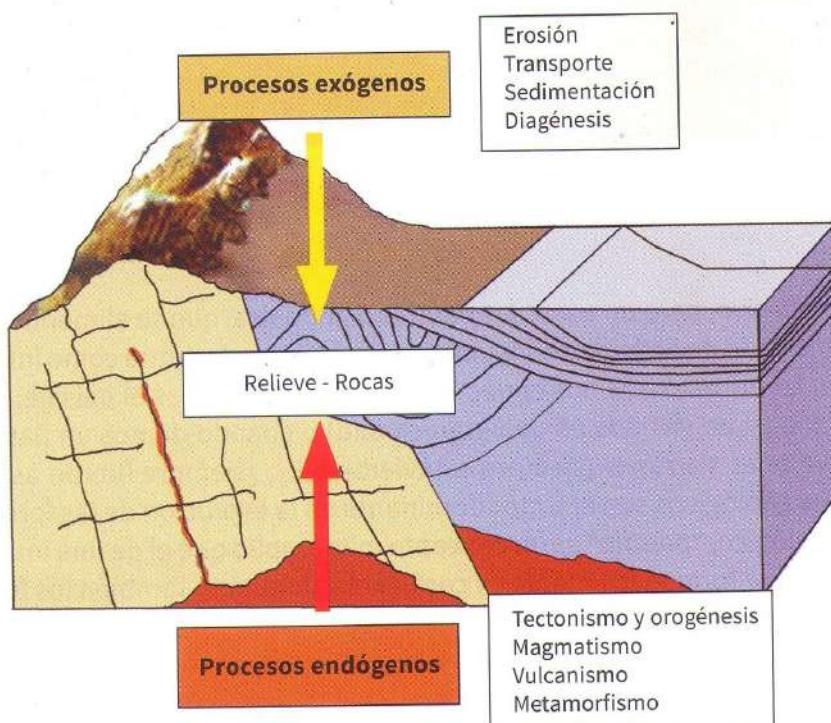


Figura 2.1 Procesos endógenos y exógenos

¿CUÁL ES LA DIFERENCIA ENTRE PIEDRA, ROCA Y MINERAL?

La palabra **piedra** es polisémica, es decir, tiene muchos significados y, por lo general, con sentido difuso: los joyeros hablan de piedras preciosas, los arquitectos de piedras ornamentales o, en los textos literarios, es frecuente encontrar la metáfora –tomada a su vez de la albañilería– piedra fundacional o angular para referirse a una idea original o principal. Pero los geólogos necesitamos una definición más concreta y objetiva, que también nos resulte útil para separar y catalogar los materiales que conforman la corteza terrestre. Para ello, recurrimos a las clasificaciones. Si bien todas ellas son arbitrarias, nos permiten tener criterios universales para referirnos a los materiales bajo estudio.

Definimos como **mineral** a un **sólido natural** y homogéneo, formado por procesos **inorgánicos**, con **composición química definida** y estructura **atómica ordenada**. Como ejemplos, podemos mencionar al diamante, grafito, calcita, malaquita o galena.

En cambio, definimos a la **roca** como una **asociación de minerales**. Pero no cualquier mineral sino aquellos genéticamente vinculados, es decir, que nacieron juntos o casi juntos. Porque esos minerales son el resultado de un proceso geológico definido y particular dentro de los ya mencionados procesos endógenos o exógenos. Así, el granito o el mármol provienen de procesos endógenos y, las areniscas y calizas de procesos exógenos. Más adelante, podrán observar la serie de Bowen que nos muestra cuáles son los minerales asociados que podemos encontrar **siempre** en un granito o en un gabro.

LOS MINERALES

Los mineraloides

Un mineraloide es un cuerpo sólido amorfó, natural, inorgánico que no posee cristalinidad.

Puede tener la apariencia externa de un mineral, pero no tiene la estructura atómica ordenada necesaria para cumplir con la definición de un mineral.

Aunque a veces se suele llamar minerales al agua y al petróleo, los líquidos no califican como tales según lo definido. Tal vez se los denomine así por el interés económico que representan y porque tanto su origen como la ubicación de sus rocas reservorios están vinculados a procesos geológicos.

Tampoco califican como minerales las sustancias de origen orgánico, como el carbón o el lignito, o el ámbar, el azabache y las perlas en joyería, ni los vidrios como el ópalo o la obsidiana ya que no tienen una estructura ordenada.

Los vidrios naturales —no aquellos que el hombre fabrica con arena para botellas o paneles de ventanas— son compuestos inorgánicos, en general, de composición silícea, pero que no alcanzaron a adquirir una estructura cristalina, como ocurre durante las erupciones volcánicas o durante eventos meteóricos.



Figura 2.2 La obsidiana, conocida como vidrio volcánico, es un tipo de roca ígnea

¿Sabías qué...?



Existen muchos vidrios naturales raros:

Cabellos y lágrimas de Pelé: en los mitos del Pacífico, Pelé es la diosa del fuego y se creía que las finas hebras o gotas de material silíceo (eyectado desde la caldera del volcán a la atmósfera donde se solidifican inmediatamente, dado el rápido cambio de presión y temperatura que sufren) pertenecía a la dama que vivía en los volcanes, particularmente en Hawái.

Obsidiana: tiene en su composición sílice y aluminosilicatos, como los otros minerales que forman las rocas volcánicas riolíticas, pero es un vidrio porque se enfrió rápido y no tuvo la oportunidad de desarrollar una estructura cristalina. Suele estar presente como un componente de las rocas volcánicas ácidas. Por su alta dureza, como todos los silicatos, y por su fractura concoide que permitía bordes filosos, fue una roca favorita para fabricar cuchillos y puntas de flecha por las poblaciones humanas primitivas.

Sideromelano: otro vidrio volcánico, pero de composición basáltica.

Hialoclastita: otro vidrio volcánico que se forma en erupciones bajo el agua.

Lechatellierita y moldavita: también son vidrios, pero asociados a la caídas de rayos sobre arenas (y la roca producida se llama **fulgurita**) o vinculadas al impacto producido por un meteorito sobre otras rocas de la superficie terrestre (donde la roca se llama **tectita**).

A su vez, estos vidrios naturales pueden ser sustancias completamente amorfas, sin ninguna estructura o bien, con una estructura incipiente y, entonces, se habla de **criptocristalinidad** (de cripta, *kryptós*, oculto, escondido). Esta cristalinidad embrionaria aparece en los vidrios cuando envejecen o se deshidratan permitiendo que sus átomos puedan ordenarse y emerger microcristales de minerales de la misma composición química, como el cuarzo.

La **composición química** de los minerales puede variar levemente, ya sea por un reemplazo de cationes, formando **series** de minerales como las plagioclásas, aluminosilicatos que reemplazan gradualmente en su estructura átomos de sodio por otros de calcio. También, puede ser por **impurezas** como la inclusión anormal de átomos de cromo y, a veces, vanadio, en el berilo común lo que lo convierte en la valiosa esmeralda. O bien puede ser por **alteración** como la limonita, un óxido hidratado de hierro, provocado por el agua meteórica sobre hematita y magnetita, los óxidos de hierro primarios de donde se extrae el hierro metálico para la industria.

En cada especie mineral, los aniones y cationes se disponen con una ordenación regular que les es propia y se llama **estructura cristalina**. Así, cada cristal de una especie mineral no solo expresa el orden interno (que los diferenciaba de otros sólidos amorfos), sino que presenta **anisotropía** de sus **propiedades físicas**. Esto significa que las propiedades físicas de un cristal no son las mismas en todas sus direcciones, por ejemplo, puede ser más resistente en una dirección que en otra), y por la existencia de **elementos de simetría** cristalina.

La **cristalográfia** es la ciencia que estudia la estructura interna, la forma externa y las leyes que guían el crecimiento de los materiales al cristalizarse, en este caso, el de los minerales, lo que permite explicar todas las formas naturales posibles en que se presentan los minerales.

Los átomos se disponen con una ordenación regular y tridimensional en el espacio según posibilidades limitadas (14 retículos de Bravais) dando lugar a los **7 sistemas cristalinos de simetría**.

Estos retículos que forman los **sistemas** se **diferencian** entre sí por el largo de sus **tres aristas** (denominadas **a, b y c** más **d** en el hexagonal y trigonal) y por los ángulos formados por esas aristas (denominados α, β, γ más δ para el hexagonal y trigonal).

Los sistemas cristalinos son:

Sistema cristalino	Ejes	Ángulos entre ejes
Cúbico	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Hexagonal	$a = b = d \neq c$	$\alpha = \beta = \delta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$
Trigonal (o romboédrico)	$a = b = d \neq c$	$\alpha = \beta = \delta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$ (o también $a = b = c \quad \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$)
Rómbico (u ortorrómbico)	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Monoclínico	$a \neq b \neq c \neq a$	$\alpha = \gamma = 90^\circ; \beta \neq 90^\circ$
Triclínico	$a \neq b \neq c \neq a$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma; \alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$

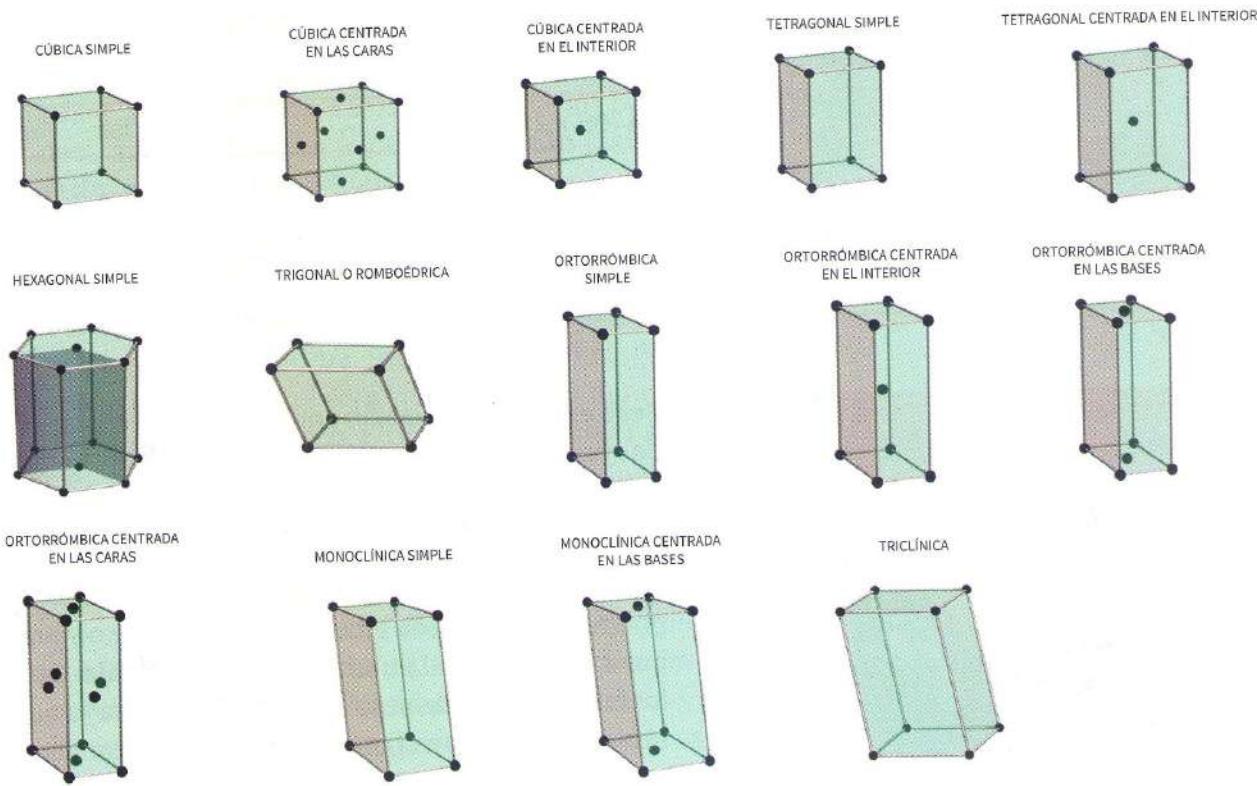


Figura 2.3 Sistemas cristalinos

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES

Las principales propiedades físicas de los minerales, definidas para un cristal, son:

- **Dureza:** resistencia del mineral a ser rayado. Se mide sobre la cara plana de un cristal y, para ello, se han elegido 10 minerales que conforman la escala de dureza relativa de Mohs. Es relativa porque aprecia qué minerales se rayan entre sí y la diferencia entre cada par de minerales puede ser de varios grados, no va de uno en uno. En **muestra de mano** (aquella que podemos encontrar caminando por el campo), se usan recursos comunes como la uña o un cuchillo para identificar la dureza por aproximación.

A continuación, presentamos la escala de Mohs:

Dureza relativa	Mineral	Fórmula química	Identificación	Dureza absoluta
1	talco	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	ensucia las manos	1
2	yeso	CaSO ₄ .2H ₂ O	se raya con la uña	3
3	calcita	CaCO ₃	—	9
4	fluorita	CaF ₂	—	21
5	apatita	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH,Cl,F)	se raya con un cuchillo o un vidrio	48
6	ortosa	Ca ₂ SiO ₅	se raya con vidrio o con cuarzo	72
7	cuarzo	SiO ₂	se raya con una punta de acero	100
8	topacio	Al ₂ SiO ₅ (OH-F) ₂	—	200
9	corindón	Al ₂ O ₃	raya a la mayoría de los metales	400
10	diamante	C	solo lo raya otro diamante	1500

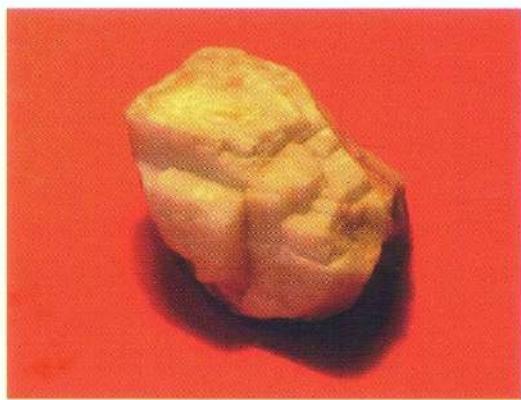


Figura 2.4 Calcita que muestra el clivaje perfecto en tres direcciones. Foto: Federico Agostinelli

► **Peso específico:** relación entre el peso del cristal y el del mismo volumen de agua (a 4 °C). También, llamado densidad relativa (no es lo mismo que densidad). Es un valor constante para cada especie mineral.

► **Clivaje** (también llamada **exfoliación**): el cristal puede romperse por una acción mecánica natural por caras planas, llamadas **planos de clivaje**. Este fenómeno depende de la estructura cristalina ya que el plano de clivaje es paralelo a los planos atómicos, especialmente aquellos que actúan como planos de debilidad estructural, dados por un débil enlace

atómico (uniones del tipo Van der Waals, por ejemplo) o por un gran espaciado reticular entre planos atómicos, o por la combinación de ambos. Así, una característica que define al cuarzo es que no tienen clivaje en ninguna dirección, mientras que en la calita es perfecta en las tres direcciones del espacio. La calidad del clivaje puede expresarse como perfecta, buena, regular, visible, etcétera.

➤ **Fractura:** es la manera en la que se rompe el cristal cuando no se cliva (en una dirección espacial distinta del plano donde se observa el clivaje). Podemos describir la fractura de un cristal como **concoide** (característica de los vidrios), plana o irregular. Por ejemplo, el feldespato potásico ortosa tiene clivaje perfecto en una dirección del espacio, imperfecto en otra y fractura irregular en la tercera.

La **partición** es un tipo especial de fractura (característica en la turmalina, por ejemplo) que no aparece en todos los cristales de la misma especie, sino solo en aquellos que han sufrido presión o que poseen maclas.

Propiedades que dependen de la luz

➤ **Brillo:** es el aspecto de la superficie natural (sin pulir) del mineral cuando refleja a la luz. Se los clasifica en **brillos metálicos** (galena, pirita, hematita espectral) y **no metálicos**. Estos, a su vez, se los puede describir como **vítreo** (cuarzo), **resinoso** (azufre), **sedoso** (yeso fibroso), **nacarado** (talco), **graso** (malaquita) o **adamantino** (como los minerales transparentes de plomo: cerusita y anglesita).

➤ **Color:** va a depender de qué longitudes de onda refleje y cuáles absorba. Si la luz no sufre ninguna absorción, el mineral será visto por el ojo humano como incoloro o blanco. En cambio, distintas especies se verán coloreadas según la combinación de longitudes de ondas que emitan y reflejen, y lleguen desde ellas al ojo. El color puede ser variable para algunas especies ya que depende de la variación en su composición química. Pero en otras es siempre constante y, por lo tanto, es una característica importante para su identificación. Estos minerales son llamados **idiocromáticos** (la malaquita siempre es verde y la rodocrosita siempre rosada). Otra característica útil para la identificación ya que solo ocurre

¿Sabías qué...?

Cuando dos o más cristales de la misma especie crecen juntos pero sobre ciertos planos particulares vinculados a las direcciones del retículo cristalino se dice que están **maclados**. Pueden crecer rotados 180° uno del otro como en la ortosa y en las plagioclásas o cruzados como en el microclino.

Cuando, en 1666, el monte Vesubio entró en erupción llovieron pequeñas cruces sobre la ciudad de Nápoles. Sus habitantes lo interpretaron como un milagro, pero en realidad era cristales de piroxeno maclados, propios de la erupción.



Estaurolita maclada. Foto: Federico Agostinelli

Vocabulario

Piroxenos

Grupo de minerales incluidos entre los inosilicatos o silicatos cadena. Su estructura atómica forma cadenas simples. Por ejemplo, hipersteno, augita.

¿Sabías qué...?

Cuando un mineral emite luz —y no es por incandescencia— se lo llama **luminiscencia**. Esto ocurre cuando el mineral tiene en su estructura iones extraños, —no los esperables en su fórmula química— que absorben la luz y la emiten luego con una onda más larga.

Los minerales que se vuelven luminiscentes al ser expuestos a los rayos UV, X o catódicos se llaman **fluorescentes**.

Si la luminiscencia continúa después de haber sido cortada la fuente de excitación lumínica se los llama **fosforescentes**.

Son fluorescentes la fluorita (de donde viene su nombre) la scheelita, algunas calcitas y halitas.



Fluorescencia. Foto: Mercedes Agostinelli



Figura 2.5 Halita. Foto: Federico Agostinelli

en ciertas especies es el **pleocroísmo**: el mineral muestra distintos colores en distintas direcciones de los ejes cristalográficos (como en la turmalina). Pero esta es una anisotropía solo visible a través de un microscopio.

➤ **Raya:** es el color del mineral molido muy finamente. Si bien los colores dentro de una especie mineral pueden variar dentro de una gama, la raya es siempre constante y característica. Como ejemplo, es siempre rojo oscuro en la hematita, aunque provenga de una terrosa de color castaño rojizo o de una especular de color gris.

Otras propiedades

Por un lado, podemos mencionar las propiedades **magnéticas** como el magnetismo natural que posee la magnetita y que se utilizó para fabricar las primeras brújulas con las que los antiguos navegantes pudieron lanzarse al mar abierto sin necesitar la vista de la costa. Por el otro, las **eléctricas** como la piezoelectricidad del cuarzo que se emplea en los actuales y precisos relojes de cuarzo, y también en los encendedores electrónicos.

MINERALOGÍA DESCRIPTIVA

Los mineralogistas han reconocido cerca de 5000 especies minerales, algunas de ellas muy raras y otras de gran importancia económica, abundantes o escasas en toda la corteza terrestre y algunos provenientes de zonas superiores del manto.

Ante tanta variedad, es necesario poner un poco de orden y recurrimos nuevamente a las clasificaciones. La mineralogía descriptiva los reúne sistemáticamente al utilizar su estructura y composición. Por lo tanto, nos permite una clasificación básica y práctica a través de sus propiedades físicas.

Por su composición química, los clasifica por su **anión** o grupo aniónico predominante, ya que les brinda semejanzas familiares marcadas.

Se los agrupa en:

➤ **Elementos nativos (estado de valencia 0):** oro, plata nativa, cobre nativo, azufre, diamante, grafito.

➤ **Haluros:** halita (sal de mesa), fluorita, atacamita.

- **Sulfuros:** blenda, galena, pirita, calcopirita, calcosina, covelina, bornita, pirrotina, marcasita, arsenopirita, molibdenita, estibina, bismutina, rejalar, oropimente.
- **Óxidos e hidróxidos:** hematita, magnetita, corindón, pirolusita, rutilo, casiterita, uraninita, cromita, bauxita, limonita.
- **Carbonatos:** calcita, siderita, rodocrosita, magnesita, aragonita, estroncianita, cerusita, dolomita, malaquita, azurita, smithsonita.
- **Nitratos y boratos:** nitro o salitre, bórax, boracita, ulexita.
- **Sulfatos y cromatos:** yeso, anhidrita, baritina, celestina, calcantita, alunita, crocoíta, epsomita, anglesita.
- **Wolframatos y molibdatos:** wolframita, scheelita, wulfenita.
- **Fosfatos, arseniatos y vanadatos:** apatita, turquesa, piromorfita, trifilita, ambligonita, monacita, vanadinita.
- **Silicatos:** cuarzo, plagioclásas (albita, anortita), feldespatos potásicos (ortosa, microclino), talco, serpentina, granates, olivinas, circón, topacio, sillimanita, andalucita, cianita, titanita, epidoto, berilo, cordierita, turmalina, caolinita, ceolitas.
- **Piroxenos:** hipersteno, diópsida, augita, espodumeno, jadeíta.
- **Anfíboles:** hornblenda, tremolita, riebeckita.
- **Micas:** moscovita, biotita, lepidolita.

Los silicatos representan el grupo más abundante en la corteza terrestre y son fundamentalmente los **minerales formadores de rocas**.



Figura 2.6 Distintas formas en las que se presenta una especie mineral: un cristal de feldespato potásico mostrando clivaje en dos direcciones (derecha) y fractura en la tercera dirección (superior). Asociación de cristales del mismo feldespato (inferior izquierda). Foto: Federico Agostinelli

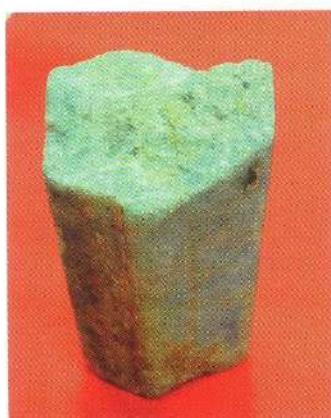


Figura 2.7 Berilo que muestra caras de crecimiento y fractura. Foto: Federico Agostinelli

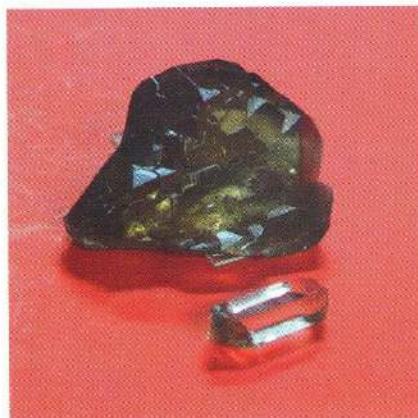


Figura 2.8 Variedades de cuarzo ahumado (superior) y hialino (inferior). Foto: Federico Agostinelli



Figura 2.9 Cristales de granate que muestran la forma del sistema cúbico de cristalización

LAS ROCAS Y SU CICLO

Las rocas están constituidas, como se ha dicho, por combinaciones restringidas de materiales homogéneos y casi siempre cristalinos, es decir, minerales o también de vidrios y minerales en conjunto.

Las rocas que están formadas por granos o cristales de varias especies mineralógicas (cuarzo, feldespatos, anfíboles, micas), como el granito, se las denomina **poliminerálicas**. Las rocas **monominerálicas**, por ejemplo, las calizas, están constituidas por granos o cristales de un mismo mineral, la calcita.

Las rocas suelen ser materiales duros como los granitos, los basaltos y los mármoles, pero también pueden ser blandas, como ocurre en el caso de las rocas arcillosas, arenosas o residuales como las calizas, arcilitas, areniscas, lateritas. A grandes rasgos, las **duras** son originadas por procesos ígneos o metamórficos mientras que las **blandas** corresponden a las sedimentarias. Pero veremos más adelante que no siempre es así: una roca sedimentaria puede tener una cementación muy importante, de sílice, por ejemplo, y comportarse como dura y una ígnea puede estar muy alterada por la meteorización y se puede romper con la presión de los dedos.

En la composición de una roca, pueden diferenciarse dos categorías de minerales:

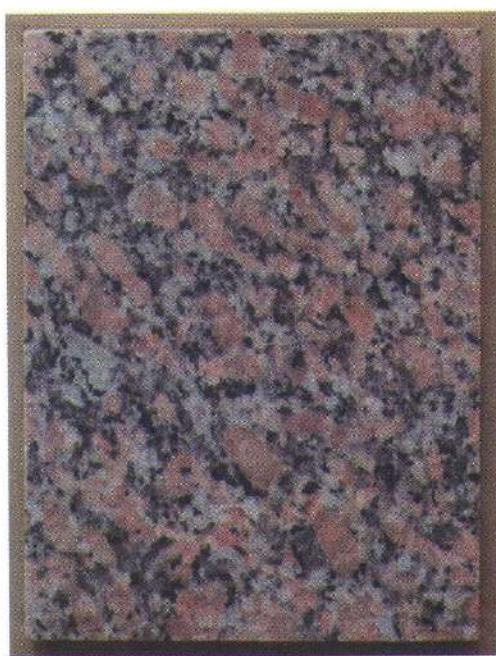


Figura 2.10 El granito está formado esencialmente por cuarzo, feldespato y mica

1. Minerales esenciales o minerales formadores de roca

Son los minerales que caracterizan la composición de una determinada roca, los más abundantes en ella. Por ejemplo, el granito siempre contiene cuarzo, feldespato y mica.

2. Minerales accesorios

Son minerales que aparecen en pequeña proporción, menos del 5% del volumen total de la roca y que, en algunos casos, pueden estar ausentes sin que cambien las características de la roca de la que forman parte. Por ejemplo, el granito puede contener zircón y apatito, o no, sin por ello dejar de clasificarse como granito.

La composición química de estos minerales y, por lo tanto, la mineralogía de la roca son testimonios o registros de los procesos que acaecieron en su origen, del ambiente de formación y de su ubicación en la corteza terrestre cuando esa génesis aconteció. Por eso mismo, cuando los geólogos estudiamos una muestra de roca, podemos hacer el camino inverso y reconstruir cómo era el lugar de donde provienen.

Entonces, para describir una roca, los geólogos generamos clasificaciones que nos resulten útiles para indicar y comprender esos procesos. A continuación, estudiaremos cómo se vinculan entre sí los dichos procesos.

La naturaleza es una notable recicladora de materiales y las rocas están sometidas a continuos cambios por las acciones de los agentes geológicos, según un ciclo cerrado, llamado ciclo litológico o **ciclo de las rocas**, en el cual intervienen incluso los seres vivos.

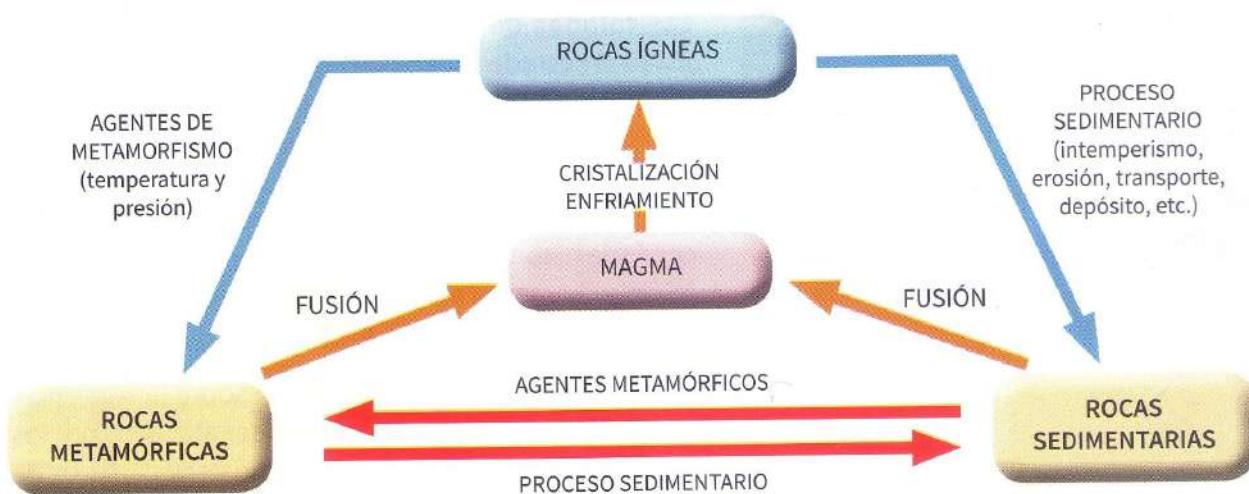


Figura 2.11 Ciclo de las rocas

Rocas ígneas

Un magma (del griego “pasta”) es una mezcla total o parcialmente fundida, compuesta principalmente de silicatos (con aluminio, hierro, calcio, potasio y agua), que coexisten en estado líquido, sólido y gaseoso. Se origina en la parte superior del manto y es móvil, ascendiendo dentro en la corteza terrestre (o de otros planetas) tanto en los bordes de las placas —en las dorsales oceánicas y en las zonas de subducción— como en puntos calientes **intraplaca**. Asciende tanto como la pugna entre la presión interior del planeta, la **presión litostática** y la presión atmosférica lo permitan. Estos cuerpos según su tamaño, geometría, composición y ubicación en la corteza se los denomina genéricamente **plutones** (por el dios griego de los infiernos) y toman distintos nombres según su estructura y tamaño. Son **batolitos** aquellos de gran extensión areal constituido por varios plutones, generalmente de composición granítica. Son **lacolitos** y **lopolitos** si el magma se introduce horizontalmente entre estratos creciendo hacia el techo del cuerpo o hundiéndose hacia piso, respectivamente (ver figura 2.12).

Si estas masas de magma se enfrián en forma lenta y por completo dentro de la corteza terrestre, todos sus componentes tienen suficiente tiempo para cristalizar y dar origen a las **rocas plutónicas**. Si logra llegar a la superficie y se pone en contacto con la atmósfera, y por lo tanto a mucha menor presión de donde se originó; el magma pierde sus componentes gaseosos o volátiles, como el anhídrido carbónico y el vapor de agua, se convierte en **lava** y genera las **rocas volcánicas**.

Vocabulario

Intraplaca

Hace referencia a un fenómeno que tiene lugar dentro de una sola placa tectónica.

Presión litostática

Es la presión que ejerce por su peso una pila de estratos rocosos sobre otras rocas subyacentes.

Punto caliente

Son las zonas cercanas a la superficie terrestre hasta donde ascienden los materiales calientes provenientes del manto (o pluma mantélica).



Figura 2.12 Batolito de Achala, sierras de Córdoba



Figura 2.13 Mapa de batolitos de América del Sur

Las **coladas** de lava en el momento de la erupción están en estado incandescente y son muy peligrosas tanto para la flora y la fauna como para el hombre y sus posesiones materiales. Una vez enfriadas, son grandes **estructuras** de roca volcánica cuyos aspectos superficiales más comunes son dos: coladas de **lavas cordadas** (con apariencia de un manojo de cuerdas o sogas) y **lavas escoriáceas** (con apariencia de escoria de fundición).

Todas las rocas que se encuentran sobre la superficie terrestre, a su vez, son factibles de ser atacadas por los procesos que tienen lugar en la atmósfera: cambios de temperatura, oxidaciones por el agua y el aire, movilizadas por el viento o la gravedad. Estos procesos fragmentan a la roca en trozos más pequeños llamados **clastos** (del griego “roto”) que componen los sedimentos, los cuales junto con precipitados químicos formarán las **rocas sedimentarias**.

Cuando una roca plutónica, volcánica o sedimentaria, es nuevamente expuesta a altas presiones, temperaturas y fluidos químicamente activos, se convierte en una **roca metamórfica** (del griego “cambia” y “forma”).

Al mismo tiempo, una roca metamórfica expuesta en la superficie terrestre, también puede convertirse en sedimento, y cualquiera de todas las rocas antes mencionadas, volver a fundirse dentro de un magma reiniciando el ciclo.

Diferenciación magmática y cristalización fraccionada

A medida que un magma primario se enfria evoluciona y, sus componentes se van separando y reaccionando entre sí en sus distintas fases. Así, se generan magmas diferenciados, con nuevas y diferentes composiciones mineralógicas.

En 1928, Norman Bowen, un petrólogo (quien estudiaba la génesis de una roca) canadiense, publicó un tratado con sus investigaciones sobre las condiciones termodinámicas en la que se cristalizan los minerales. Él había observado que a medida que desciende la temperatura y la presión, aparecen minerales según dos series ordenadas, una continua, la de las **plagioclasas** desde anortita hasta albita y otra discontinua de minerales **ferromagnesianos**: piroxenos, anfíboles, mica. Estas sucesiones son llamadas en su honor **series de Bowen**.

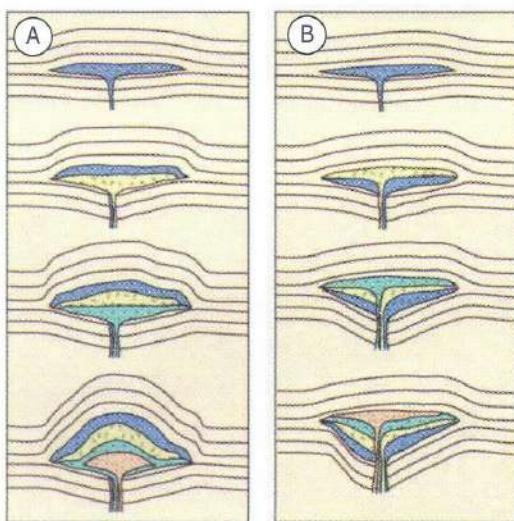


Figura 2.14 Lacolitos (A) y lopolitos (B)

Ambas series convergen en las condiciones de cristalización del cuarzo, que son las más cercanas a las de la superficie terrestre.

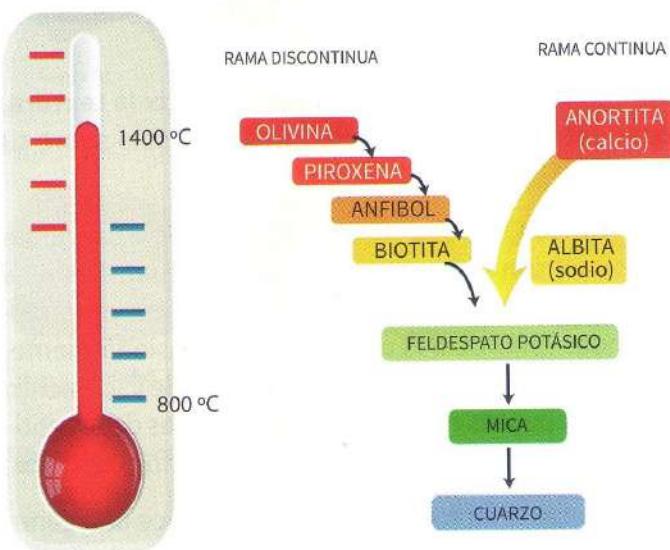


Figura 2.15 Los colores indican el descenso de la temperatura, desde la máxima indicada con el rojo (1400 °C) hasta la mínima en el azul (800 °C)

Si queremos saber el origen de una roca debemos estudiar sus minerales y buscarlos en las series de Bowen de manera horizontal: si una roca (de tonalidades casi siempre oscuras) es rica en **piroxenos** y **plagioclasa** cárquica corresponde a un magma de mayor presión y temperatura (900-1200 °C), llamado **básico** (con calcio y magnesio, y también cromo, hierro, y bajo porcentaje en sílice, vinculados a las dorsales y a los bordes de las placas oceánicas). Si la roca es de tonalidades claras y es rica en cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa sódica, corresponde a un magma de menor presión y temperatura (650-800 °C), llamado **ácido** (con sodio y potasio, y más sílice que el anterior, vinculado a raíces y arcos continentales).

Por supuesto, existen también los llamados magmas “intermedios” con minerales hidratados como los **anfíboles** y las micas, y cantidades intermedias de sílice, calcio y sodio, hierro y magnesio. También, existen los magmas **ultrabásicos**, pero son muy raros. Esto ocurre porque los procesos naturales son continuos en el tiempo y en el espacio, aun en pasos infinitamente pequeños, pero que dan notables resultados a lo largo del **tiempo geológico**.

Rocas plutónicas y volcánicas

Ígneo significa “fuego” (del latín *igneus*). Es fácil imaginarse que a los observadores de la antigüedad estas masas de rocas fundidas les parecía que provenían de algún fuego interno del planeta. De hecho, los romanos creían que el dios Vulcano, el herrero de los dioses que forjaba armas y corazas

Vocabulario



• Cristalización

En geología, es el proceso por el cual los átomos de un mineral se ordenan según un retículo y forman cristales.

• Anfíboles

Grupo de minerales incluidos entre los inosilicatos o silicatos cadena. Su estructura atómica forma cadenas dobles, como por ejemplo, hornblenda, tremolita.

• Ferromagnesianos

Son aquellos silicatos que contienen hierro y magnesio en cantidades variables.

• Plagioclasas

Grupo de minerales incluidos entre los feldespatos (que también son silicatos) y que forman una serie continua que reemplaza iones sodio por iones calcio. Cuando el mineral es completamente sódico, se llama **albita** y cuando es totalmente cárquico, **anortita**. Las composiciones intermedias se denominan oligoclasa, andesina, labradorita y bytownita a medida que pierden sodio e incorporan calcio.

para las demás divinidades del Olimpo, tenía su fragua en el monte Etna, un volcán activo en la isla de Sicilia. Cada vez que este volcán entraba en erupción, pensaban que el herrero deífico estaba trabajando. Precisamente del nombre Vulcano, derivan las palabras volcán, volcánico y vulcanología.

¿Podemos reconocer a estas rocas, supuestamente creadas por dos dioses distintos, Plutón y Vulcano, cuando ambos tienen por atributo el fuego? Sí, a través de su textura.

Los geólogos actuales, para comenzar a describir una roca, usan un parámetro básico: la **textura**, que es relación de los componentes de las rocas entre sí. La textura nos cuenta no solo sobre su origen sino también el tiempo que duró su formación.

Así, las rocas plutónicas presentan una **textura granosa**, porque sus cristales tuvieron suficiente tiempo para desarrollarse en la cámara magmática y son suficientemente grandes para verlos a simple vista. Por lo tanto, la roca es **holocristalina** (es decir, todos sus minerales están completamente cristalizados). Si los cristales son muy grandes (más de dos centímetros y ocasionalmente, varios metros), se habla de **textura pegmatítica**. Las pegmatitas representan un tipo de yacimiento de minerales económicamente importantes, y son frecuentes en las sierras pampeanas de Argentina. En cambio, si los cristales son muy pequeños (2 mm) y uniformes, se habla de **textura aplítica**.

Las rocas volcánicas tienen dos momentos claves durante su formación: primero, nace una generación de cristales que se originan en la cámara magmática, igual que si fuese una roca plutónica. Pero en el momento de la erupción, esos cristales en formación son expulsados con el resto de la lava, cuyos componentes químicos no tendrán suficiente tiempo para cristalizar, dando origen a una segunda generación de cristales muy pequeños llamados **microlitos** e incluso, vidrio. La textura resultante se llama **porfírica** y muestra esos dos constituyentes: cristales, llamados **fenocristales** que se ven a simple vista, sobre una base homogénea llamada **pasta** que puede estar compuesta de microlitos, vidrio o ambos. A veces, no es posible identificar casi nada a simple vista, y se dice que la textura es **afanítica**.

Entonces, una roca proveniente de un magma rico en cuarzo, feldespatos y micas, con textura plutónica (es decir, cristalizó completamente dentro de la corteza) se llamará **granito**, pero con textura porfírica (su enfriamiento fue interrumpido por una erupción volcánica y alcanzó la superficie como lava) se llamará **riolita**. Es decir, tienen la misma composición mineralógica pero diferente textura.



Figura 2.16 Ígneas ácidas. Dos granitos (izquierda), una riolita (superior) y un pórfito hipabísal (inferior derecha). Foto: Federico Agostinelli

Si, en cambio, proviene de un magma rico en plagioclásas cárnicas y piroxenos, la roca plutónica será un **gabro** y su equivalente efusivo un **basalto**. Para magmas intermedios, el par equivalente será **dioritas** y **andesitas**.

Los basaltos están vinculados a fondos oceánicos y a arcos volcánicos y de islas oceánicas. Los granitos están relacionados con los márgenes continentales activos donde la corteza oceánica está siendo subductada bajo la corteza continental, como en la cordillera de los Andes (por eso, es tan notable la presencia de batolitos).



Figura 2.17 Texturas de rocas ígneas de composición equivalente

Rocas sedimentarias

Las **rocas sedimentarias** son aquellas formadas en zonas superficiales de la corteza terrestre a partir de otros materiales rocosos preexistentes. Esos materiales precursores (que como dijimos, pueden ser cualquier otra roca: plutónica, volcánica, metamórfica o incluso, otra sedimentaria) también sufren una serie de procesos naturales para llegar a ser un sedimento, pero propios de la superficie terrestre, su atmósfera y su hidrosfera.

Esta secuencia de procesos o **ciclo sedimentario** comprende:

- 1. Meteorización:** puede ser **mecánica** y **química** por efectos del agua, el hielo y los cambios de temperatura; y **biológica** por efectos de bacterias e invertebrados, raíces de vegetales, y otras actividades de los seres vivos.
- 2. Erosión:** es el arranque de la partícula de la roca que está desagregándose y su entrega al medio.
- 3. Transporte en el medio:** a través de corrientes de agua (ríos y mares), hielo (glaciares), o atmósfera (viento y gravedad).
- 4. Depositación de esas partículas en cuencas sedimentarias:** Las cuencas pueden ser zonas continentales deprimidas al reparo del viento (muchas veces de origen tectónico), el fondo de un lago o de un estuario, o el fondo del mar tanto en plataformas marinas someras, como fosas y cuencas abisales. Es decir, deben ser lugares donde los sedimentos puedan reposar y acumularse, formando capas o **estratos**. Si el tiempo geológico de subsidencia o de quietud y acumulación es largo, las pilas o paquetes de estratos pueden alcanzar miles de metros de espesor. La importancia económica del estudio de las cuencas sedimentarias reside en que allí se acumula también el carbón y el hierro sedimentario y acontecen los fenómenos que originan el petróleo y el gas.
- 5. Compactación y diagénesis:** o conjunto de eventos físicoquímicos (de muy baja temperatura) que convertirán los sedimentos hasta ahora sueltos en una roca **consolidada** y **cementada**.

Las rocas sedimentarias se clasifican en:

- 1- Detriticas o clásticas:** se originan solo a partir de fragmentos de otras rocas.



Figura 2.18 Areniscas con estructura entrecruzada (derecha) y con estructura ondulítica (izquierda). Foto: Federico Agostinelli

En función del diámetro de esos fragmentos, se las denomina **conglomerados** o psefitas, a aquellas cuyos individuos o fragmentos componentes sean mayores de 2 mm, **areniscas** o psamitas entre 2 y 0,062 mm, y **pelitas** a las menores de 0,062 mm.

Los individuos o clastos principales que componen un conglomerado son cantos rodados que se han cementado. Los clastos de una arenisca son granos de arena cementados entre sí y los clastos de una pelita son pequeñas partículas de limo o arcilla.

2- No clásticas

► **Químicas:** si se forman a partir de precipitación inorgánica de compuestos químicos. Por ejemplo, los **travertinos** —que se usan en la decoración de frentes y pisos de edificios— son formaciones de carbonato de calcio depositado sobre vegetales –de ahí sus poros y oquedades– en lagunas y fuentes hidrotermales. Las **evaporitas** son acumulaciones de “sal de mesa” (halita) y otros haluros, generalmente por desecación de la cuenca.

► **Organógenas:** se forman a partir de la acumulación de restos de seres vivos. Por ejemplo, las **coquinas** por cementación de los fragmentos de bivalvos, tan frecuente en las zonas de rompiente de las olas en una playa. Las **fosforitas** provienen de huesos y dientes de vertebrados, entre cuyos componentes está la apatita. Las **diatomitas** son agrupamientos de los exoesqueletos silíceos de pequeñísimas algas llamadas diatomeas.

► **Bioquímicas:** cuando los seres vivos intervienen para producir la precipitación o reacomodación de material inorgánico (como en las calizas arrecifales).

► **Residuales:** formadas por la acumulación de productos meteorizados y no transportados de la roca original, tal como las **lateritas** que se generan en los suelos rojos de la provincia de Misiones, a partir de la alteración de los basaltos subyacentes.

Vocabulario



Loess

Sedimento clástico tamaño limo, transportado por el viento.

Rocas piroclásticas

A “mitad de camino” entre las ígneas y las sedimentarias, están las rocas **piroclásticas** (de “piro” fuego y “clasto” roto), formadas con el material expelido por los volcanes al inicio o durante la erupción (“ceniza” volcánica, que al consolidar genera la roca llamada **toba**) o por flujos de gases y piroclastos, que al solidificarse producen una roca llamada **ignimbrita**. Están constituidas por



Figura 2.19 Travertino

cristales, vidrio, y fragmentos de rocas volcánicas. El material es apenas transportado por el viento y se deposita rápidamente en cuerpos de agua o se mezcla con el suelo, como en el **loess** pampeano que contiene trizas vítreas.

Rocas metamórficas

Son formadas a partir de cualquier otra roca (plutónica, volcánica, sedimentario o incluso otra metamórfica) que, sin llegar a fundirse, han estado sometidas a grandes presiones, altas temperaturas y fluidos químicamente activos, y se han transformado en su textura y en su mineralogía con la aparición de nuevos y exclusivos minerales como los granates, la andalusita y la sillimanita.

Hay dos tipos principales de procesos metamórficos según como influyeron la presión y el calor en cada uno de ellos.

- **Metamorfismo de contacto o térmico:** son más importantes las altas temperaturas que actúan sobre la roca preexistente. Por ejemplo, la intrusión de un plutón en estratos de caliza, originará una zona intermedia con una nueva roca llamada **mármol** (o caliza metamórfica).
- **Metamorfismo regional o dinamotérmico:** cuando las variables de presión y temperatura influyen por igual. Es característico durante los movimientos orogénicos en los bordes de placas convergentes. Un ejemplo de la roca producida puede ser el **gneiss** que se caracteriza por su bandeamiento debido a la separación y concentración de minerales claros y oscuros formando así las bandas.

Según sus **texturas**, podemos clasificar a las rocas metamórficas en dos grupos.

1. Las **esquistosas** o foliadas, que forman una serie continua donde los minerales laminares se acomodan según planos como en las **pizarras**, unas rocas duras de grano muy fino que gracias a estos planos son fáciles de separar en lajas. Antiguamente, eran usadas como tejas de cabañas o para escribir sobre ellas (de allí proviene la palabra pizarrón). A medida que el metamorfismo aumenta, el crecimiento de los cristales, por ejemplo, de la mica, les da un aspecto sedoso como en las **filitas** y **micasitas**. Por último, y a mayor grado de avance del proceso metamórfico, la roca toma un aspecto bandeado al separarse los minerales claros (cuarzo y feldespatos) de los oscuros (anfíboles y piroxenos) como en el **gneiss**. Son abundantes en el metamorfismo regional.
2. Las **no esquistosas** o granoblásticas no forman una serie continua y predomina un mineral en particular en su constitución: anfibolitas (anfíboles), mármol (calcita) y metacuarцитas (cuarzo).

Cuando en la masa de roca en estado sólido hay adición o sustracción de elementos químicos a través de fluidos, se habla de **metasomatismo** y puede ser un proceso de interés para la minería.

Cuando hay fusión parcial o total de la roca, se la denomina **anatexis** y permite generar nuevamente rocas ígneas graníticas.



Figura 2.20 Rocas metamórficas: gneiss (derecha) y esquisto (izquierda). Foto: Federico Agostinelli

Vocabulario

• **Morfogénesis**

Es el proceso, bastante complejo, ya que depende de la interacción dinámica entre agentes (agua y materiales geológicos (rocas, suelos).

• **Procesos geomorfológicos**

Son todos los cambios físicos y químicos que determinan una modificación de la forma superficial de la Tierra.

• **Agente geomorfológico**

Es cualquier medio natural capaz de extraer, transportar y reacomodar los materiales terrestres. Pueden ejercer como tales el agua, el viento o el hielo. La gravedad, aunque muy influyente, no es considerada un agente sino solo una fuerza direccional (que tracciona hacia el centro de la Tierra) ya que no puede obtener y acarrear materiales, por sí misma.

Origen y tipo de los paisajes

Hasta aquí hemos visto que un paisaje es el producto de la múltiple interacción entre variados procesos (exógenos y endógenos) y materiales (las rocas y las estructuras preexistentes en la corteza terrestre), que articulados entre sí van modelando cada paisaje y haciendo que se manifieste.

A lo largo del tiempo geológico, esa combinación creará distintos paisajes cuya génesis podremos descifrar solo con observar algunos rasgos característicos de cada uno de ellos.

Los **procesos exógenos** naturales son: meteorización, remoción en masa (o gravitatoria), erosión y transporte realizado por agua corriente superficial, agua meteórica, agua subterránea, olas, corrientes, mareas y tsunamis, vientos y glaciares. Observen que varios de dichos procesos son los mismos que vimos en sedimentación.

Estos agentes producen **agradación** del material (acumulación en zonas bajas) o, lo opuesto, la **degradación** de las áreas elevadas, como una tendencia a la nivelación de la superficie terrestre que se conoce como **gradación**.

Otro proceso geomorfológico excepcional que puede ser muy importante localmente es el impacto de meteoritos que suelen dejar grandes cráteres. No siempre se preservan estas geoformas ya que pueden ser rápidamente erosionadas, como se sospecha que ha ocurrido en las cercanías de Chapadmalal y Necochea, en la provincia de Buenos Aires, ya que se han hallado vidrios característicos que localmente han sido denominados como escorias (de color verde castaño) y tierras cocidas (rojo ladrillo).

MORFOGÉNESIS DEBIDA A PROCESOS ENDÓGENOS

Morfogénesis tectónica

Los movimientos tectónicos son aquellos producidos por fuerzas endógenas que modifican la estructura de la superficie de la corteza terrestre. Si esos movimientos tienen una componente principal **vertical (epirogénicos)**, elevan y/o hunden grandes bloques de corteza terrestre. Si su componente principal es **horizontal (orogénicas)** entonces generan **plegamientos y en ambas fallamientos**. Es decir, son los grandes productores de montañas. Por eso, las principales cordilleras y cordones montañosos se sitúan sobre los límites activos de las placas litosféricas que, como ya vimos, es donde se concentra la mayor actividad tectónica y donde se producen eventos orogénicos vinculados con la deformación y fracturamiento de las rocas de la corteza. Algunos ejemplos de la escala planetaria:

- En **márgenes convergentes**, la cordillera de los Andes se formó por subducción de la placa pacífica bajo la sudamericana, mientras que la cordillera del Himalaya se elevó a consecuencia del choque de la India con Asia.
- En un **margin divergente** de dos placas oceánicas, se ha formado la dorsal centro-oceánica, mientras que en los márgenes divergentes de la corteza continental se producen la partición de los continentes (rift y puede llegar a ser un protocéano). Tal es el caso del valle de África oriental, no en vano el monte Kilimanjaro, uno de los volcanes más altos de África se ubica allí.
- En los **márgenes de placa transformantes**, el relieve es, en general, relativamente bajo. Por ejemplo, las sierras en el oeste de California que están vinculadas a la actividad de la falla de San Andrés.

Estructuras geológicas a escala regional o local

Pliegues y fracturas

Los esfuerzos tectónicos actúan sobre las rocas que componen las fajas orogénicas. Estas rocas pueden deformarse. Si la roca se mantiene en un estado plástico, esas deformaciones resultan en diseños curvados de las capas rocosas y se llaman **pliegues**. Estos pueden tener distintos órdenes. Es decir, pueden ser grandes y pequeños, y los pequeños contenidos dentro de los mayores, como los que se aprecian en las sierras de Ventania. Si el esfuerzo supera el límite plástico, la roca se fractura originando **fallas** (si se han deslizado los dos bloques el uno respecto al otro) y **diaclasas**, que son fracturas que no muestran deslizamiento de los bloques y poseen una mínima separación, muchas veces llenas posteriormente de minerales como calcita y cuarzo, lo que facilita su reconocimiento.



Figura 2.21 Diaclasa rellena

Morfogénesis debida al vulcanismo

Las erupciones volcánicas construyen varios tipos de paisajes característicos dominados por **flujos** y **mesetas** de lava, y los más característicos y conocidos son los **edificios o aparatos volcánicos**.

Si la lava brota por una **fisura lineal**—muy característico del basalto que es más fluido—y el proceso se repite, se forman mesetas de varias capas y gran espesor, como la meseta de Somuncurá o la meseta misionera por donde el salto del río Iguazú crea las famosas cataratas del mismo nombre.

Si, en cambio, la lava brota de una zona **puntual** dará origen a la construcción de aparatos volcánicos elevados si las lavas son viscosas (**riolitas** y **andesitas**) o si las lavas son fluidas del tipo basáltico a los volcanes en **escudo** del tipo hawaiano, semejante a las pendientes más suaves del Payún Matrú, en Mendoza.

Los **conos compuestos o estratovolcanes** se forman por la alternancia de flujos de lava, generalmente viscosas, y de erupciones piroclásticas emitidas desde la chimenea central. Constituyen la variedad de volcanes más espectaculares en los paisajes del mundo. Son ejemplos argentinos el Llullaillaco en Salta, el Maipo en Mendoza o el Lanín en Neuquén.

Pero también se los clasifica según el **tipo de erupción** y esto es muy importante porque afecta al hombre.

- **Erupción vulcaniana:** es una explosión volcánica violenta, frecuentemente relacionada con la interacción del magma con agua (freatomagmática). Esta interacción produce una gran cantidad de vapor, cenizas, bloques y bombas.
- **Erupción peleana:** la explosión es violenta porque resulta de la solidificación de magma muy viscoso en la chimenea del volcán. Es decir, se crea un tapón que impide la salida de gases y magma. Entonces, la presión aumenta y finalmente explota la chimenea. Es característica también, la emisión de nubes ardientes que se deslizan con rapidez por la ladera del volcán. Toma su nombre del monte Peleé, que en 1902 arrasó la ciudad de Saint-Pierre capital de Martinica donde fallecieron más de 30.000 personas.
- **Erupción estromboliana:** se caracteriza por explosiones menores separadas por períodos de calma, que suceden en pocos minutos u horas, acompañadas por derrames de lava o expulsión de material semisólido (bombas volcánicas).
- **Erupción hawaiana:** son emisiones de lava fluida y, por lo tanto, no explosiva que se derrama rápidamente y puede generar coladas de gran extensión. Son las menos peligrosas para las poblaciones humanas.

Morfogénesis debida a procesos exógenos

Morfogénesis fluvial

Dado que el **ciclo hidrológico** o proceso de circulación del agua entre los distintos segmentos que forman la hidrosfera, describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta, el agua resulta el principal modelador de la superficie terrestre.

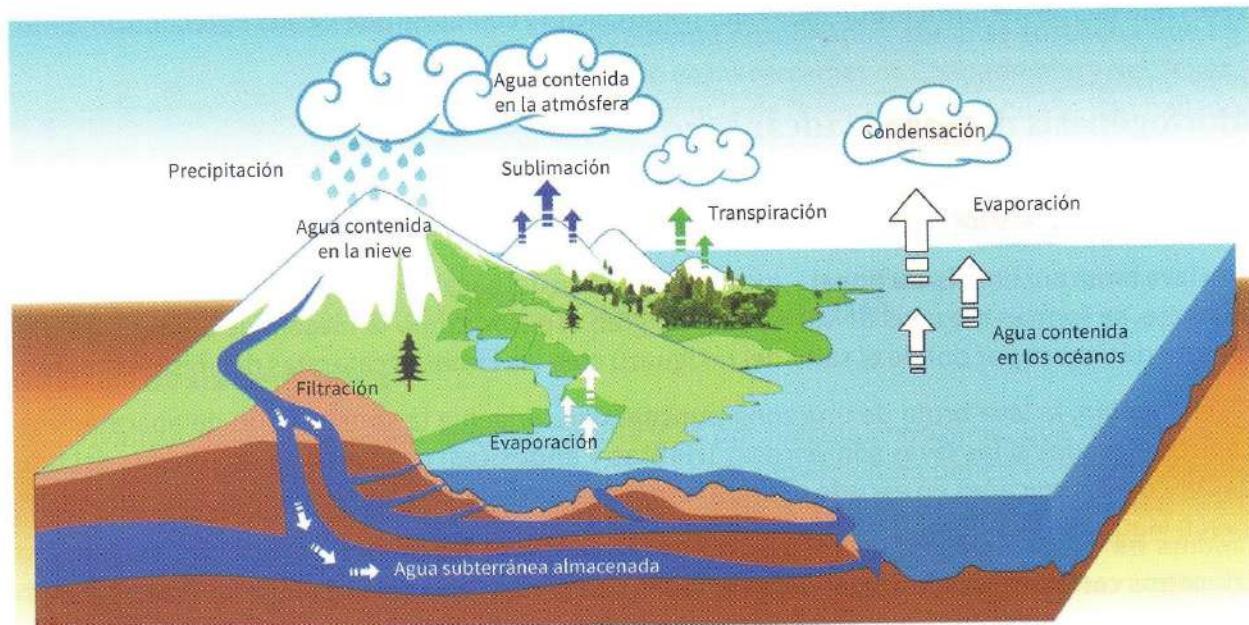


Figura 2.22 Diagrama del ciclo hidrológico

La **escorrentía** superficial del agua junto con los fenómenos de **remoción en masa**, constituye el agente geomorfológico de erosión, transporte y deposición sedimentaria más importante. Y por ello, son los procesos dominantes en el desarrollo de paisajes.

Cuando llueve sobre un terreno, el agua se infiltra hasta que el suelo se satura de agua. Como ya no puede ingresar más, ese exceso de agua fluye por el suelo como láminas delgadas, denominadas **flujo laminar** o **mantiforme**. Dicho flujo tiende a confluir a zonas topográficas más bajas, tallando canales pequeños llamados **rills**. Si las precipitaciones y el volumen de agua de escorrentía se mantiene o aumenta se desarrollarán canales más profundos (cárcavas) y si el proceso continúa, los canales se harán permanentes y extensos, y se convierten en **flujos encauzados**, de los cuales los ríos como el Salado o el Paraná son los ejemplos más conocidos.



Figura 2.23 Río Mendoza



Figura 2.24 Río Pilcomayo

Los cauces de los ríos también son distintos según el territorio que cruzan y su evolución. Como ejemplos, el río Mendoza tiene un cauce **entrelazado**, con numerosas barras producto de la acumulación de material sedimentario que transporta la fuerte corriente, influenciado por los deshielos y la pendiente y el río Pilcomayo presenta **meandros**, grandes curvas muy redondeadas del canal, producto de la madurez del cauce que divaga sobre una región plana.

Remoción en masa

La **remoción en masa** o **gravitacional** es un proceso que desplaza grandes volúmenes de sedimentos o suelo a favor de la pendiente por acción de la fuerza de la gravedad, hasta que esa masa de materiales encuentran un nuevo punto de reposo.

Aunque pareciera que se produce espontáneamente, hay una serie de factores que “gatillan” la caída, por ejemplo, la inestabilidad de una pendiente por el descalce erosivo de un río (como ocurre con los ríos Grande y San Francisco en Jujuy) o también por la lubricación de los granos del sedimento por hielo o nieve, como ocurre en invierno y primavera con acantilados y escarpas (o despeñaderos) sobre las rutas mendocinas o patagónicas.

Otros mecanismos involucrados que disparan estas caídas son precipitaciones torrenciales, sismos y vulcanismo. También, influyen características propias del lugar, como puede ser la falta de cubierta vegetal, la pendiente, y la naturaleza litológica del material inconsolidado o fracturado.

Morfogénesis glaciaria

Los glaciares son una parte fundamental del ciclo hidrológico terrestre y a lo largo de la historia geológica del planeta grandes eventos glaciarios han alterado el clima y afectado a las formas de vida presentes.

Un **glaciar** es una acumulación de hielo y nieve, durante un período largo de tiempo. Necesita un relieve apropiado para que contenga dicha acumulación y también que ese lugar tenga temperaturas bajas durante la mayor parte del año (áreas topográficas muy elevadas o en sectores de altas



Figura 2.25 Glaciar Perito Moreno, provincia de Santa Cruz



Figura 2.26 Antártida

latitudes). Esa masa de hielo no es limpia y homogénea como estamos acostumbrados a ver en nuestra heladera, sino que contiene agua, fragmentos de rocas y aire entrampado en burbujas. Eso le da cierta plasticidad, especialmente en la base de la masa de hielo y, de esta forma, se mueve lentamente o fluye a favor de la pendiente. Por esto, se puede considerar a los glaciares agentes geomorfológicos, ya que erosionan, transportan y acumulan el material superficial.

Hay dos tipos principales de **englazamiento**:

Los glaciares **alpinos** o **de valle** instalados en zonas montañosas donde el hielo está encauzado en un valle y los glaciares **continentales** o **de casquete** que ocupan grandes extensiones (miles de kilómetros cuadrados) y se comportan como grandes mantos de hielo cubriendo la topografía.

En el registro geológico, se pueden apreciar que hubo al menos, cinco momentos principales en la historia del planeta en que los glaciares avanzaron notablemente sobre la superficie de la Tierra hacia latitudes bajas. La más reciente, durante la cual apareció nuestra especie, se produjo al comienzo del período cuaternario en la que se denomina edad del Hielo Pleistocena.

Los pequeños glaciares de valle, que hay en toda la cordillera de los Andes, son remanentes de este evento, como por ejemplo, el Ventisquero Negro y el Castaño Otero en el Cerro Tronador, el Torrechíllas en el Parque Nacional Los Alerces, el Planchón Nevado en Chubut, el Martial cerca de Ushuaia, el de los Argentinos entre Catamarca y La Rioja, o el de los Polacos en el Aconcagua.

El Campo de Hielo Continental Patagónico, de donde se desprenden los glaciares Upsala y Perito Moreno, es el representante de los glaciares continentales. También, son glaciares continentales los mantos antárticos.

Los glaciares producen geoformas tanto de **erosión** como de **acumulación** glaciarias. Podemos fácilmente encontrar algunas de ellas en nuestro país: hay **fjordos** o antiguos valles glaciarios ahora inundados (que son formas de erosión) en las costas de Santa Cruz y Tierra del Fuego. En cambio, las **morenas** son grandes fajas de material sin ninguna selección en su tamaño de grano, que ha sido empujado por las lenguas de hielo (forma de acumulación) como la que cierra el lago Nahuel Huapi.

Morfogénesis litoral

Desde el concepto de ambiente sedimentario, las costas son ambientes mixtos y transicionales, dado que en esa franja hay una interacción permanente entre agentes geomorfológicos continentales y marinos.

Las formas de **acumulación** litoral más características son:

- Las **playas** o depósitos de sedimentos (no consolidados) de tamaño arena o grava, ya que las fracciones menores, como limo o arcilla han sido lavados por la acción de las olas y las corrientes litorales.
- Los **cordones litorales** son acumulaciones de gravas, arenas, limos y arcillas sobre la costa que fueron previamente erosionadas de regiones subacuáticas por tormentas costeras y olas de gran porte. Esos materiales son reacomodados por ese oleaje excepcional formando cintas continuas y expuestas, paralelas a la costa y separadas por depresiones. La repetición del proceso, va adosando más y más cordones, que terminan construyendo un avance de la tierra firme sobre el mar.
- Las **barras** son formas elongadas de sedimentos sueltos acumulados por la acción de olas o corrientes y están siempre sumergidas, a diferencia de las **barreras** que están emergidas y de las **espiugas** que suelen estar unidas a tierra firme por un extremo, generando una zona interna a ellas de aguas marinas tranquilas y protegidas.
- Las **planicies de marea** son zonas llanas y amplias, afectadas por un rango mareal importante. Las mareas mueven y reacomodan los sedimentos finos del tamaño arcilla, limo y arena fina y mediana por lo que también se las conoce como planicies de fango. Se gestan en zonas protegidas por espiugas, en lagunas costeras o en bahías y estuarios. Geofomas semejantes se pueden observar durante las bajantes del río de la Plata o en la bahía de Samborombón.

Además, podrían incluirse los **deltas** en estas de formas de acumulación costeras, como también las **barreras coralinas** aunque el origen de estas últimas es biogénico.

Las principales formas costeras de **erosión** son:

- Los acantilados que son barrancas de fuerte pendiente que se deben a la acción combinada de factores propios del material (dureza y composición química de la roca, debilidad por fracturación), oceánicos (fuerza del oleaje y las corrientes, variación del nivel de mar) tipo de clima e historia tectónica de la región. A medida que avanza el proceso erosivo, van quedando como remantes rocosos de ese acantilado cavernas, arcos y finalmente pilares marinos.
- Las plataformas de abrasión de olas son superficies rocosas y planas, situadas al pie del acantilado y en la franja intermareal donde la actividad de las olas es intensa. Están constituidas por la misma roca del acantilado, ya que también es un remante del mismo.

Todas esas formas de acumulación y erosión marinas pueden observarse a lo largo de la costa patagónica.

Los paisajes áridos

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) considera que más del 40% de las tierras emergidas del planeta pueden ser clasificadas como áridas debido la escasez de precipitaciones (entre 200 y 800 mm al año) y de vegetación.

Esas precipitaciones son, a menudo, aperiódicas y torrenciales, lo cual sumado a la escasa o faltante cubierta vegetal que proteja al terreno, suele incrementar los procesos de meteorización mecánica y erosión en estas regiones.

Cuando la pendiente de estas áreas es escasa o llana, los cursos fluviales desaguan en el interior de la cuenca generando lagunas que en períodos de sequía extrema terminan convirtiéndose en



Figura 2.27 La presencia de yeso en rosetas, también llamadas rosas del desierto, indica condiciones de aridez en el paisaje frecuente en la Patagonia extrandina. Foto: Federico Agostinelli

salinas, como el caso de la laguna Epecuén y las lagunas Encadenadas del Oeste de la provincia de Buenos Aires.

La circulación atmosférica de los vientos es la que determina, en parte, los ciclos de aridez. El viento puede mover enormes cantidades de material a lo largo de muchos kilómetros, como ocurre con las tormentas de arena, pero siempre desplaza partículas muy pequeñas (desde arcilla a arena muy fina) y, por lo tanto, la erosión que generan es mínima. Aún en los desiertos, el mayor poder erosivo lo tienen esas lluvias torrenciales que mencionamos al principio y los flujos laminares o encauzados que generan. Pero el viento, ante la desprotección de una cubierta vegetal, produce el fenómeno de **deflación** que arranca las partículas sueltas más pequeñas y va destruyendo los frágiles suelos de estos lugares. Este fenómeno se registra con frecuencia en la Patagonia extrandina.

Las formas de acumulación eólica (por Eolo, el dios griego del viento) más conocidas en los desiertos son las **dunas o médanos**, montículos constituidos principalmente por arena suelta (lo que le da movilidad) y que pueden ser **longitudinales o transversales** ya sea que se desarrollen de manera paralela o perpendicular respectivamente a la dirección del viento dominante. Los **barjanes** son otro tipo de dunas de forma semilunar que se desarrollan en regiones donde el suministro de arena es escaso y el sustrato es llano, de roca dura o por lo menos consolidada. Se las puede observar en la península Valdés, en Chubut.



Lectura

Los humanos han creado ya 208 nuevos minerales

El País, 2 de marzo de 2017

Miguel Ángel Criado

En 1959, un geólogo descubría en una de las vitrinas del Museo de Historia Natural de Bruselas un nuevo y rarísimo mineral, la calclacita. Es tan raro que solo existe en esa vitrina: durante años la acción del ácido acético emitido por la madera de roble de la que está hecho el mueble corroyó unas rocas calcáreas que formaban parte de la colección de minerales del museo creando algo nuevo. La calclacita es uno de los 208 minerales aparecidos como consecuencia indirecta e involuntaria de las acciones humanas. Lo que la naturaleza tardó millones de años en hacer, los humanos lo están creando en unos pocos siglos.

“La calclacita no es el más bonito pero me encanta la idea de que se haya formado un nuevo mineral al dejar muestras en el cajón de un museo”, dice el investigador del Instituto Carnegie para la Ciencia (EE. UU.), Robert Hazen.

Aunque la definición tradicional de mineral exige que sea una estructura cristalina de determinados elementos químicos enlazados de una forma concreta y fruto de procesos naturales, la Asociación Internacional de Mineralogía (AIM) también considera minerales aquellos compuestos químicos en los que la acción humana que los creó no fue deliberada. Eso descarta a las más de 180.000 nuevas estructuras cristalinas creadas por el ingenio humano con una intención y función, según estiman los autores del catálogo, pero permite reconocer otros compuestos fruto también de procesos naturales pero iniciados por una acción humana. La mayoría de los nuevos minerales son subproductos de actividades mineras y la metalurgia.

Hazen, autor del libro *La Historia de la Tierra: Los primeros 4500 millones de años*, propuso en 2008 una evolución de los minerales dividida en 10 etapas, desde el período inmediatamente posterior al Big Bang hasta la aparición de los biominerales, como el carbonato cálcico de los trilobites, la sílice de las diatomeas o el fosfato cálcico de huesos y dientes. Ahora cree llegado el momento de sumar una undécima fase, la actual, protagonizada por las acciones humanas.

En cada una de esas etapas, con una duración de centenares de millones de años aparecieron unas pocas decenas de minerales. "Han hecho falta 4500 millones de años para que se produjeran las distintas combinaciones de elementos en el lugar, profundidad y temperatura determinados para formar los más de 5200 minerales reconocidos oficialmente", comenta Hazen. La mayoría de ellos aparecieron durante la Gran Oxidación. Entonces, hace entre 2200 y 2400 millones de años, la aparición de las cianobacterias provocó la generación masiva de oxígeno (hasta los niveles actuales) que desencadenó una serie de procesos geológicos y biológicos que provocaron la mayor diversificación de minerales hasta ahora.

"Ahora me doy cuenta de que los humanos estamos creando nuevos minerales y compuestos análogos a un ritmo asombroso, más rápido que en cualquier otra época en la historia de la Tierra", comenta Hazen. "Estos minerales formarán una capa duradera (hablo de miles de millones de años) en el registro sedimentario que distinguirá nuestro tiempo de todo lo que hubo antes. Por eso, es una nueva etapa", añade.

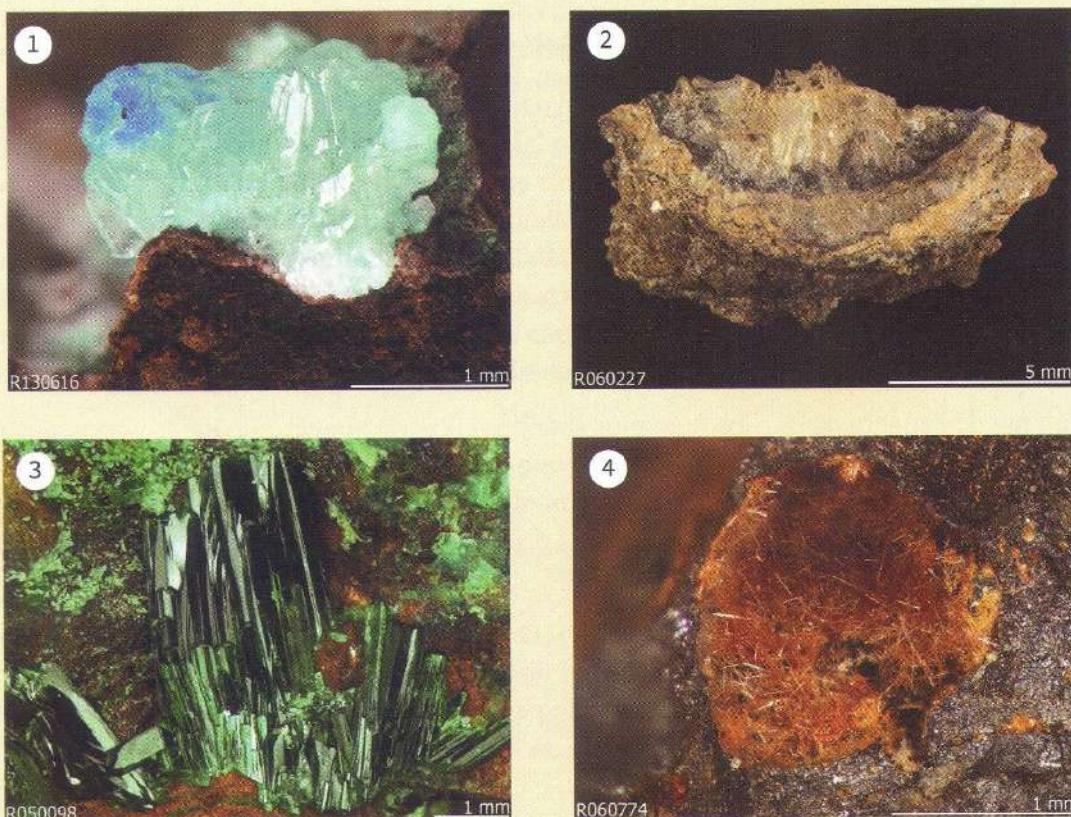
Algo más de la mitad de los minerales de la lista (117) tienen tanto origen natural como humano. La atacamita, por ejemplo, fue identificada por primera vez en el siglo XIX en minas del desierto chileno de Atacama. Pero, a mediados del siglo pasado, también fue caracterizada en la costa de estatuas de bronce de la ciudad helenística de Alejandría corroídas por el agua del mar en el que pasaron los últimos 2000 años.

Otros 91 minerales, sin embargo, son un subproducto exclusivo de las acciones humanas y no se han encontrado, por ahora, en yacimientos naturales, según detallan los autores del decálogo en la revista *American Mineralogist*. La aburrita es un buen ejemplo. Originada en el estaño de las monedas que había en las bodegas del barco SS Cheerful, naufragado frente a las costas inglesas en el siglo XIX, solo se la ha encontrado en otros naufragios. Otros, como la postita o la nealita, aparecen en los precipitados del agua usada en la mina o de la escoria de las fundiciones. La mayoría solo existen en una o dos minas, a veces separadas por miles de kilómetros.

La abellaíta es uno de los últimos minerales antropogénicos reconocidos por la AIM. "Lo encontró un cazador de minerales en las paredes de una de las galerías de la mina de uranio Eureka, en Lleida", cuenta el investigador del Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera-CSIC, Jordi Ibáñez. Este experto en cristalográfica formó parte del grupo de expertos que analizó las muestras que el descubridor, Joan Abella i Creus, llevó a la Universidad de Barcelona. "No

es fácil caracterizar un nuevo mineral. Hay que determinar que es un compuesto fruto de un proceso natural y diferente de todos los demás que se conocen”, recuerda Ibáñez. Una vez confirmado, la abellaíta abre desde 2014 la lista de minerales de la AIM.

Ibáñez, que no ha intervenido en la elaboración del catálogo de los 208 minerales, coincide con sus autores en que esta gran diversidad de nuevos minerales es un signo que definiría a la época geológica actual y que han bautizado como Antropoceno. Pero también cree que deberían ser los geólogos del futuro los que deberían definirlo. En lo que no coincide es en la pervivencia de muchos de estos nuevos minerales a largo plazo. Dice: “si la civilización colapsara de forma repentina, los geólogos de dentro de varios millones de años encontrarán cemento y muchos materiales movidos de sitio”.



Minerales antropogénicos: simonkolleita (1), abhurita (2), atacamita (3) y nealita (4). Fuente: RRuff

Fuente: http://elpais.com/elpais/2017/03/01/ciencia/1488363361_659358.html



Actividades

2

Una roca con leyenda

- 1 En Tandil, existe una piedra (roca ígnea) que fue famosa porque oscilaba. Medía casi 5 m de diámetro y 4 m de altura, y mantuvo su equilibrio hasta el 29 de febrero de 1912, cuando cayó al fondo de la barranca, partiéndose en tres fragmentos. El 17 de mayo de 2007 se colocó una réplica en el mismo lugar, hoy Parque Lítico La Movediza.

Sin duda, su tamaño prodigo cautivo la imaginación de los humanos.

- Busquen leyendas de los pueblos originarios acerca de su procedencia.
- ¿Cómo se supone que perdió su equilibrio? Busquen fotos antiguas. ¿Qué hacía la gente cuando visitaba el lugar?
- ¿Qué tipo de roca es y a qué formación geológica pertenece realmente?
- ¿Qué la reemplaza hoy?

2 Receta natural

En un frasco grande y transparente, guarden algunas gravas o cantos rodados, bastante arena y mucha arcilla (puede ser tierra del jardín, la de color castaño claro será mejor que la negra).

Completen con agua. Luego, agitar vigorosamente por un rato y dejar reposar toda la noche.

A la mañana siguiente, se habrán formado estratos sedimentarios, tal como ocurre en las grandes cuencas, pero a mucha menor escala.

¿Cuáles se depositaron primero y cuáles últimos? ¿Por qué?

Si pusieron mucho material pelítico, observen cómo los granos más finos fueron llenando todos los espacios libres, haciendo que **disminuya la porosidad** del sedimento. Esta idea será importante cuando estudiemos suelo y agua en el siguiente capítulo.

3 ¡Monumental!

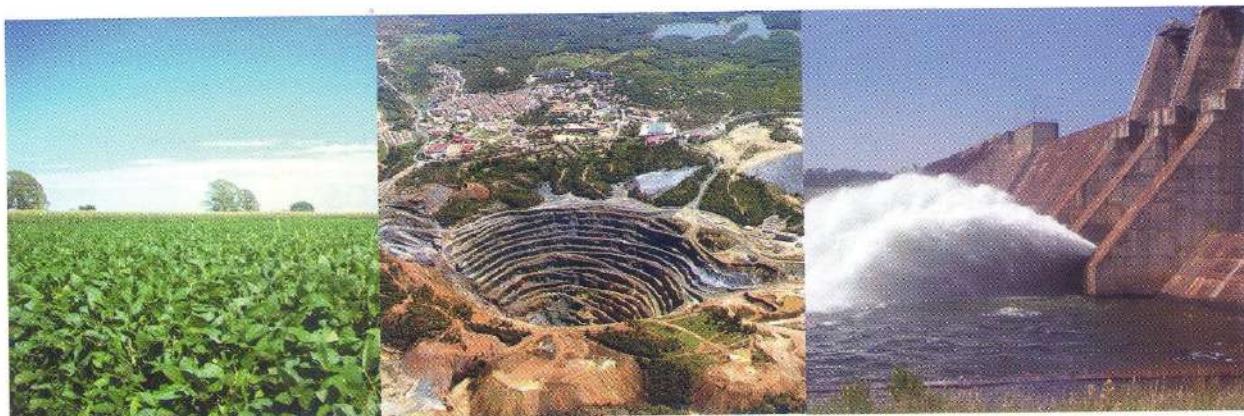
Miguel Ángel y otros famosos artistas del Renacimiento italiano preferían el mármol de grano fino y compacto, proveniente de las canteras de Carrara en los Alpes, para sus esculturas. También, lo hacían los príncipes para revestir los pisos y columnas de sus palacios. En el siguiente video, podemos ver cómo esas canteras siguen hoy en explotación:
<https://www.facebook.com/DroneAirViewdiTartaglia/videos/1681149005536042/>

- ¿Conocen canteras parecidas en la provincia de Buenos Aires?
- ¿De dónde se extraen las llamadas rocas de aplicación utilizadas para revestimientos de frentes y pisos?

CAPÍTULO

3

Recursos, reservas y riesgos geológicos



LAS TRES “R” VINCULADAS PERO DIFERENTES

Desde su origen, el ser humano vivió de y con la naturaleza, pero a partir de la era industrial, esa relación mutua comenzó a desequilibrarse. Para entender cómo fue ocurriendo ese desequilibrio y especialmente, para entendernos entre todos los humanos e intentar solucionarlo, por lo menos desde lo que le compete a las geociencias, es importante que empecemos a conocer y estudiar las definiciones de varios de los conceptos que se expondrán a continuación.

Los recursos naturales son aquellas sustancias procedentes de la naturaleza que pueden ser usufructuados por los seres humanos para proveer a sus necesidades y hacer más confortable su existencia.

Estos recursos naturales, pueden ser **no renovables**, es decir que se agotan con su utilización, (como el gas y el petróleo) o **renovables** que son todos aquellos que no se agotan (por ejemplo, la energía solar). En los trabajos académicos más modernos, se comenzó a considerar al suelo y al agua entre los recursos no renovables, porque si bien son parte de ciclos naturales continuos, con la contaminación y la sobreexplotación van perdiendo su calidad para el uso humano en forma progresiva.

Otro concepto asociado es el de reserva, que es la parte de un recurso disponible, ubicado y evaluado económicamente y que puede ser legalmente extraído para su uso.

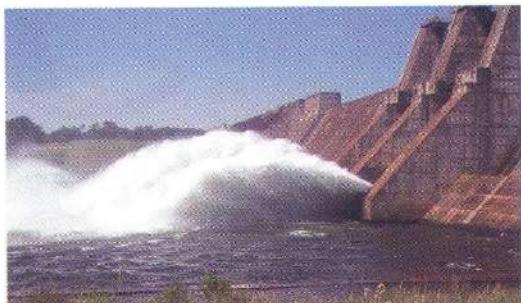


Figura 3.1 Represa hidroeléctrica

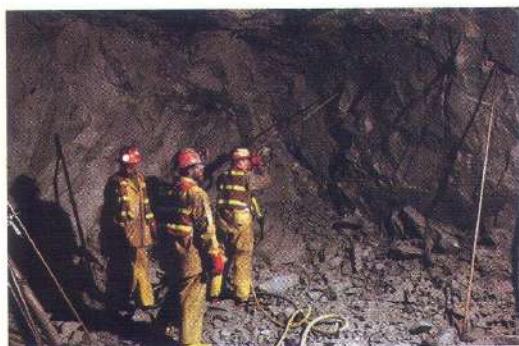


Figura 3.2 Trabajo de mineros en una mina subterránea

Un ejemplo clásico de la diferencia entre recurso y reserva es este pequeño juego: “reserva” es el dinero que hay en tu bolsillo ahora. En cambio, “recurso” sería todo el dinero que podrías ganar (¡o no!) a lo largo de toda tu vida, pero... no lo tenés ahora sino que deberás idear o descubrir técnicas o habilidades para conseguirlo. Como moraleja, no podés gastar ni endeudarte a expensas de lo que aún no has conseguido y que ni estás seguro si lo podrás conseguir.

Este concepto es fundamental cuando consideramos los recursos mineros, ya que algunos de ellos son fundamentales para la vida, (como la sal de mesa) y otros para sostener el presente nivel de tecnología (como las tierras raras).

RECURSOS MINEROS

Todas las sociedades humanas modernas dependen de los recursos minerales para su sostenimiento y desarrollo. Entonces, es muy importante entender que el grado de confort alcanzado por nuestra civilización depende en gran medida de ellos.

Así que antes de demonizar de manera frívola la explotación de recursos minerales, es necesario reflexionar sobre cuán necesarios son para nuestra vida actual. Luego, estudiar cómo podemos recuperar ese equilibrio del que hablábamos al principio, haciéndolo sostenible y, al mismo tiempo, preservando lo necesario para nuestro bienestar y el de las futuras generaciones.

La formación de yacimientos minerales como así también los procesos que dan origen a la concentración y maduración del petróleo y carbón son procesos que exceden los tiempos históricos humanos, y eso precisamente, es lo que los convierte en recursos no renovables.

La manifestación de los recursos mineros en la naturaleza no es siempre igual: dependiendo del contexto geológico, pueden ser desde yacimientos concentrados en **vetas** hasta **diseminados** en la roca madre y la decisión de explotarlos o no, dependerá de los requerimientos del mercado nacional e internacional y de su costo en particular.

Vimos en capítulos anteriores que los minerales no son más que compuestos químicos específicos. Se denomina **mena** al mineral (o agregado de minerales genéticamente emparentados) del que se puede extraer uno o varios elementos químicos que contiene, en cantidad suficiente para su aprovechamiento económico. Eso se realiza través de procesos industriales posteriores. Por ejemplo, la magnetita y la hematita son mena de hierro, el que se extrae y se trata a través de procesos metalúrgicos.

¿Sabías qué...?



Tu casa está hecha con productos de la minería

Las paredes, techos y pisos están construidos con **arena**, cemento —que proviene de **calizas**—, ladrillos y tejas hechos con **arcillas, lajas y piedras** de revestimiento como **granitos, gabros, mármoles y areniscas**. A su vez, las paredes del baño y la cocina están revestidas de azulejos y cerámicos, hechos con **arena, arcillas, calizas** y con **fundentes y colorantes minerales**. Los marcos de las ventanas pueden ser de madera, pero hay muchos de **aluminio** y seguro, todos tienen vidrio, proveniente de fundir **arena** y otros minerales. En el techo, puede haber chapas de **zinc**, o piezas de **hierro o aluminio** y aislantes fabricados con **asbestos** y productos derivados del **petróleo**. Y casi seguro las paredes una vez revocadas con **cal**, cemento o enduido, fueron pintadas con pinturas cuyos espesantes (y también algunos colores) provienen del reino mineral como **carbonatos o talco**. Por supuesto, las vigas que sostienen las paredes y techos son de **acero, hierro** y si son de madera tienen clavos, grampas y escuadras de **hierro** que las sostienen.

Dentro de las paredes, hay caños de agua o de electricidad imprescindibles y dentro de estos últimos, cables y aislantes... pero todos ellos hechos con **plomo, cobre, bronce, acero, hierro o plásticos y derivados del petróleo**.

Los muebles de madera nobles se pueden pintar y protegen con barnices y **aceites minerales**, pero también hay otros lindos de vidrio y metales. Casi todos los componentes de tu computadora, radio, TV, heladera y microondas, y las lámpara para iluminar y el artefacto donde se colocan... tiene elementos que se obtienen de la minería.

Los platos y tazas que hay sobre tu mesa pueden ser de cerámica (**arcillas**) o vidrio (**arenas**), los cubiertos se fabrican con aleaciones de varios **metales** como también las fuentes, asaderas, moldes y ollas en las que se sirven y preparan los alimentos.

Incluso la joyería o fantasías están hechas con aleaciones de metales: **oro, platino, plata, y cobre, piedras preciosas** o vidrio (**arena** y colorantes) de imitación... y la ropa de fibras sintéticas son materiales derivados del **petróleo**... o si son fibras naturales como el algodón o lino, al igual que los alimentos vegetales que consumes a diario, se fertilizan con **fósforo y nitrógeno** obtenido de minerales.



¿Te parece que podríamos vivir con todas nuestras comodidades sin la minería?

Se llama **ganga** a los minerales que acompañan a la mena y que no tienen valor económico, como el cuarzo. La ganga y la mena deben ser separadas en un primer proceso de concentración. A veces, la ganga es portadora de pequeñas cantidades del mineral de mena. Por eso, no se desecha, en la esperanza de que en el futuro con otras nuevas tecnologías, pudiera ser aprovechada como reserva.

Las clasificaciones basadas en la génesis geológica de los yacimientos mineros los definen por su vinculación a las rocas que los contienen, apoyándose en la identificación del proceso geológico que les dio origen: ígneos plutónicos o volcánicos o metamórficos, asociados a tectónica local o regional. O sino sedimentarios, cualquiera de ellos pudieron haber provocado la concentración de esos minerales importantes desde el punto de vista económico. Estos procesos pueden ser variados y combinarse entre sí o repetirse a lo largo del tiempo geológico, haciendo muy complicada la geología de algunos yacimientos.

Por esa razón, mencionaremos solo los modelos más característicos que dan origen a los yacimientos.

YACIMIENTOS ORIGINADOS POR PROCESOS ÍGNEOS Y METAMÓRFICOS

La concentración del mineral se produce por diferenciación magmática y cristalización fraccionada (como vimos en la serie de Bowen). Por ejemplo, son magmáticos muchos yacimientos de cromita (mena de cromo), de oro y también las llamadas rocas de aplicación que se utilizan en la construcción de edificios, como los granitos, sienitas y gabros.

También, la etapa tardío-magmática (al final del proceso de lento enfriamiento del magma) puede originar **yacimientos pegmatíticos**, que se caracterizan por desarrollar cristales de gran tamaño (desde 50 cm a un par de metros). En nuestro país, son típicos en las sierras pampeanas de las provincias de Córdoba y San Luis, y son fuente de micas y litio.

Hay otros yacimientos generados por **alteración hidrotermal**, que es un proceso que depende de la circulación de fluidos a altas temperaturas, que dan lugar por ejemplo al enriquecimiento en cobre o plata de la roca original. También, existen depósitos metalíferos formados a partir de fluidos acuosos influenciados por emanaciones ígneas a temperaturas relativamente bajas (alrededor de 200 °C) y en condiciones de presión moderadas. Se vinculan con manifestaciones volcánicas superficiales que dan origen a **yacimientos epitermales** de oro y plata y de sulfuros metálicos.

El complejo volcánico Farallón Negro en la provincia de Catamarca es un buen ejemplo de concentración de minerales metalíferos por actividad ígnea a lo largo del tiempo geológico. La minería metalífera, también llamada megaminería o minería de gran escala, vinculada a la explotación de oro, plata, cobre, hierro, plomo, zinc, aluminio, litio, arsénico, mercurio y azufre, se desarrolla principalmente sobre la cordillera de los Andes, sierras subandinas y sierras pampeanas donde, entre los procesos geológicos más recientes predominaron los eventos tectónicos determinantes de magmatismo y vulcanismo y que aún continúan activos.



Figura 3.3 Salinas Grandes, provincia de Jujuy

Entre los yacimientos mineros de **origen sedimentarios**, se pueden mencionar los **evaporíticos** que dan lugar por ejemplo, a las grandes concentraciones de sal común y potasio, nitratos, sulfatos y boratos, conocidas como salinas o salares: Salar del Hombre Muerto en Catamarca, Salinas del Bebedero en San Luis, Salinas Grandes en Salta y Jujuy.

Los yacimientos de tipo **placer** son concentraciones naturales de minerales, por lo general, metalíferos, que se separan de los demás granos sedimentarios por su propio peso específico y resistencia a la meteorización y posteriormente son concentrados por las corrientes de agua en ríos o playas. Los minerales más comunes que suelen hallarse de esta manera son oro, platino, topacios, circón, corindón, diamante, magnetita, casiterita, baritina. Por su fácil accesibilidad y manipulación —ya que se los puede tamizar a mano con un plato o batea de forma cónica—, dan lugar a la minería informal, en especial de oro en las arenas de los ríos, que puede resultar tan contaminante como la **megaminería**, si ambas no están regidas por leyes estatales, como ocurre con el mercurio volcado en cursos fluviales brasileros.

También, los ambientes **glaciarios** o **costeros** dan origen a canteras de arena y grava, materiales estos que han sido seleccionados y concentrados naturalmente por el flujo de hielo y las mareas respectivamente.

Otro yacimiento interesante es el formado por la recolección que fomentan las corrientes marinas de **nódulos de manganeso** en las profundidades oceánicas. Se originan por precipitación y litificación a partir de fluidos intrasedimentarios que se concentran en los fondos marinos. Tienen las características formas concéntricas a partir del núcleo de precipitación, pero crecen unos pocos milímetros por cada millón de años y son económicamente importantes porque también contiene hierro, níquel, cobre, cobalto y molibdeno. Están vinculados a las dorsales centro-oceánicas y a las corrientes circumpolares que los agrupan. Se han encontrado en regiones del océano Atlántico Sur cercanas a nuestro país.

Los sedimentos y rocas fosfáticas de donde se extrae fósforo, son muy importantes para la industria de los fertilizantes. Son yacimientos clásicos de origen bio-sedimentario tales como los depósitos producidos por lixiviación (o lavado) del guano de aves, y también por las concentraciones de restos de óseos de vertebrados ya que los huesos contienen **apatita**.

Por último, pueden destacarse como de interés económico los **yacimientos residuales** provenientes de lateritas en las cuales, también por lixiviación se concentra, por ejemplo, la bauxita que es mena de aluminio.



Figura 3.4 Batea para la separación de oro

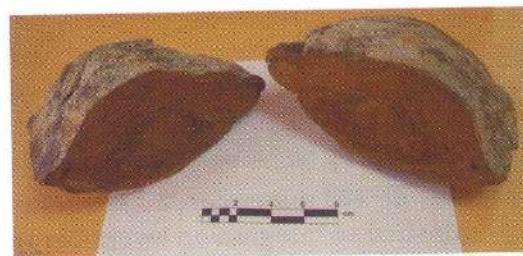


Figura 3.5 Nódulo de hierro-manganeso (Fe-Mn) del Golfo de Cádiz, España

Vocabulario



Apatita

Es un mineral de color blanco verdoso que cristaliza en el sistema hexagonal. Pertenece del grupo de los fosfatos y está compuesto principalmente de fósforo y calcio. También, puede contener cloro y/o flúor. Representa el grado 5 de la escala de dureza de Mohs. Es constituyente de los huesos de vertebrados y del esmalte de los dientes.

Si bien aparece como un mineral accesorio en rocas magmáticas o metamórficas, es el principal constituyente de la roca sedimentaria llamada fosforita, donde adquiere un aspecto terroso, ya que se trata de las variedades micro o criptocristalinas del mineral.



Lectura

Minerales en el celular

La minería es una industria elemental de la civilización humana y la madre de todas las industrias. Sin minería no existirían la industria electrónica, la automotriz, la textil, y la química.

La actividad minera se encuentra intrínsecamente presente en las telecomunicaciones, el transporte, la construcción, la electrónica e informática, la medicina, la generación de energía, etcétera.

El modo de vida moderno no podría existir sin minería

El ejemplo paradigmático de lo esencial de la participación de la minería en la vida diaria es el teléfono celular.

GSMA estima una penetración mundial del celular del 63% en 2015 (suscriptores únicos) y del 72% para el 2020. Es casi impensable hoy prescindir de un celular, y siendo 100% producto de la minería y tecnología, es inconcebible prescindir de estas últimas.

Más de 200 minerales, 80 elementos químicos y, más de 300 aleaciones y variedades de plástico se integran en un simple teléfono celular.

Los circuitos de los celulares están hechos con metales preciosos como el **oro, plata y platino**, como también el **tungsteno, cobre y paladio**.

Sus microchips están fabricados con **niobio y tantalio** que provienen del mineral **coltán**, un superconductor de gran resistencia al calor y significativas propiedades eléctricas lo que lo hace esencial para fabricar microprocesadores, microcircuitos y condensadores para teléfonos móviles.

La ventaja principal de utilizar tantalio en condensadores es su alta eficacia volumétrica. Permite la miniaturización, alta fiabilidad y estabilidad sobre una amplia gama de temperaturas (-55 °C a 125 °C).

El **niobio** es clave para realizar aleaciones para la electrónica moderna.

La provincia argentina de Salta tiene las mayores reservas de coltán en los nevados de Cachi y Palermo.

Las pantallas contienen **yodo y mercurio** para dar color.

Los celulares pueden usar distintos tipos de baterías de metales como el **níquel, cobalto, zinc, cadmio y cobre**. Sin embargo, como consecuencia de su mayor durabilidad, potencia y bajo peso, se han impuesto las baterías de ion **litio**.

El litio (Li) es el metal más electronegativo de la tabla periódica. En los salares de Argentina, Bolivia y Chile, está el 85% de las reservas mundiales de **litio**. En Argentina, el litio se encuentra en las salinas de Jujuy, Salta y Catamarca, en el llamado **triángulo del litio** en la zona de la Puna.

El celular contiene **cobre, oro, plata, hierro, níquel, zinc, plata, rodio, paladio, berilio, magnesio, molibdeno, vanadio, cobalto, carbonato de calcio, carbonato de sodio, mica, talco, boratos, caolín, wollastonita, cuarzo, feldespatos**.

De la misma manera que no imaginamos dejar de utilizar nuestro celular a diario para estar en contacto con nuestros amigos y familiares, enviando mensajes, consultar el clima y las noticias, programar la alarma del despertador, escuchar música, participar en redes sociales y administrar nuestra cuenta bancaria, todo desde nuestro teléfono celular, es importante tomar conciencia que gran parte de todo esto es posible gracias a la minería.

Fuente: <http://www.lamineriaentuvida.com.ar/minerales-en-el-celular/>



Actividades

¿Qué hay adentro de tu celular? Después de leer el texto, concluimos que si eliminamos la megaminería no tendríamos más celulares, ni computadoras, ni comunicaciones, ni siquiera casas como las conocemos ahora. ¿Y entonces... qué hacemos? ¿Es todo o nada?

La nación argentina tiene leyes sobre minería, algunas inspiradas en la legislación canadiense, que está entre las más estrictas del mundo en materia ambiental... pero no se cumplen.

1. ¿Qué opinás? ¿Habría que hacer cumplir las leyes? ¿Cómo? ¿Habría que generar nuevas? ¿Cuáles?
2. ¿Qué puntos te parecen fundamentales si tuvieras que planificar un EIA frente a la posibilidad de iniciar un proyecto minero?



Lectura

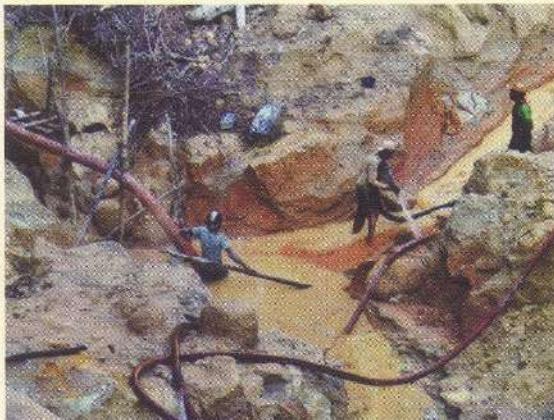
Conoce a los garimpeiros, mineros informales sin fronteras

La minería informal en Brasil parece no tener fronteras. *Garimpeiro* es un término portugués que puede traducirse como minero informal. Ellos vienen teniendo auge en esta actividad desde 2005. Actualmente, se calcula en diez mil las personas que contaminan con mercurio los ríos y ahuyentan a las comunidades nativas de la Amazonia en busca de oro, diamantes y otros metales y piedras preciosas.

Debido a la amplitud de la Amazonia, los *garimpeiros* se han extendido más allá de las fronteras de su país. La selva venezolana es, también, un usual centro de operaciones para estos mineros, quienes ya han causado problemas diplomáticos entre ambos países.



Garimpeiros buscando oro y diamantes en condiciones muy precarias



Garimpeiros trabajando en el río Madeira.
Foto: Agencia Pública (Brasil)

La gran mayoría de los *garimpeiros* vienen de regiones de bajos recursos y sin mayores oportunidades económicas. Estos mineros tienen bajo nivel educativo y generalmente son analfabetos o solo tienen estudios primarios, según el investigador.

Las zonas a lo largo del río Madeira son algunas de las áreas de mayor incidencia de estos mineros informales, según un estudio de caso de Vallim. Sin embargo, suelen operar en campamentos temporales junto a todas sus familias.

No obstante, las largas jornadas de trabajo que cumplen los *garimpeiros*, ellos difícilmente acceden a mejor calidad de vida. Usualmente, extraen oro con máquinas que hacen ruido las veinticuatro horas del día, en condiciones insalubres y están expuestos a múltiples enfermedades.

Brasil vivió un “boom del oro” durante la década de 1980. Es en ese tiempo cuando aparecen los *garimpeiros* que llegaron a ser entre 300.000 y 400.000 en su época de mayor apogeo. Con el posterior declive de la minería, se calcula que actualmente no sobrepasan los 10.000 individuos.

Fuente: <http://www.lasrutasdeloro.com/brasil-conoce-a-los-garimpeiros-mineros-informales-sin-fronteras/>

Actividades

En portugués, un *garimpo* es una explotación minera manual, “artesanal” en lugares alejados. En Brasil, los *garimpeiros* son mineros que trabajan en la selva del Amazonas en condiciones muy precarias, buscando oro y diamantes en los ríos. Ponen en riesgo su salud porque usan mercurio o cianuro para amalgamar el oro, que luego vierten a los cursos de agua. Así, se contaminan los ríos, se deforestan la selva y existen graves conflictos con las tribus nativas.

Los *garimpeiros* son también gente pobre que no tiene otro recurso para ganarse la vida. Pero esta forma de minería es ilegal. ¿Debería el estado brasileño intervenir para proteger los recursos naturales, pero también para proteger a toda la gente? ¿Cómo resolverías este problema si estuviera en tus manos?

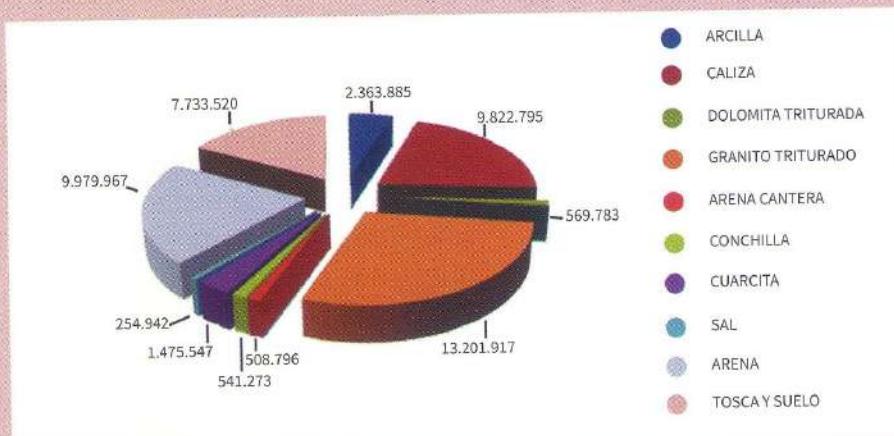
¿Sabías qué...?

La provincia de Buenos Aires es la mayor productora nacional de rocas de aplicación y **áridos** para la industria de la construcción, obras viales y civiles de gran envergadura. En particular de calizas, dolomías (para la industria del cemento), cuarcitas, granitos, arenas, tosca, arcilla, conchilla y sales.

Los recursos mineros se ubican fundamentalmente en los sistemas serranos de Tandilia y Ventania, en el río Paraná y el litoral marítimo de la provincia de Buenos Aires.



Grava utilizada para la construcción



Producción minera de la provincia de Buenos Aires (2013)

Vocabulario



→ Árido

Se denomina árido al material granulado, como la grava y la arena, que se utiliza como materia prima en la construcción. Son una materia prima fundamental en la construcción de edificios e infraestructuras de un país, siendo la más consumida después del agua.

RECURSOS EDÁFICOS: LOS SUELOS

Los suelos representan una parte muy importante de nuestro medioambiente. Su desarrollo es un proceso complejo de interacciones entre las rocas y el ciclo hidrológico que produce por meteorización los principales componentes del suelo.

El material originario o **roca madre** tiene influencia fundamental sobre las características de los suelos, como así también el clima (sobre todo las precipitaciones y la temperatura), el relieve o topografía, los seres vivos que lo habitan y también la edad o tiempo que lleva desarrollándose un suelo. Para generar escasos centímetros de suelo, pueden ser necesarios cientos o incluso miles de años, y de ahí la importancia de su preservación.

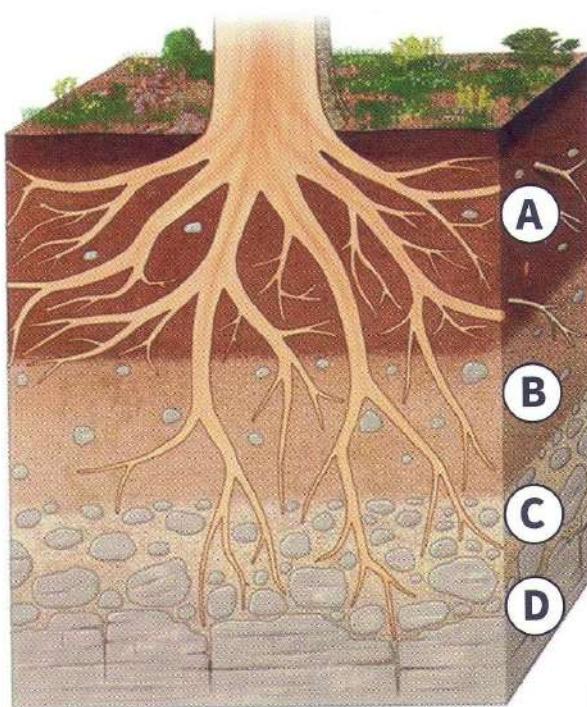


Figura 3.6 Perfil del tipo de suelo

El espesor que puede alcanzar un suelo es variable y a ese desarrollo vertical se lo denomina **perfil**. Al perfil se lo separa en varias capas u **horizontes**. Un perfil de suelos convencional consta de **tres horizontes básicos** que se denominan desde la superficie hacia abajo A, B y C respectivamente. Puede faltar alguno o estar uno de ellos más desarrollado que el resto o alguno de esos horizontes en particular, estar subdividido.

Estos horizontes son fáciles de apreciar en la realidad por sus colores característicos y texturas.

Horizonte A de lixiviación o eluviaión

Es la capa superior y superficial, bien aireada, con raíces y microorganismos. En general, es de tonos oscuros cuando hay gran contenido en humus. El agua meteórica se va infiltrando, solubiliza y transporta sales hacia niveles inferiores, que precipitan en el siguiente horizonte. Por ejemplo, en climas húmedos, este horizonte está subdividido en: Horizonte A1, rico en materia orgánica —también llamado Horizonte O—, por lo que es oscuro y Horizonte A2, o zona de lixiviación, pobre en materia orgánica, arcilla, óxidos de hierro y aluminio que han sido arrastrados al horizonte inferior.

Horizonte B de precipitación o iluvial

Aquí se acumulan las arcillas y óxidos de hierro que han sido arrastradas por el agua del horizonte superior, por lo que es menos poroso, y el carbonato cálcico que precipita formando acumulaciones irregulares, llamadas caliche. Es de color más claro que el A, amarillo a pardo rojizo.

Horizonte C o zona de transición

Está formado por la roca madre en proceso de desintegración. Es el más profundo, siendo la capa de tránsito hacia la roca madre. Está integrado por una combinación de los fragmentos de dicha roca madre, arena y arcilla. Actúa de receptor de soluciones que el agua arrastra desde las capas superiores.

Horizonte D

Es la capa más profunda del suelo, está formado por la roca madre fragmentada, por lo que también recibe el nombre de Horizonte R. Algunos autores lo distinguen como R, cuando el suelo es **alóctono**, es decir, cuando no tiene relación particular con la roca sobre la cual se apoya y sus componentes fueron traídos de otro lugar.

Otras características evaluables del suelo

▶ Porosidad

Es la capacidad del suelo de tener **poros** o espacios vacíos entre sus partículas componentes. A menor tamaño de las partículas menor será la porosidad del suelo y viceversa.

▶ Permeabilidad

Es la capacidad del suelo para permitir el paso del agua. A mayor porosidad, mayor permeabilidad y viceversa.

▶ Capilaridad

Es la propiedad del suelo que le permite retener agua entre las partículas. A mayor porosidad, mayor permeabilidad y menor capilaridad. En una región seca, un suelo con buena capilaridad será más fértil que uno con mayor permeabilidad.

▶ Acidez o pH del suelo

Afecta su capacidad para retener minerales y la solubilidad de ciertos iones.

▶ Órdenes de suelo

Los órdenes de suelo se utilizan para clasificar los suelos de acuerdo a sus características físicas. Según la Taxonomía de Suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, que es la que se utiliza en nuestro país, existen 12 órdenes distintos. En Argentina, también conocemos y usamos los 12.



Figura 3.7 Medidor de pH en el suelo

▶ Aridisoles

Son suelos de color castaño o gris que se encuentran en zonas áridas y semiáridas donde las sales y los carbonatos se acumulan cerca de la superficie, lo que los hace poco fértiles. Ampliamente distribuidos en Argentina principalmente en Patagonia, Cuyo (centro este) y Noroeste argentino (NOA). Su conservación suele estar en riesgo porque la población local realiza sobre ellos riego o labranzas inapropiadas o sobrepastoreo y estos procedimientos causan un rápido deterioro. Desde diferentes organismos, se ha intentado prevenir la **desertificación**.

▶ Alfisoles

Son suelos con arcilla de **iluviaciόn**. Pueden dar lugar a bañados y pantanos, pero en Argentina tienen uso agrícola y ganadero. Se encuentran ampliamente representados en las planicies chaco-pampeanas.

▶ Vertisoles

Poseen gran cantidad de arcillas expandibles, que causan profundas grietas durante la estación seca. Son más usados para la ganadería ya que para la agricultura requieren un manejo experto, debido a que son especialmente útiles para el cultivo de arroz. Se los encuentra en Entre Ríos y noreste de la provincia de Buenos Aires y en algunos valles patagónicos.

► **Molisoles**

Son suelos oscuros con pasturas. Tienen la capacidad de drenar bien. Son los más fértiles del país e ideales para la agricultura. Característicos en la pampa húmeda.

► **Gelisoles**

Suelos que se mantienen helados durante todo el año (llamados también permafrost). Se ubican en tundras de altas latitudes y en la Antártida (isla Marambio).

► **Histosoles**

Están constituidos por restos orgánicos vegetales, se encuentran en regiones húmedas, frías y mal drenadas. Representan zonas pantanosas asociadas a turberas. Solo se utilizan para el pastoreo del ganado. Por ejemplo, en Tierra del Fuego e islas Malvinas.

► **Andisoles**

Se encuentran en los valles andinos de clima templado y frío. Se desarrollaron sobre sedimentos glaciarios o rocas ígneas, y contienen importantes cantidades de cenizas volcánicas.

► **Entisoles**

Distribuidos en zonas áridas y semiáridas de Patagonia y NOA y franjas costeras del país. Se utilizan pero bajo riego, con sistemas provenientes de ríos importantes.

► **Ultisoles**

Son de color rojo y se encuentran en las regiones húmedas subtropicales. En estos suelos, se desarrolla una buena vegetación arbórea. En Argentina, los vemos en los vistosos suelos rojos lateríticos propios de la provincia de Misiones.

Los suelos más característicos de la provincia de Buenos Aires son molisoles, vertisoles, aridisoles y alfisoles.

¿Sabías qué...?



Señales escritas en polvo

Por debajo de los actuales suelos de la provincia de Buenos Aires, existen formaciones geológicas correspondientes a los últimos dos millones de años que contienen **paleosuelos** o suelos fósiles preservados.

Contienen materiales muy característicos como son los **sedimentos loessoides**, de origen eólico, de tamaño limoso, de aspecto masivo y con la propiedad de mantenerse en paredes verticales, lo que puede ser observado cuando afloran en barrancas. Contienen también materiales piroclásticos que proviene del vulcanismo cordillerano durante el Pleistoceno. Este proceso de lluvias sutiles de cenizas, lo podemos apreciar aún en la actualidad cuando entra en actividad algún volcán argentino o chileno de la cordillera de los Andes. Por lo general, las trizas vítreas piroclásticas enriquecen los suelos ya que le agregan nutrientes que son luego aprovechados por los cultivos.

También, aparecen acumulaciones de carbonato de calcio en capas o calcretas y en nódulos, conocidos como **toscas** o muñecos de tosca respectivamente. Estas concreciones se formaron sobre o cerca de la superficie del suelo, y si bien reconocen una variedad de orígenes, parecen estar principalmente relacionadas con períodos de aridez, por lo que también pueden utilizarse como indicadores climáticos del pasado.

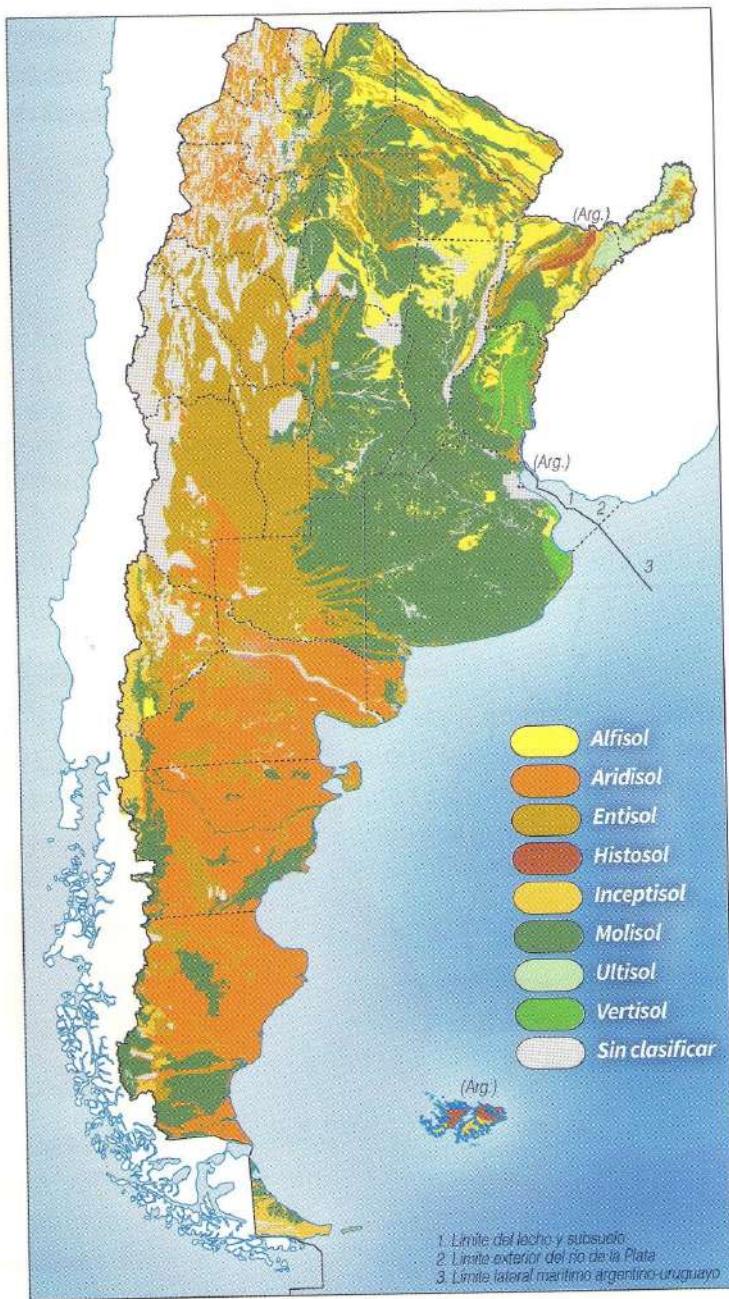


Figura 3.8 Mapa de órdenes del suelo. Fuente: INTA

LOS RECURSOS HÍDRICOS

El agua superficial que corre por ríos y arroyos, en nuestro país, están representados por pocos cursos pero de gran caudal, como los ríos Paraná y Salado que nutren la región pampeana, o los ríos Negro y Colorado que enriquecen el norte de la Patagonia. Sin embargo, gran parte de nuestro territorio está comprendido dentro de la **diagonal árida**, lo cual convierte al agua subterránea en un recurso de significativa importancia.

El agua subterránea se aloja en una formación geológica de características particulares que permite el almacenamiento de agua, denominada **acuífero**. Estos se **recargan** naturalmente a través del agua de lluvia que les llega desde la superficie terrestre o a través de los ríos. Los acuíferos abarcan grandes extensiones regionales. Haciendo una descripción general de las **litologías**, el reservorio

de agua está constituido por arenas bien seleccionadas y gravas lo que permite que existan huecos entre los clastos llamados **poros**, donde se alojará el agua. Las formaciones arenosas están limitadas o confinadas por capas de arcilla que al no ser porosa evitará que el agua migre.

Vocabulario

Litología

Del griego *lithos*, "roca" y *logos*, "estudio". Es la descripción de una roca según su textura, color, componentes minerales, tamaño de las partículas, cementos, estructuras, porosidad y cualquier otro rasgo que la identifique. Por extensión, se denomina litologías a las características individuales y distintivas de los estratos rocosos que componen una formación geológica, como por ejemplo, areniscas grises de grano grueso, bien estratificadas, dispuestas sobre pelitas rojas masivas.

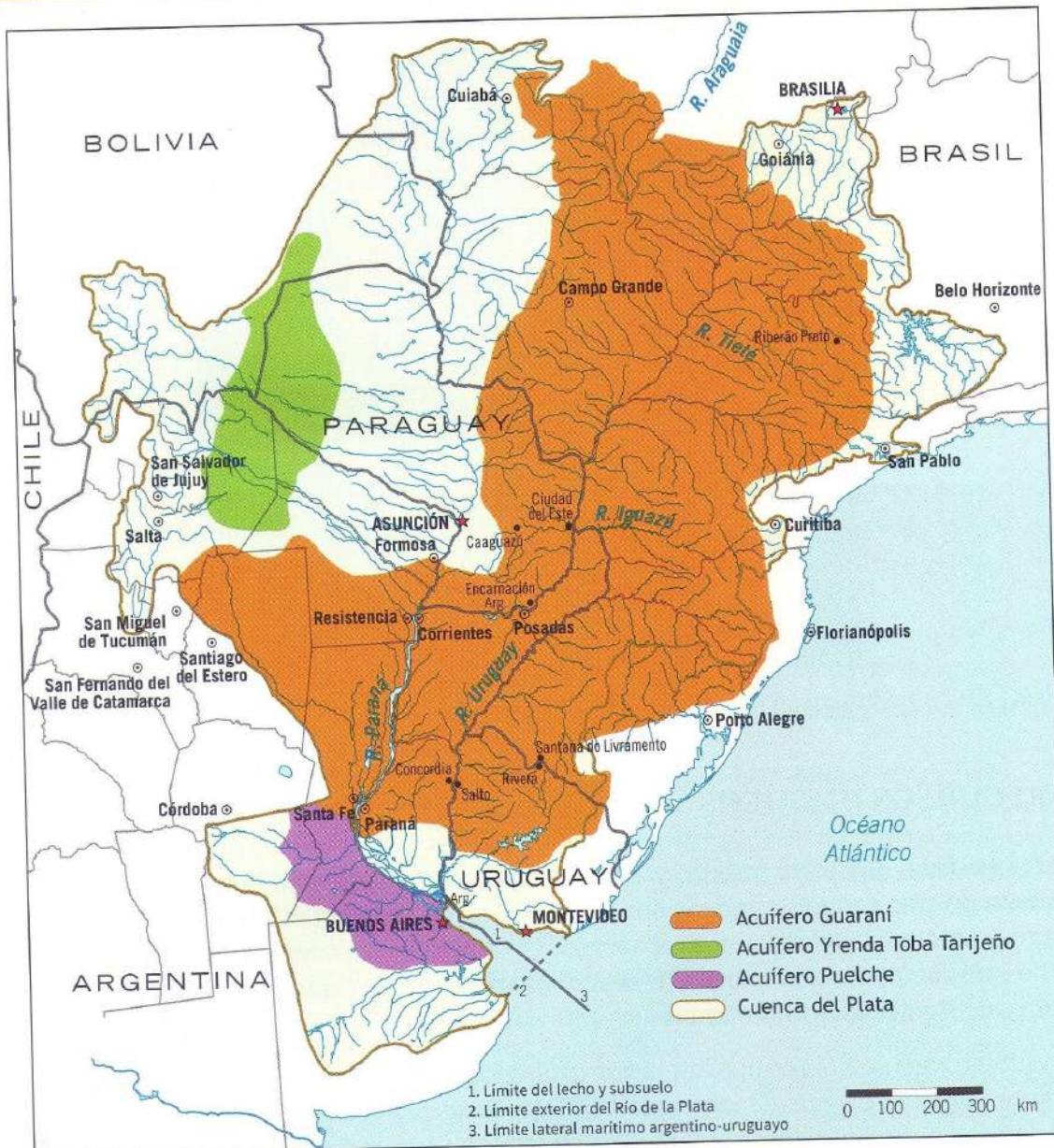


Figura 3.9 Mapa de los acuíferos Puelche, Guarani y Yrenda Toba Tarijeño

El hombre accede al agua subterránea a través de construcciones especiales denominadas **pozos**. Muchas veces el agua potable para el ser humano se halla a gran profundidad lo que encarece esta construcción. Los pozos domésticos (para la vivienda o pequeños rebaños de ganado) son de poco caudal, pero los grandes complejos industriales y grandes desarrollos urbanos utilizan bombas y pozos con grandes caudales, lo que a menudo genera la sobreexplotación y contaminación del acuífero. La contaminación puede provenir de desechos humanos e industriales, o por ingreso del agua de mar como ha ocurrido en el litoral atlántico bonaerense debido a la reducción de la presión hidrostática propia del pozo por sobreexplotación. En ambos casos, el pozo queda inutilizado para el consumo humano.

Clasificación de los acuíferos según la presión hidrostática

➤ Acuíferos libres

También, llamados no confinados o freáticos. El agua almacenada está en contacto con el aire y con la presión atmosférica.

➤ Acuíferos confinados

También, llamados cautivos. El agua está sometida a una presión superior a la atmosférica o presión de carga generada por los sedimentos que la cubren y ocupa todos los poros de la formación geológica, **saturándola**. Al extraer agua con una bomba, los poros no quedan vacíos, solo disminuye la presión del agua. Al perforarlos por primera vez, como están a mayor presión que la presión atmosférica el agua surge en forma natural.

➤ Acuíferos semiconfinados

Son frecuentes ya que reúnen, en distintos tramos, características de los dos mencionados más arriba porque algunas de las capas confinantes son semipermeables y se las llama **acuitardos**.

➤ Acuíferos multicapas

Son frecuentes en las grandes formaciones regionales como el acuífero Puelche bajo la pampa húmeda. Constan de varias capas con distinta permeabilidad. Siempre las aguas de mejor calidad son las más profundas, porque están menos contaminadas (los fertilizantes que se utilizan para mejorar los cultivos, también acaban llegando a las aguas subterráneas) ya que el proceso de filtrado a través de las varias capas de arena fue más lento y largo. La única excepción es que se trate de **agua connata** o **fósil**, que se encuentra atrapada allí desde el origen de la formación geológica y, en general, corresponden a antiguos mares, por lo que es salada e inservible para el consumo humano, animal o riego.

Uso del territorio

Se entiende como uso del territorio a la intervención que realiza el hombre sobre una superficie natural (paisaje, suelos, agua, atmósfera) para producir, modificar o mantener a través de la explotación de sus recursos naturales.

Podemos mencionar distintos usos del territorio:

- Zonas donde se ha decidido construir una ciudad, lo que involucra el uso (y desgaste) de ciertos recursos. Por lo tanto, es muy necesario **planificar** donde estarán las zonas de vivienda, las fabriles y las de recreación en función de esos recursos disponibles, su cuidado y conservación.

- Zonas para cultivar ciertos vegetales, pero pensando en los recursos disponibles no da lo mismo plantar frutales, árboles madereros o cereales. Ni siquiera cualquier cereal, porque cada uno de ellos va a agotar distintos nutrientes del suelo, o va a tener distintos requerimientos de agua para ser productivos.
- Zonas destinadas a la ganadería. Para aumentar su extensión, es frecuente que se talen bosques naturales, lo mismo que para las plantaciones de árboles exóticos o cereales. Esto puede producir una reacción adversa en flora y fauna silvestre con la consiguiente alteración de las relaciones ecológicas.
- Zonas donde se desarrollará minería en galerías subterráneas o a cielo abierto. Será necesario conocer los recursos hídricos, el valor de la tierra en relación a la producción minera y el costo, según lo impongan las leyes estatales cuando la producción se termine y decida cerrarse la mina.

En todos estos casos, es necesario evaluar la situación y sus posibles resultados antes de iniciar el emprendimiento y también planificar en consecuencia.

El uso del territorio abarca cuestiones de políticas integrales de conservación de los recursos y reservas, problemas legales sobre propiedades de la Tierra y las comunidades que la habitan y usufructúan, como así también de su preservación para el futuro.

La evaluación del territorio para cualquier uso debe ser realizada por un equipo multidisciplinario de profesionales que intercambien y sumen sus saberes: geólogos, geógrafos, ingenieros civiles, ingenieros hidráulicos, biólogos, meteorólogos, arquitectos, sociólogos, abogados y administradores públicos.

CONVIVIR CON LA MADRE TIERRA

La **geología ambiental** comprende el estudio de la relación del ser humano con el medio geológico. También, analiza cómo esta relación va variando con el avance de la tecnología y el aumento de la población mundial. Un medio puede ser naturalmente favorable o desfavorable para la vida o la actividad humana, pero la propia acción antrópica puede incrementar cualquiera de esas dos características. Es decir, puede tornarlo más adverso o hacerlo beneficioso. Así, un medio puede ser muy agresivo, como el **volcánico**, pero tiempo después de que las cenizas se hayan incorporado al suelo, puede convertirlo en más poroso y aireado, como también agregarle nutrientes, lo que favorece el cultivo de vides como ocurre en Mendoza.

Otro ejemplo son las **inundaciones**, fenómenos naturales y muchas veces cíclicos. Conocedores de esta particularidad, ya los antiguos egipcios aprovechaban los desbordes periódicos del río Nilo para fertilizar y enriquecer los suelos cultivables con los limos y arcillas que dejaban las aguas al retirarse. Respetaban el calendario para sembrar y cosechar, y mantenían con sus abundantes caudales una relación pacífica.

Pero las inundaciones pueden ser agravadas por un mal uso de la tierra, por urbanización indebida o por la desertificación que aumenta la escorrentía superficial.



Figura 3.10 Desmontes para la plantación de soja

No siempre los resultados de la relación humano-naturaleza deben ser desastrosos o catastróficos, en particular, si existen **planes de contingencia** y **planes de manejo ambiental**. Vamos a estudiar ahora cómo se llega a ellos.

Dado que diferentes ramas profesionales y técnicas se ocupan de los temas ambientales, es frecuente que algunas palabras que se utilizan en esta especialidad tengan distintas connotaciones o matices, así como también diferentes traducciones ya que muchas de ellas provienen del inglés.

Una flecha con dos sentidos

Las definiciones siguientes son, por supuesto, con sentido geológico:



Qué interpretamos los geólogos cuando decimos...

➤ Riesgo

Probabilidad de que ocurra un acontecimiento con consecuencias negativas (y de distinto grado sobre personas o bienes) a raíz de un evento o proceso natural, o provocado/agravado por el hombre. El concepto se enfoca en las **consecuencias**.

Por lo tanto, podemos identificar dos tipos básicos de riesgos geológicos: **naturales** e **inducidos**. Los primeros pueden originarse en procesos:

- **Endógenos**: sismos y tsunamis asociados; actividad volcánica con emisión de lava o de material piroclástico, o de gases tóxicos.
- **Exógenos**: inundaciones fluviales y lacustres, desprendimiento de rocas, corrientes de barro, deslizamientos, asociado a lluvias torrenciales estacionales. Erosión costera y marejadas inusuales asociadas a tormentas, erosión fluvial, erosión de suelos, desertificación y salinización, hundimiento de tierras, impacto de meteoritos.



Figura 3.11 Inundación en el Gran Buenos Aires

Los **inducidos** son aquellos riesgos generados o agravados por alguna acción equívoca del hombre, como por ejemplo, cuando se contamina el agua o el suelo, o se produce una subsidencia del suelo por la sobreexplotación de acuíferos, o deslizamientos inducidos por excavaciones o descalce de pendientes (en la construcción de rutas, por ejemplo), inundaciones por rotura de presas, manejo inadecuado de médanos y diseño erróneo de muelles y espigones que impiden la deriva litoral y fomenta la desaparición de playas, etcétera.

➤ Peligrosidad

También, considerada como amenaza, es la probabilidad latente de que ocurra de ese fenómeno en el área estudiada, en un tiempo determinado. Se enfoca en las causas.

➤ Vulnerabilidad

Es la debilidad o incapacidad de un sistema para equilibrar o anular el efecto de un cambio en el medio. Cualquier sistema natural puede ser vulnerable dependiendo de la amenaza, que es lo primero a identificar. Además, puede hacer referencia a la vulnerabilidad física de los asenta-

mientos humanos en zonas de peligro (por ejemplo, en zonas inundables), y/o a las deficiencias de sus estructuras físicas para absorber los impactos negativos (por ejemplo, ausencia de edificación antisísmica en zonas donde los terremotos son habituales). Se enfoca en bienes humanos y naturales y sus controles.

Factores de vulnerabilidad para los seres humanos

Pueden ser:

- **Ecológicos:** la explotación sobredimensionada de un recurso, que no le permite recuperarse y, entonces, se degrada muy rápido.
- **Políticos:** falta de conocimiento o fondos para llevar a cabo la gestión de riesgo y/o toma de decisiones a nivel nacional, provincial o municipal.
- **Educativos:** falta de conocimiento de la población general acerca de prácticas productivas y técnicas en la administración del recurso. Falta de vinculación entre los centros educativos y las comunidades civiles.
- **Culturales:** falsas creencias de los pobladores o comunidades acerca de los fenómenos naturales que pueden influir en su reacción ante el riesgo.

Susceptibilidad

Fragilidad innata del territorio estudiado. Va a depender de su geomorfología, o del tipo de litologías y estructuras presentes frente al proceso o evento geológico considerado.

Por tanto, la vulnerabilidad física se refiere a las características del elemento expuesto, mientras que la susceptibilidad lo hace a las condiciones del terreno sobre el cual están ubicados estos elementos expuestos.

Estos conceptos básicos quedan relacionados con la fórmula:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligrosidad} \times \text{Vulnerabilidad}$$

A manera de resumen conceptual, podemos decir que la amenaza o peligro aprovecha una vulnerabilidad y, entonces, se concreta como un riesgo, que debe ser correctamente evaluado (en términos tales como: nulo, bajo, alto o muy alto).

Hasta aquí, las consideraciones fueron **antropocéntricas**, es decir, vistas desde el ángulo humano, desde lo que perjudica al hombre, pero... ¿qué le hace el hombre a la naturaleza?

b) Impacto ambiental



El **impacto ambiental** es el efecto causado por alguna actividad humana sobre el medio ambiente. Pero podemos cuantificarlo para evaluarlo posteriormente, si lo consideramos como la alteración de la **línea de base**.

Definimos este término como los datos o descripción de una situación ambiental en una fecha original determinada y sin que haya habido una intervención antrópica previa. Es una instantánea del paisaje en su sentido geológico. Luego, esos valores serán utilizados para compararlos con los de una situación crítica posible presente o pasada, pero posterior a la línea de base.



Figura 3.12 Imágenes satelitales del proceso de deforestación en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

Los datos tomados en el lugar o adquiridos de registros públicos o privados deben ser muchos y diversos, suficientes para construir una base de datos que, considerando todos los elementos (actividad humana prevista, suelo, agua, clima, biomasa, geomorfología, etc.) permita la realización de una **Evaluación de Impacto Ambiental** (EIA).

Esta se define como el procedimiento combinado tanto técnico como administrativo, utilizado para identificar, interpretar y prevenir el o los posibles impactos ambientales que producirá un proyecto (un dique, una ruta, un puente, una urbanización, etc.) o explotación (minera, petrolera, industrial, etc.) en su entorno en caso de concretarse, con el fin de que la administración competente (en general pública, municipal, provincial o nacional) pueda aceptarlo, rechazarlo o modificarlo.

Las EIA deberían ser un requerimiento indispensable previo a cualquier explotación económica sobre la naturaleza para conocer los posibles efectos colaterales de la misma. Esto no impide que el emprendimiento, denominado **variante cero**, se realice, sino que puede modificarse. Tal vez esto puede hacerlo menos rentable, pero sostenible en el tiempo que dure el desarrollo de la empresa, sin consecuencias severas (o que puedan ser reversibles) para el medioambiente circundante con un manejo adecuado ya que se deben evaluar sus beneficios, como la generación de empleo local y el ingreso de divisas para la región lo que puede redundar en mejoras para la población local.

Mapas temáticos

La cartografía de riesgos consiste en diferentes tipos de mapas y a distintas escalas que muestran visualmente en forma separada o combinada, las problemáticas involucradas. Así, se confeccionan mapas de peligrosidad, de exposición, de vulnerabilidad, de riesgo, etc. Los SIG o **Sistemas de Información Geográfica** (GIS, por sus siglas en inglés) son programas informáticos muy utilizados para estos trabajos, ya que facilitan el almacenamiento y análisis de enormes cantidades de datos, los grafican y los muestran de manera tridimensional en una pantalla, permitiendo la producción de **modelos** ambientales para el estudio en la prevención de los riesgos geológicos.

Dado que las mayores pérdidas de vidas humanas o de bienes económicas se materializan en zonas peligrosas, los mapas temáticos son de gran ayuda para los decisores políticos y una herramienta fundamental para una correcta planificación territorial, la gestión de emergencias e, incluso, la educación ciudadana.

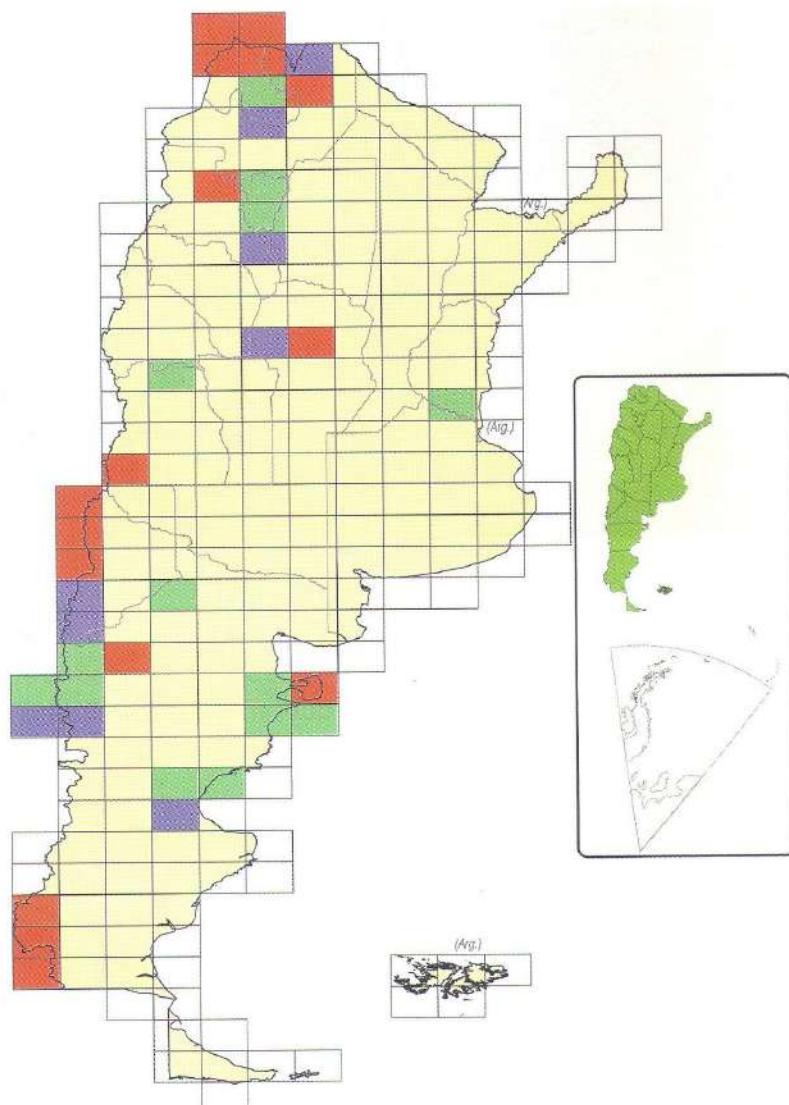


Figura 3.13 Mapa de peligrosidad geológica de SegemAR

El SegemAR (Servicio Geológico Minero Argentino) es la institución oficial y pública encargada de generar los mapas de peligrosidad geológica, de líneas de base ambiental y de ordenamiento del territorio.

Además, es necesario establecer un monitoreo permanente de los elementos sensibles como el agua, el aire, el suelo, los paisajes o lo que corresponda, para observar el **grado** del impacto ambiental en función del tiempo que dura su efecto en el lugar.

Así, se suelen establecer **cuatro grados** de impacto ambiental:

- **Temporal:** no genera consecuencias importantes y le permite al medio volver a su línea de base en un tiempo relativamente breve.
- **Reversible:** el medio se recupera pero en un tiempo mayor y quizás con ciertos tratamientos de remediación.
- **Persistente:** el medio se recupera a largo plazo, y también es probable que no pueda volver exactamente a su línea de base original.

► **Irreversible:** el impacto es tan grave que el medio no puede volver a su línea de base, aunque se apliquen técnicas de mitigación o remediación.

Por último, la **gestión del riesgo** resulta un proceso social complejo por el que se procura reducir el riesgo (geológico y de cualquier otro tipo, natural e inducido) presente en una comunidad. Al mismo tiempo, ofrece la oportunidad de explotar los recursos naturales bajo condiciones de sostenibilidad tolerables.

GEOÉTICA

Es conveniente proponer el concepto de **geoética**, como el estudio y, difusión de la valoración y protección de la geósfera.

Se trata de una nueva disciplina que abarca tanto nociones científicas como humanísticas y que intenta fomentar el análisis crítico sobre el uso de nuestros recursos naturales. Además, ofrece información correcta acerca de los peligros naturales y del desarrollo de tecnologías compatibles con la protección de la naturaleza y del territorio.

Entre sus propósitos, también cuenta con la promoción del rol social de las **geociencias**, en tanto la comunidad llegue a considerar la idea de un “patrimonio geológico” común y compartido que posee valor científico, cultural, educativo como parte del capital social.



Figura 3.14 Geólogo tomando una muestra de lava en el volcán Kilauea, Hawái



Lectura

Se achicaron las playas públicas de Mar del Plata y algunas tienen el tamaño de una cancha de tenis

10/01/2017 - Clarin.com

Sucede en La Perla, Playa Grande, Bristol y Popular. Polémica con los dueños de balnearios privados. Uno, dos, tres, cuatro... veinte. Son veinte los pasos que hay desde que empieza el espacio público de la playa y el mar. Unos once metros, casi el mismo ancho de una cancha de tenis. Ese es el lugar que tienen los veraneantes en Mar del Plata para clavar su sombrilla y encontrar un huequito para su reposera o lona en algunos de los principales balnearios. Todos apretados, uno al lado del otro, desconcertados, amontonados. A eso se le suma que el mar avanzó y hay días en los que el espacio público directamente desaparece. Distintas organizaciones aseguran que la situación es la más crítica de los últimos 20 años.

No hay que ser un geólogo para darse cuenta que las playas de Mar del Plata están más chicas que en temporadas anteriores. Se ve a simple vista en la zona de La Perla, las céntricas, Playa Grande y Punta Mogotes, cuatro sitios clásicos por excelencia de los turistas y locales. Desde la Municipalidad, dicen que el mar creció y comió terreno. Desde la Cámara de Balnearios, aseguran lo mismo, pero agregan que el sector privado no avanzó sobre el área pública: afirman que se necesitan obras. Lo cierto es que ya queda poco lugar para aquellos que no quieren o no pueden pagar el alquiler de una sombrilla o una carpita, hoy a precios elevados.

Son varios los turistas que se quejan. Muchos reclaman que en algunos lugares ya no existen los pasajes para que la gente pueda llegar al mar. Y dicen que las familias a veces deben caminar hasta 500 metros para encontrar un corredor que los lleve al agua.

A raíz de los reclamos y a modo de protesta, los usuarios de Facebook –marplatenses y turistas– crearon una *fanpage*, “En defensa de las playas públicas”, donde comparten imágenes y videos de distintas partes de la ciudad. Los organizadores de esa página se dedicaron a cuantificar los porcentajes que hay de lugar privado vs. el lugar público en la arena. Los resultados sorprenden: según ellos, La Perla tiene un 88% de superficie privada contra un 12% pública; Playa Grande 82% contra 18%; Punta Mogotes 92% contra 8% y algunas playas del Faro 91% contra 9%.

El problema es que al poco lugar se le agregó que el mar está crecido en este 2017. Los expertos dicen que el agua avanza 5 metros por año y en las playas no se hace un refulido (proceso mediante el cual se extrae arena del mar, y se la deposita sobre las playas) desde 1998: “Si no se realizan obras, se va a notar cada vez más el avance del mar, lo venimos diciendo desde hace años”, señalan desde la Cámara de Empresarios de Balnearios, Restaurantes y Afines de la Costa de Mar del Plata.

Fuente: http://www.clarin.com/sociedad/achicaron-playas-publicas-mar-plata-tamano-cancha-tenis_0_rJUGJym8e.html

Actividades

Erosión costera en el litoral bonaerense (uso del territorio)

En la noticia, se habla de la reducción de la playa en Mar del Plata. La gente se queja, hay conflictos con los comerciantes.

¿Te parece que es natural? ¿Se puede hacer algo? Mirá en este blog lo que propone el Municipio de Villa Gesell. ¡Y también podés “curiosear” todo el blog si te interesa saber qué podríamos hacer para salvar nuestras bellas playas!

http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsdl-282/Libro_0002_Marcomini/6_manejo_costero/index_Gesell.htm

CAPÍTULO

4

Historia geológica del paisaje



Mapa del mundo de Petrus Plancius, 1590

El mapa es la representación de los elementos presentes en un área de estudio, ya sea en formato papel o digital. Es decir, que es la representación plana y a escala de una parte de la superficie de la Tierra.

El **mapa topográfico** es la representación del relieve o de las alturas de una región determinada con respecto al nivel del mar.

La altitud es la altura de un punto con respecto al nivel del mar o la línea de costa. Las **curvas de nivel** son líneas sobre el mapa que señalan puntos de igual altitud (a una misma altura sobre el nivel del mar). En cada una de las curvas, o cada cierto número, se indica la altura correspondiente.

Para realizar las curvas de nivel, se interceptan planos horizontales con el relieve. La proyección de todas estas curvas sobre un plano común (el mapa) da lugar a la representación buscada.

La **equidistancia** entre curvas de nivel es la distancia entre los planos que interceptan el relieve, en el mapa es siempre la misma.

En el lenguaje geológico, trabajar a gran escala significa que el área de estudio abarca una extensión del terreno muy amplia, como una cadena montañosa. En cambio, trabajar a pequeña escala es cuando se realiza un estudio muy detallado de una región de un tamaño relativamente reducido.



Figura 4.5 Mapa bicontinental de la República Argentina. Fuente: IGN

Perfil topográfico o corte topográfico

Consiste en representar a partir de un mapa topográfico las altitudes del terreno, siguiendo una línea concreta en el mapa. En el perfil topográfico de la figura 4.6, se observan las distintas altitudes a lo largo de la recta A.

CORTE GEOLÓGICO

Un corte geológico puede definirse como una sección vertical que permite reconstruir en profundidad la estructura geológica de una zona.

La figura 4.7 muestra un corte geológico con su correspondiente interpretación gráfica, realizado según un plano vertical, donde se observa la estructura geológica del subsuelo. Allí, se indican todos los elementos que deben aparecer en el corte geológico: la orientación, la escala vertical y horizontal, la leyenda o explicación de los símbolos y de los colores de las rocas que aparecen representados en el corte geológico.

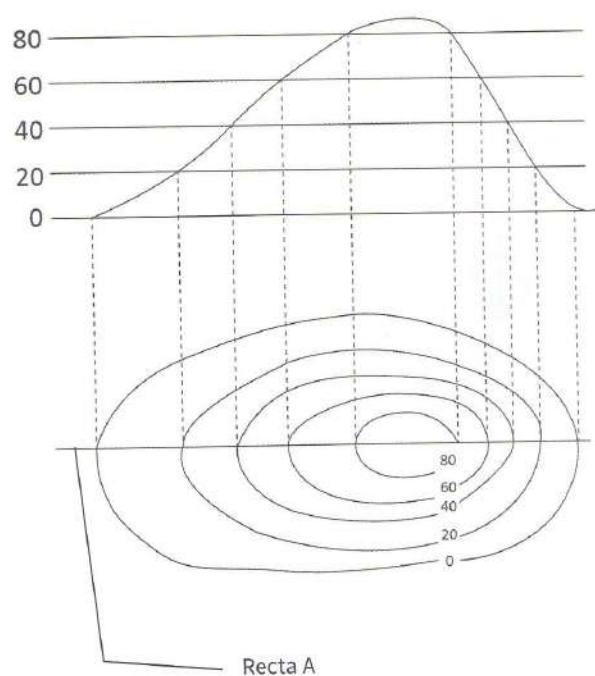


Figura 4.6 Perfil topográfico obtenido a partir de las curvas de nivel. La elevación mayor es de 80 m y la equidistancia es de 20 metros

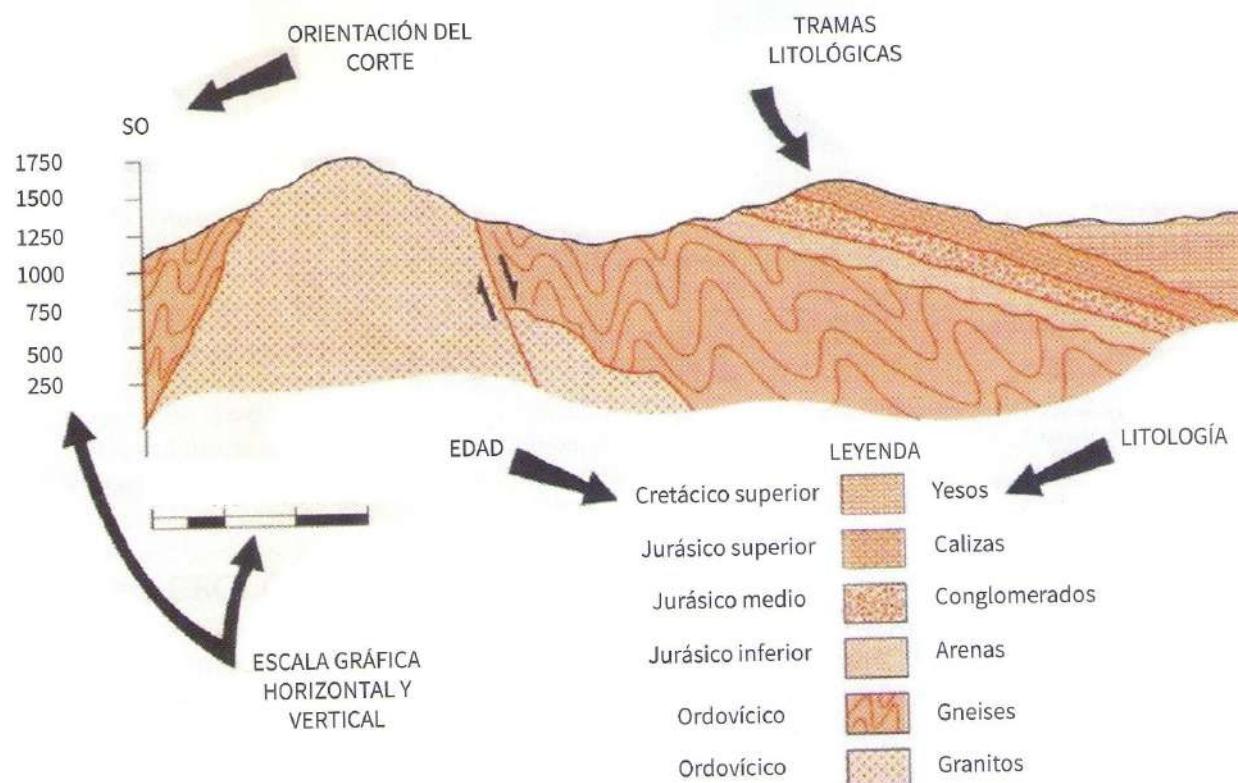
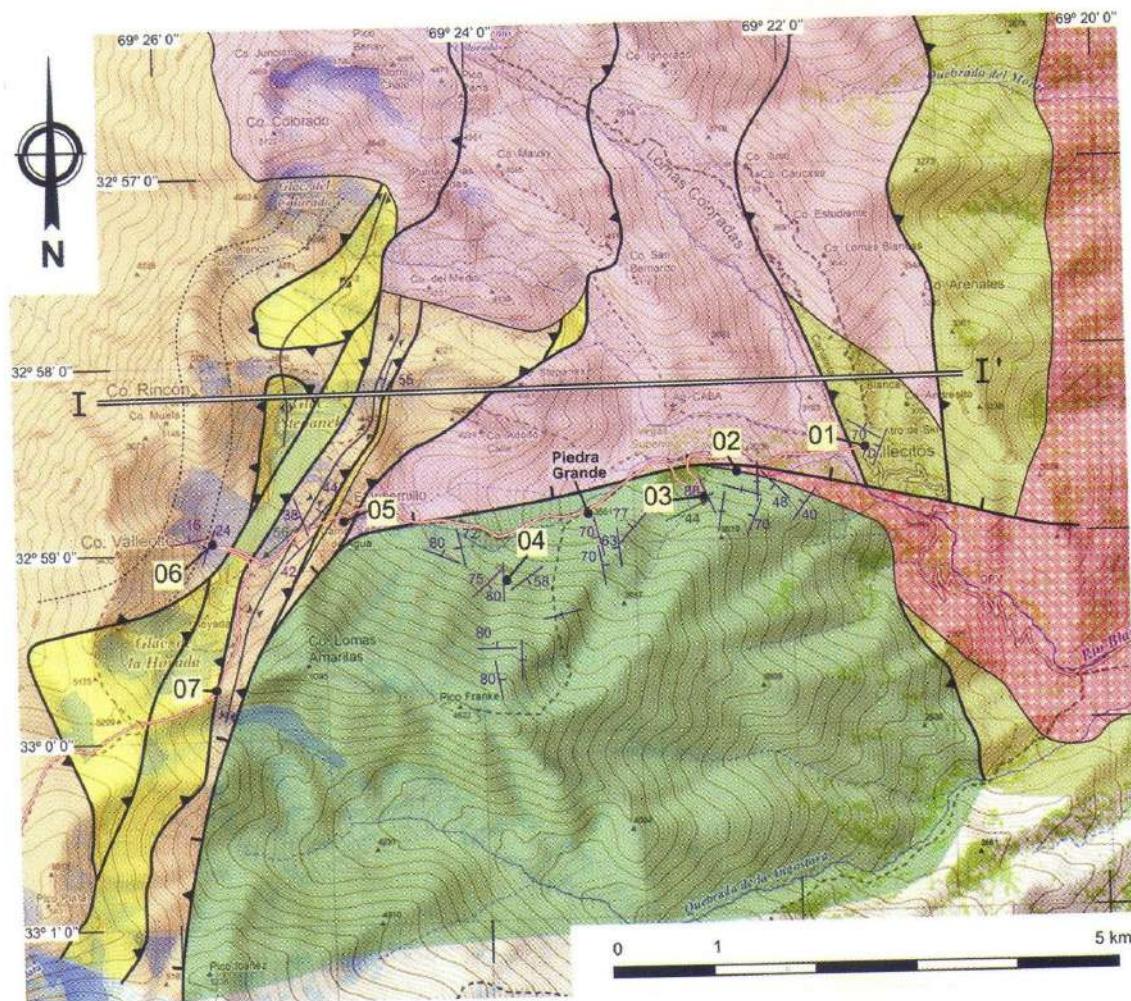


Figura 4.7 Ejemplo de un corte geológico

MAPA GEOLÓGICO

El mapa geológico es la representación de una serie de datos como son los tipos de rocas, las estructuras geológicas, los elementos del paisaje, las edades de las rocas.

**LEYENDA**

[Red Box]	Granitoides triásicos	[Curved Line]	Contacto litológico
[Pink Box]	Grupo Chojoi (Permo-Triásico)	[Line with arrow]	Falla
[Yellow Box]	Miembro superior	[Line with arrow]	Cabalgamiento o corrimiento
[Light Green Box]	Miembro medio	[Line with arrow]	Anticinal
[Dark Green Box]	Miembro inferior	[Line with arrow]	Sinclinal
[Blue Box]	Fm. El Plata (Carbonífero superior)	[Dotted Line]	Trazado de la estratificación
[Green Box]	Capas de Vallecitos (Devónico ?)	[Line with arrow and number]	Estratificación (S0)
		[Line with arrow and number]	Clivaje (S1)
		[Line with arrow and number]	Intersección S0-S1 (L1)
		[Line with dot and arrow]	Punto de parada

Figura 4.8 Mapa geológico de la provincia de Buenos Aires



Lectura

Una tradición cartográfica física y política de la Argentina, 1838-1882

La cartografía constituye un artefacto cultural y técnico. Los mapas de la Argentina de mediados del siglo XIX presentaban el territorio del país a la consideración de los potenciales inversores e inmigrantes europeos.

El primer manual estadístico y geográfico fue escrito en 1838 por Woodbine Parish, primer cónsul británico en las Provincias Unidas del Río de la Plata. En ocho años de estadía diplomática, Parish no pudo convencer al coronel español Cabrer para que le facilitara una colección de cartas geográficas levantadas a fines del siglo XVIII por los funcionarios españoles que discutieron los límites con Portugal. En cambio, sí obtuvo una autorización de Rosas para que el Departamento de Topografía le hiciera algunos planos de la provincia de Buenos Aires.

Ya en Londres, Parish le entregó toda la cartografía a John Arrowsmith, quien se encargó de grabar un mapa físico de las Provincias Unidas del Río de la Plata desde el Río Negro hasta Bolivia. Desde entonces, Parish se convirtió en una autoridad en temas de la América meridional. Compiló un manual que llegó a la ciudad de Buenos Aires y pronto se convirtió en un texto favorable a las posiciones autonomistas sostenidas por los porteños a la caída de Rosas. Justo Maeso lo tomó prestado de la biblioteca del general Guido para traducirlo.

En 1855, el presidente Urquiza contrató a Martin de Moussy, para realizar un vasto plan de exploraciones del territorio nacional. En cinco años, recorrió 22.500 kilómetros y acumuló observaciones de todo tipo de los países y poblaciones que había visitado.

El geógrafo oficial de la Confederación Argentina editó tres volúmenes y un atlas con treinta cartas físicas y políticas de cada una de las provincias y territorios nacionales. Con todas las mediciones que había realizado, señaló los errores en el mapa levantado por Arrowsmith.

En 1870, se creó la Oficina de Ingenieros Nacionales, bajo la jurisdicción del Ministerio del Interior. Luego, se pudo levantar un mapa físico y político del país unificado, que incluía a Buenos Aires y la Patagonia.

A partir de la sanción de la Ley N° 817 de Inmigración y Colonización en 1876, se realizó el mapa geográfico y estadístico de la República Argentina en diez partes que reproducía la información necesaria para los inmigrantes. Estaba acompañado por un plano de la ciudad de Buenos Aires y una carta topográfica de las colonias agrícolas de Santa Fe.

Extracto de González Bollo, H. "Una tradición cartográfica física y política de la Argentina, 1838-1882", publicado en Ciencia Hoy, N° 46, 30/06/1998. Disponible en: <http://cienciahoy.org.ar/1998/06/una-tradicion-cartografica-fisica-y-politica-de-la-argentina-1838-1882/>

TIEMPO GEOLÓGICO

La Tierra ha cambiado a lo largo de millones de años. El estudio de los procesos involucrados en su formación, de los cambios que ha sufrido la vida animal y vegetal a través del tiempo, además de otros tantos fenómenos y procesos importantes, son fundamentales para el estudio de la geología.

Ubicar temporalmente todos los eventos a lo largo de la historia de la Tierra nos lleva a plantear el concepto de **tiempo geológico**. Este involucra el estudio de la sucesión de los fenómenos naturales a lo largo del tiempo y la duración del tiempo en valor absoluto.

El tiempo geológico comenzó hace 4600 millones de años y llega hasta nuestros días.

La escala de tiempo geológico permite ordenar la inmensa historia de la Tierra. Es muy distinta por supuesto de nuestro calendario astronómico, en donde todo ocurre en días, meses o años. Si comparamos esta escala con un día de nuestro calendario, nosotros aparecemos en el último minuto del día geológico, la historia de la humanidad es un fenómeno muy reciente, somos unos recién llegados en la historia del planeta.

En el siglo XVII, comenzó una etapa importante para el desarrollo del pensamiento geológico. Observar e interpretar los fenómenos naturales en ese tiempo, era muy diferente a cómo se observan e interpretan en la actualidad.

En ese siglo, el obispo James Ussher realizaba estudios acerca del Antiguo Testamento y de los sucesos temporales bíblicos. A partir de sus estudios determinó que la edad de la Tierra era de 4000 años y la de la naturaleza coincidía con la del hombre.

Las ideas de la época sobre el origen de la Tierra y de su historia derivaban de los relatos bíblicos. Esta fue creada por fuerzas que tenían una violencia tremenda, los acontecimientos del pasado se explicaban por fenómenos naturales particulares y, en la mayoría de los casos, violentos. La teoría que sustentaba este tipo de origen fue conocida como **catastrofista**.

En la primera mitad del siglo XVIII, James Hutton, el fundador de la geología moderna o el hombre que descubrió el tiempo, descubrió que los procesos físicos y químicos que ocurren en el presente, también han actuado en el pasado geológico y han provocado los mismos procesos naturales, debido a que las causas que los producen son las mismas que las ocurridas hace 500 millones o 10 millones de años atrás.

Hasta ese momento, las explicaciones de los fenómenos naturales giraban sobre la importancia del agua y del diluvio bíblico como responsables de la formación de las rocas y de los cambios ocurridos a lo largo del tiempo en el planeta. A esta corriente de pensamiento se la denominó **neptunista**, el nombre deriva del dios romano Neptuno, gobernador de todas las aguas y los mares.

La teoría de la Tierra, escrita por Hutton en 1788, proporcionó una hipótesis en la que el tiempo es la medida del todo, sin principio ni fin y los cambios que ocurren en el planeta eran graduales y uniformes. El calor interno terrestre producía la transformación de la materia y no el agua. Con sus nuevos planteos, resolvió cuestiones que el neptunismo no había resuelto hasta entonces.

Hutton estudió los ciclos de destrucción y regeneración, sumergió a la Tierra en una nueva visión temporal, determinó que el estudio del tiempo geológico se basa en la interpretación de las rocas como productos de eventos de la historia de la Tierra. Esta interpretación de Hutton se basaba en que las leyes de la naturaleza no cambian con el tiempo, los procesos son graduales a lo largo de un inmenso espacio de tiempo.

Hutton desarrolló el concepto que se conoció como el principio del uniformitarismo. De acuerdo con este principio, los eventos geológicos pasados pueden explicarse por procesos naturales que actúan en el presente. A la teoría huttoniana también se la conoce como **plutonista** (nombre que deriva del dios romano del inframundo Plutón), debido a la importancia que tiene el calor interno en la transformación de la materia.

En 1830, Charles Lyell escribió *Principios de geología* basado en el principio del uniformitarismo o uniformismo de Hutton., el cual establecía que este era el método aceptado para la interpretación de la geología y la historia de la Tierra. La clave del pasado se encuentra en el presente, es decir, los acontecimientos ocurridos en el pasado geológico pueden explicarse por procesos que ocurren hoy en día. A la teoría enunciada por Lyell se la denomina **actualismo**.

Durante el siglo XIX, siguieron publicándose diversas ideas acerca de la Tierra en la que mantenían el enfoque del catastrofismo o el del uniformitarismo-actualismo. Hutton fue innovador para la época y tardó en ser aceptado.

La geología moderna ha hecho importantes avances en el estudio de la evolución de la Tierra y de su formación, cada vez se descubre más sobre su génesis y su evolución. El uniformitarismo y el actualismo han sido verificados innumerables veces y, constituyen los elementos esenciales y lógicos para descifrar la historia de nuestro planeta.

¿Cómo se pueden entender los acontecimientos del pasado?

La interpretación de las rocas como producto de los sucesos del pasado, así como el estudio de los registros fósiles, su diversidad y sus cambios evolutivos, los ambientes en los cuales vivieron, la aplicación de los principios geológicos, la determinación de las edades relativas y absolutas, permiten reconstruir cronológicamente los sucesos ocurridos a lo largo de la historia de la Tierra.

EDAD RELATIVA

Es la datación de suceso en relación a otro más antiguo, contemporáneo o más reciente. La datación relativa determina el orden cronológico de una secuencia de eventos.

Esta datación se basa en establecer la secuencia de sucesos tales como la existencia de determinadas formas de vida pretéritas, por ejemplo, la de los dinosaurios, o las consecuencias sobre el ambiente que pudo haber causado la erupción de un supervolcán, o el enfriamiento del planeta debido a una edad de hielo, etcétera. Al estudiar estos acontecimientos, solo se puede inferir cuál se ha producido antes o después de otro.

La **estratigrafía** es la rama de la geología que estudia las capas de rocas sedimentarias o estratos en términos de su edad relativa, así como su distribución en los continentes de toda la Tierra y la interpretación de los ambientes en donde se depositaron los estratos.

Para determinar la edad relativa, se utilizan los siguientes principios:

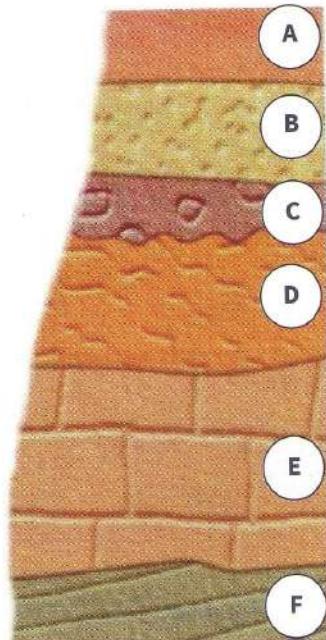
Principio de la superposición

En una secuencia o sucesión de rocas sedimentarias aproximadamente horizontales, las capas más antiguas de rocas son las que se ubican debajo de otra capa de roca.

Las capas de rocas sedimentarias horizontales ubicadas por encima de otras capas son siempre más jóvenes que las otras.

Principio de sucesión faunística

Los organismos fósiles de grupos de animales y plantas se ubican en el registro geológico en un orden definido y determinado, el estudio de la evolución de la vida a través del tiempo

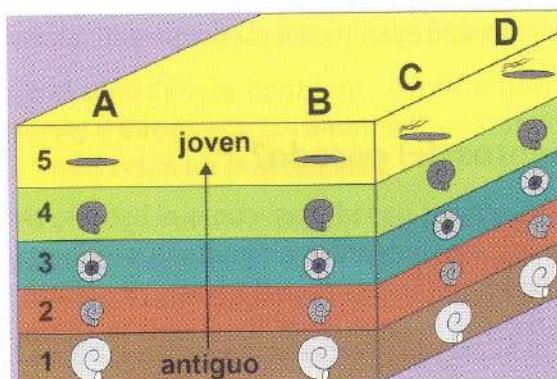


COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

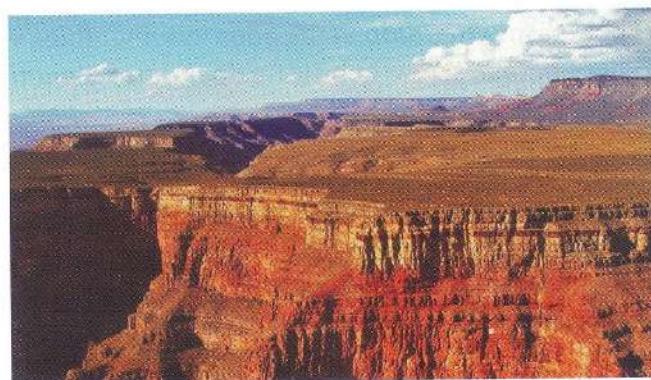
Figura 4.9 Capas de rocas sedimentarias que se han depositado en forma horizontal. La capa sedimentaria F es la más vieja y la A, la más joven

se realiza a partir de ellos. Los organismos fósiles se pueden reconocer porque son característicos de cada período de tiempo geológico. En las rocas sedimentarias, los contenidos de fósiles varían verticalmente y cada conjunto de fósiles se puede identificar horizontalmente a grandes distancias.

Métodos de datación en geología. Datación relativa



Principio de sucesión faunística



Principio de continuidad lateral



Figura 4.11 Fragmento oscuro de roca más antigua que se encuentra incluido en una roca más joven de color más claro



Figura 4.12 Falla (más joven) producida después de la deposición de los estratos (más antiguos)

Principio de horizontalidad

Los estratos de rocas sedimentarias se depositan en forma horizontal. Si los estratos permanecen horizontales, indican que sobre ellos no han actuado esfuerzos. Si, por el contrario, los estratos se presentan inclinados o plegados, indicaría que en algún momento después de su formación actuaron esfuerzos relacionados con los movimientos de la corteza y los deformaron.

Principio de inclusión

Se basa en que los fragmentos de rocas ígneas incluidas en otras rocas pueden servir en la datación relativa. La masa de roca que contiene otros fragmentos de roca a modo de inclusión, es la más joven de las dos, ya que la roca que está englobada en otra, ya estaba formada y proporcionó los materiales para ser incluidos.

Principio de relaciones cruzadas o de intersección

Determina que las rocas ígneas intrusivas y las fallas son más jóvenes que las rocas a las que cortan. Todo evento que afecte a las rocas es posterior a la formación de las mismas.

¿QUÉ OCURRE SI NO HAY DEPOSICIÓN DE SEDIMENTOS Y/O HA HABIDO EROSIÓN DE LAS ROCAS?

Cuando las capas de rocas sedimentarias se depositan sin interrupción, forman estratos **concor-dantes**, este fenómeno se observa, por ejemplo, en los depósitos sedimentarios de ambientes lagunares. En este lugar geográfico, continuamente se combinan procesos geológicos y condiciones ambientales físicas, químicas y biológicas características del entorno a lo largo del tiempo.

Pero en la historia geológica de la Tierra, esto es lo que menos ocurre, es decir, la deposición de sedimentos se suele interrumpir. Cuando ocurre la interrupción de los depósitos por erosión, se eliminan naturalmente las rocas formadas y desaparecen los registros rocosos correspondientes a esos intervalos de tiempo. Luego de un período de tiempo, se reinicia el depósito. La no sedimentación se produce en la mayoría de los casos por procesos de actividad tectónica.

Una **discontinuidad estratigráfica** representa, en la historia geológica de una zona, la presencia de procesos erosivos y/o no sedimentación de los materiales.

A modo de conclusión, podemos argumentar que la datación relativa permite fechar las rocas según una determinada secuencia de anterioridad o posterioridad temporal, y establecer el orden temporal de los acontecimientos geológicos ocurridos en tiempos remotos.

CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

La **correlación estratigráfica** es el emparejamiento de estratos en función de su edad relativa. Correlacionar o comparar rocas de un lugar a otro no muy lejano, hace posible entender los sucesos que han ocurrido en el pasado geológico en esa región. Si las distancias fueran muy grandes, se necesita para la correlación también los fósiles.

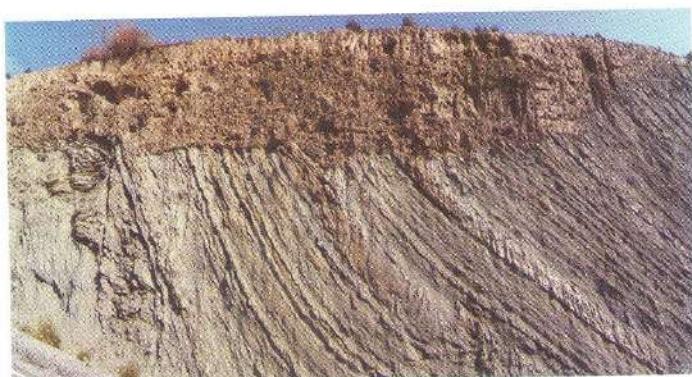


Figura 4.13 Discordancia angular como un tipo de discontinuidad muy común. Las rocas de la parte inferior están inclinadas debido a la deformación, sobre ellas hay rocas más jóvenes ubicadas en forma horizontal



Figura 4.14 Tipos de rocas y fósiles presentes en dos localidades diferentes. La correlación de estratos indica que se trata de las mismas rocas y que contienen los mismos fósiles; por lo tanto, las rocas son de la misma edad

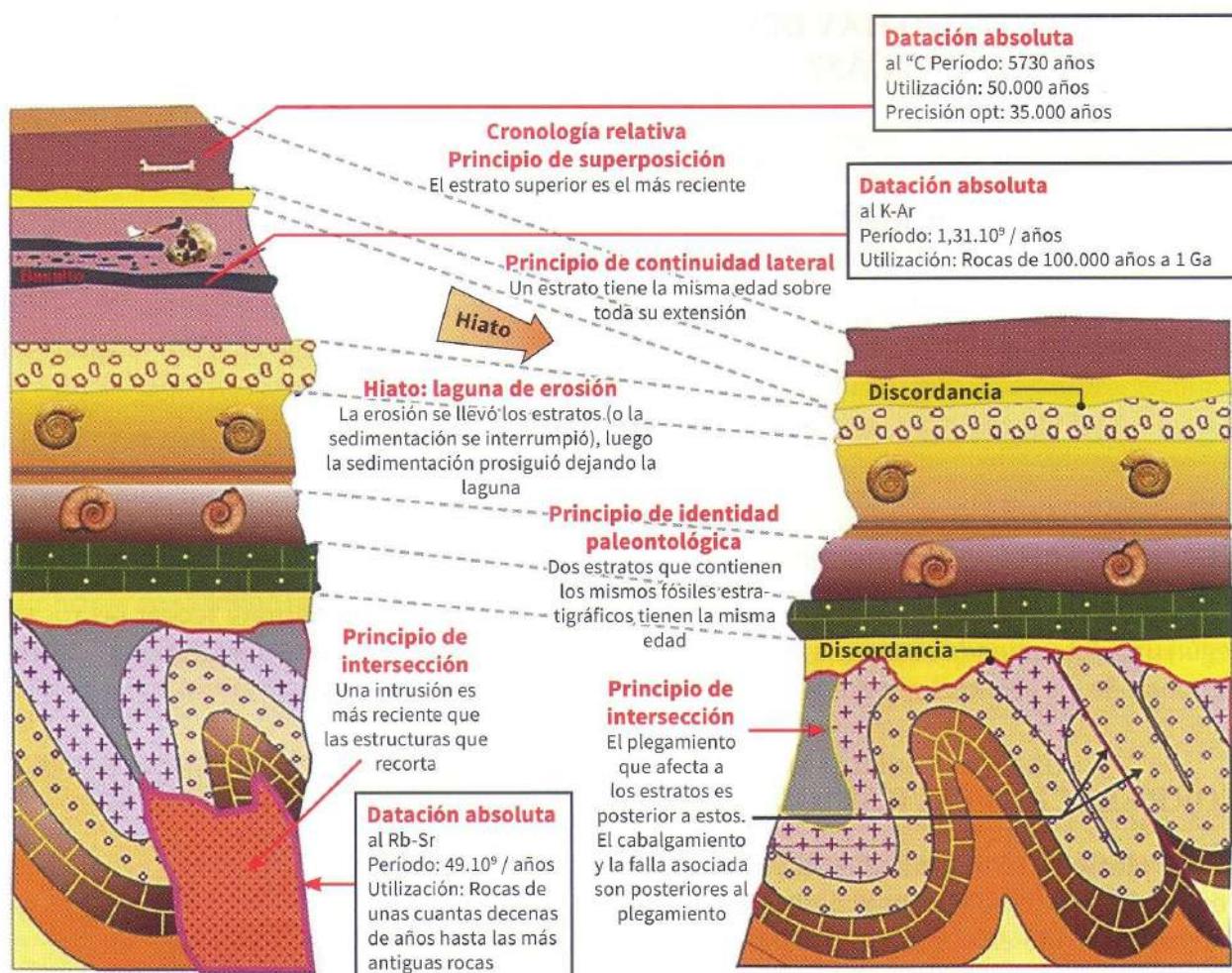


Figura 4.15 Principios de edad relativa

EDAD ABSOLUTA

La **edad absoluta** es el tiempo que transcurre desde un determinado acontecimiento. Para establecerla, se acude a los fenómenos que son una función exclusiva del tiempo que transcurre desde un acontecimiento concreto.

La radiactividad natural se produce en el interior terrestre. En este lugar, existen algunos de los elementos de la tabla periódica (isótopos) que se encuentran en forma inestable y para poder pasar a ser estables rompen naturalmente su núcleo atómico y forman, a veces, nuevos elementos que liberan gran cantidad de energía durante este proceso. La consecuencia más importante del estudio de la radiactividad natural es utilizarla para determinar la edad de las rocas y los minerales a partir de un método denominado **datación radiométrica**.

El elemento o isótopo inestable se denomina padre, puesto que genera elementos hijos estables por descomposición o desintegración de sus núcleos, este proceso de cambio ocurre en largos períodos de tiempo. Los geólogos miden, a través de métodos muy complejos, este período de tiempo para determinar la edad absoluta de las rocas.

Isótopos utilizados en la datación radiométrica

Isótopo o elemento padre: el uranio de peso atómico 238, se desintegra a un isótopo o elemento hijo como el plomo de peso atómico 206. El período de desintegración o de descomposición tarda aproximadamente 4500 millones de año, se utiliza para determinar la edad de rocas muy antiguas.

Otro elemento que permite datar los acontecimientos es el **carbono 14** que se descompone naturalmente en carbono 12, se utiliza para determinar la edad de materiales orgánicos. Mide la edad absoluta de acontecimientos que ocurrieron recientemente, por lo general, relacionados con la antropología y la historia, o con acontecimientos que ocurrieron hace 55.000 años y, a veces, hasta 65.000 años, es decir, sucesos relacionados con los últimos períodos del tiempo geológico.

En geología, la unidad de tiempo más frecuente es el millón de años.

FÓSILES

Son objetos u otros elementos ligados al mundo viviente del pasado geológico, que han sido encerrados durante largo tiempo en las rocas. A partir del estudio de los fósiles, se proceden a hacer registros de plantas y animales que vivieron en otros tiempos y documentar la evolución de la vida en el transcurso del tiempo geológico.

El conjunto de fenómenos físicos y químicos por los cuales un organismo pasa al estado fósil, se lo denomina **fosilización**.

¿Qué condiciones favorecen la fosilización de las plantas y de los animales que vivieron en el pasado geológico?

Las condiciones que favorecen la fosilización de restos de animales y plantas, son muchas y variadas. A continuación, se mencionan las más importantes:

- El entierro rápido del individuo es una de las condiciones importantes en su fosilización. Si esto ocurre, el individuo muerto es aislado de los agentes erosivos, las bacterias u otros individuos carroñeros.
- La presencia de parte duras, como los caparazones, los dientes y los huesos, es otra condición que favorece la preservación del cuerpo, dado que son más resistentes a la descomposición que las partes blandas.
- El lugar donde ocurre la muerte del individuo también es importante. Las regiones estables y con escasos riesgos geológicos son las más favorables para procesos lentos como estos, si el organismo muere en regiones con erupciones volcánicas frecuentes, o donde hay avalanchas de rocas o terremotos, es muy probable que se interrumpa el proceso de fosilización.

Procesos de fosilización

La fosilización es el conjunto de procesos que conducen a la conservación de la vida del pasado en los sedimentos.

Cuando la conservación de los órganos de animales y plantas de un pasado reciente, por lo general, ocurre casi sin modificaciones o con modificaciones mínimas, se produce la **momificación** del individuo. Ocasionalmente, y en condiciones particulares, pueden conservar las partes blandas,



Figura 4.16 Esqueleto del fósil de un reptil



Figura 4.17 Hoja de una planta fósil



Figura 4.18 Insectos preservados en ámbar

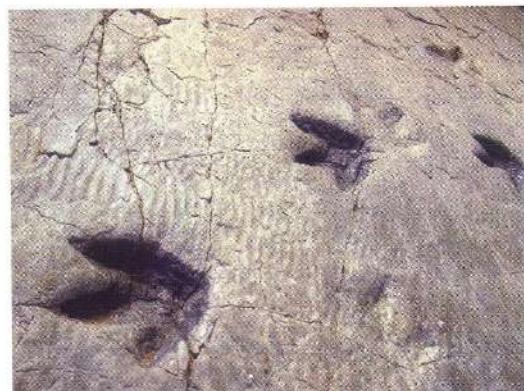


Figura 4.19 Huellas de dinosaurios dejadas al caminar por el barro hace millones de años

como por ejemplo los mamuts preservados en los suelos congelados de Siberia. El mamut era un mamífero que vivió hace alrededor de 4,8 millones de años atrás y desapareció hace 7000 años. Era parecido a un elefante, pero mucho más grande y lanudo, con dientes muy largos y curvados.

Otro caso de momificación es el ámbar, una resina vegetal fosilizada producto residual de algunos árboles que vivieron en el pasado geológico. Hace millones de años, al brotar la resina del tronco del árbol, a menudo, atrapaba en su camino animales pequeños que iban quedado preservados.

En la mayoría de los casos, en el proceso de fosilización, se destruyen los tejidos y órganos, y las partes duras pueden cambiar su composición original y ser reemplazadas por otra. Este reemplazo se produce por la acción de las aguas cargadas con sílice o carbonatos que se infiltran a través de los sedimentos. A este proceso se lo conoce como **petrificación** (se vuelven roca), el fósil resultante conserva, en especial, su forma externa.

Los árboles petrificados son un ejemplo de petrificación, se forman cuando la materia orgánica ha sido reemplazada por una materia diferente preservando su estructura con buen detalle. Como ejemplo, podemos citar el parque nacional Bosques Petrificados de Jaramillo, un bosque petrificado protegido ubicado al noroeste de la provincia de Santa Cruz.

La **carbonización** es cuando se conservan hojas o animales delicados. En este tipo de proceso de fosilización, la mayoría de los constituyentes del individuo se evaporaron durante el proceso, el carbono se acumula formando una capa delgada que se conserva adherida a la roca.

Moldes e impresiones

Los moldes constituyen una clase de fósiles que resultan del enterramiento y la disolución del individuo, las características del individuo se conservan a modo de impresión en forma de molde. Puede ser un molde interno, si refleja algo de las características de la estructura interna del individuo; o externo, si solo refleja las características de la superficie.

Otro tipo de fosilización son las huellas, es decir, rastros de pisadas de animales cuando caminaban sobre sedimentos blandos, y que luego endurecieron.

Fósil guía

Es una especie que tiene una gran distribución geográfica y una corta existencia en la escala de tiempo geológico, lo que permite utilizarlo para comparar la edad de terrenos situados en regiones diferentes.

La figura 4.20 ilustra un fósil guía llamado trilobite, un invertebrado de cuerpo aplanado, recubierto con un exoesqueleto o caparazón compuesto por tres lóbulos. Vivieron en los ambientes marinos de la era paleozoica, entre los 545 y los 245 millones de años (Ma).



Figura 4.20 Trilobite, fósil guía

DIVISIÓN DEL TIEMPO GEOLÓGICO

La escala de tiempo geológico es una escala que permite representar la historia de la Tierra desde su formación hace 4600 millones de años hasta el presente.

Los eventos de la historia de la Tierra se pueden acomodar adecuadamente según un orden sucesivo. Las rocas y los fósiles constituyen los relojes a partir de los cuales los geólogos pueden identificar los acontecimientos ocurridos a lo largo del tiempo geológico. Las rocas también contienen elementos que actúan como relojes radiactivos, que nos permiten medir en números el tiempo, es decir, en edad absoluta los acontecimientos ocurridos en el pasado.

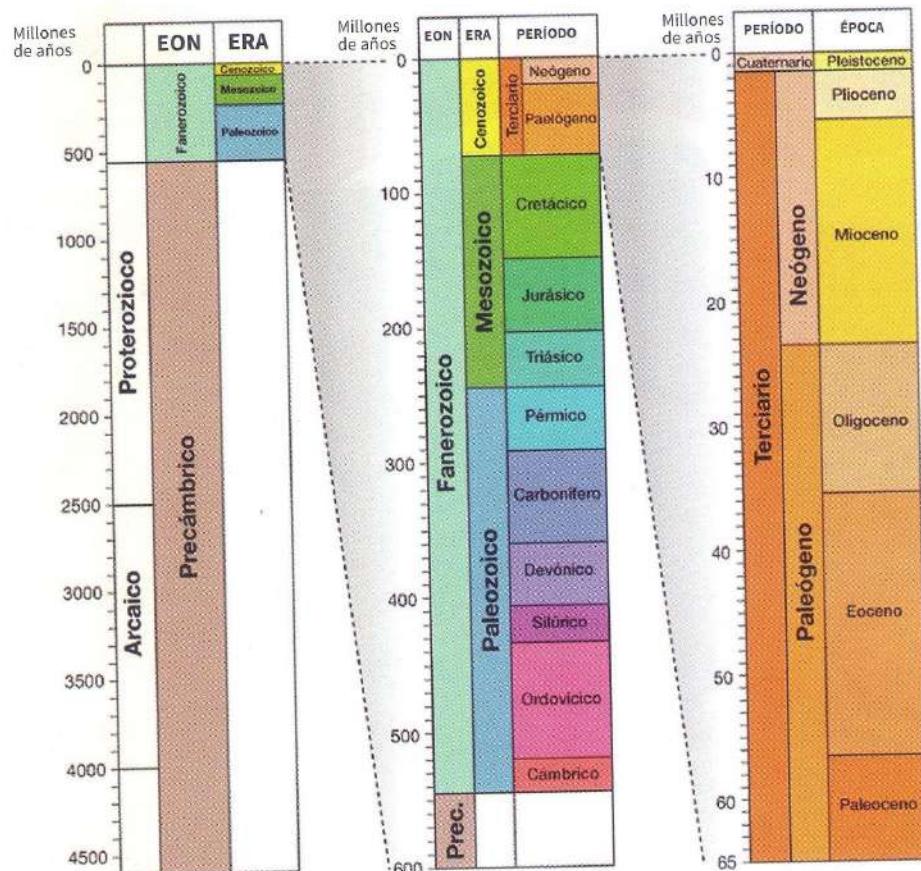


Figura 4.21 Escala de tiempo geológico

El tiempo geológico se subdivide en eones, eras y períodos; cada lapso de tiempo mencionado representa un conjunto de acontecimientos ocurridos en el pasado geológico de la Tierra.

Las mayores extensiones de tiempo son los **eones**, que se dividen en **eras**; las que, a su vez, se subdividen en **períodos** de tiempo. Cada período representa un cambio importante en las características de las formas de vida en esa era.

Los cambios de eras están relacionados con las extinciones en masa de las formas de vida dominantes hasta ese momento. La desaparición de una cantidad importante de especies debido a causas naturales, que vivieron en el pasado geológico, son fenómenos comunes a lo largo de la historia de la Tierra. Por ejemplo, el cambio de era mesozoica a la era cenozoica determina la extinción de los dinosaurios. O la extinción acontecida en el período pérmico, al final de la era paleozoica, desapareció el 80% de la vida en la Tierra.

En la primera columna de la figura 4.21, se representan los eones **precámbrico** y **fanerozoico**. El eón precámblico comienza hace 4600 Ma y finaliza hace 545 Ma. En la tabla de tiempo geológico, continua el eón fanerozoico, su nombre deriva de la palabra griega que significa vida visible. Durante este período, el registro fósil es abundante, así como la complejidad de las formas de vida y la evolución de las especies.

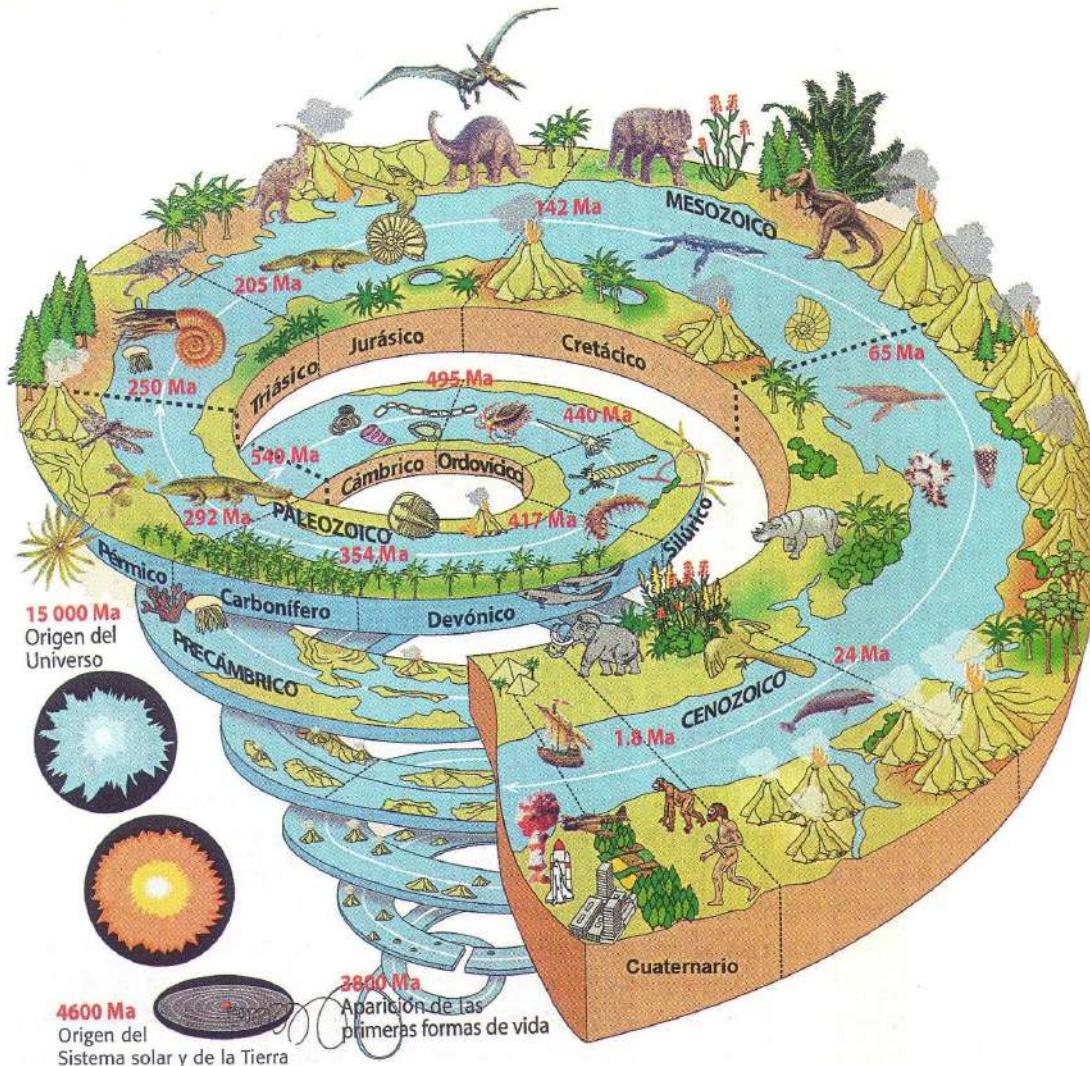


Figura 4.22 Representación del tiempo geológico partiendo desde los 4600 Ma en los tiempos precámblicos y la evolución de las formas de vida a lo largo de cada una de las eras paleozoicas, mesozoica y cenozoica

En la segunda columna, se representa el **eón fanerozoico** dividido en tres eras cada con su edad: **Paleozoica** (vida antigua), **Mesozoica** (vida media) y **Cenozoica** (vida reciente). Cada una de ellas indica cambios en la evolución de las formas de vida.

En la tercera columna, se representa la era **cenozoica** que comenzó hace 65 Ma, con el período denominado **Terciario**, al que se lo divide en **Paleógeno** y **Neógeno**. Estos, a su vez, se los divide en épocas.

A continuación del Cenozoico, aparece hace 1,8 Ma, el período **cuaternario** que se divide en dos épocas: el **Pleistoceno** y el **Holoceno**.

¿CÓMO SE FORMÓ NUESTRO PLANETA?

La formación de la Tierra se explica a partir de la **teoría de la nebulosa**. La Tierra y los otros ocho planetas del sistema solar junto con el Sol se habrían formado a partir de la misma.

El sistema solar se formó hace 5000 Ma a partir de una nube de polvo estelar y gas conocida como la nebulosa primitiva. En el centro de la nebulosa, se fue formando el sol primitivo a lo largo del tiempo. En la nube de polvo y gas, las interacciones gravitacionales causaron la contracción de la misma, al hacerlo formaron un disco plano, que giraba alrededor del antiguo sol. A medida que la temperatura cambiaba en el disco, las sustancias comenzaron a condensarse, lo que produjo que la materia se agrupara y formara los planetesimales, objetos no mayores de 1 km semejantes a asteroides. Mientras pasaba el tiempo, los planetesimales fueron creciendo debido al choque entre ellos, muchos se desintegraron integrándose a otros. Luego de un largo período de tiempo y muchas transformaciones, solo quedaron ocho planetas y sus lunas. Mientras, los planetesimales crecían y se transformaban en protoplanetas (los primeros de planetas).

Hace unos 4500 millones, un objeto de gran tamaño impactó con la tierra primitiva, los residuos se reunieron y formaron la Luna.

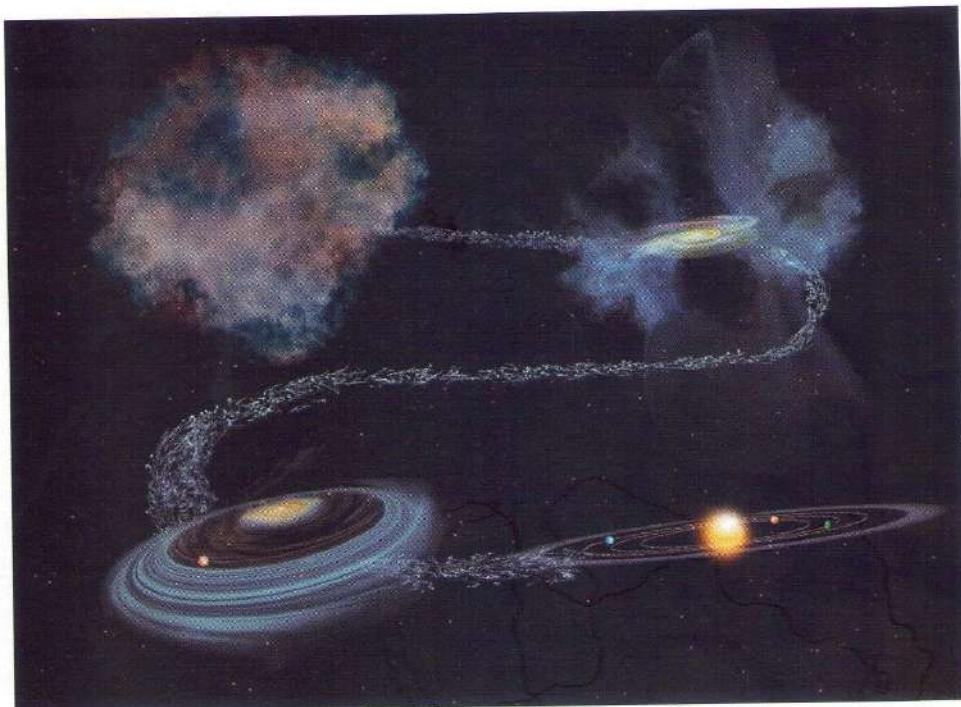


Figura 4.23 Evolución del sistema solar hasta la formación de los planetas actuales

¿CÓMO SE FORMARON LA ATMÓSFERA Y LOS OCÉANOS?

La atmósfera primitiva se formó a partir de la liberación de los gases que se produjeron debido al vulcanismo. En el interior terrestre, los procesos endógenos generaron gran cantidad de gases debido al intenso calor que poseía la Tierra recién formada.

La atmósfera primitiva era muy diferente de la atmósfera actual, los componentes más comunes eran el vapor de agua, el dióxido de carbono y dióxido de azufre, y otros gases como el nitrógeno en proporciones menores. El oxígeno no formaba parte de la atmósfera gaseosa.

El vapor de agua de la atmósfera primitiva con el tiempo se fue enfriando, se condensó y formó nubes, que originaron abundantes lluvias por largos períodos de tiempo. En las zonas bajas y en las depresiones naturales del terreno, el agua de lluvia se acumulaba formando los primeros océanos. En este océano joven de hace 3500 Ma, las bacterias fotosintéticas empezaron a liberar oxígeno en el agua. Entre los 2000 y los 1500 Ma, la cantidad de oxígeno en el agua de mar era de tal magnitud, que comenzó a acumularse en la atmósfera. Luego de cierto período de tiempo, la acumulación del oxígeno en la atmósfera, formó la capa de ozono o capa protectora de la radiación ultravioleta proveniente del Sol para asegurar la protección de la vida sobre la superficie.

Hace 542 Ma, los organismos marinos comenzaron a extraer carbonato de calcio del agua de mar para fabricar sus caparazones y formas las partes duras.

EÓN PRECÁMBRICO

Este tiempo precámbrico representa el 90% de la historia de la Tierra. Durante este período, se formaron la atmósfera y el océano primitivo.

Alrededor de los 1100 Ma, se formó el supercontinente de Rodinia. Entre los 800 y los 600 Ma, el supercontinente se fragmenta (ver Capítulo 1, ciclo de Wilson) y hacia el final del Precámbrico hace 550 Ma se forma un continente más pequeño llamado Gondwana, como resultado de la unión de algunos de los fragmentos productos de la rotura de Rodinia y otros continentes más pequeños llamados Laurentia, Báltica y Siberia.

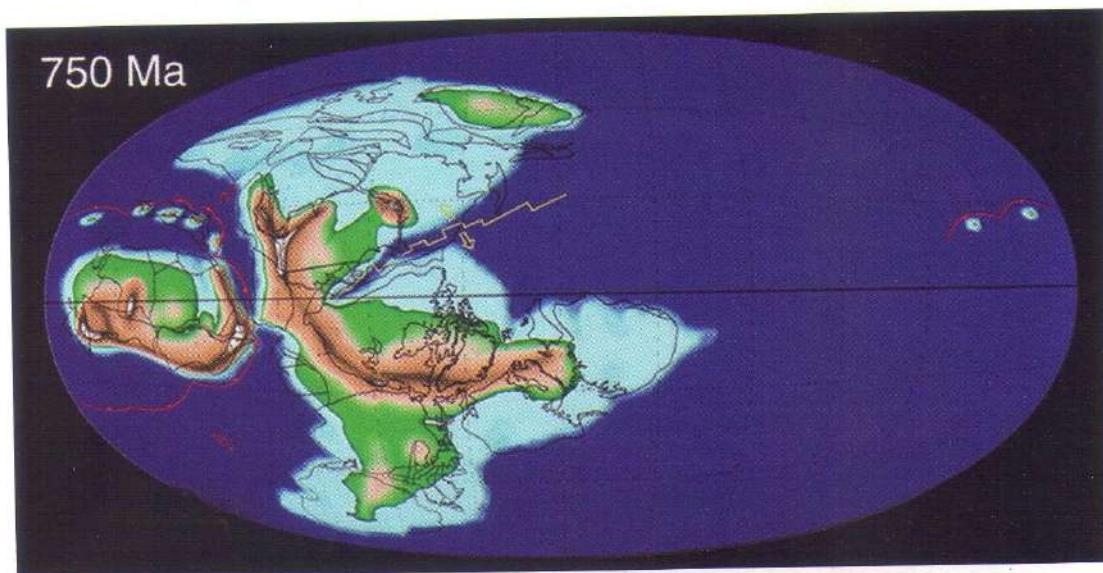


Figura 4.24 Mapa del supercontinente de Rodinia

Los cambios en la distribución de las masas continentales originaron también cambios en el nivel del mar y en el clima. Debido a las bajas temperaturas reinantes en el planeta, el hielo se expandía por todas partes, originando varias glaciaciones. Una de ellas fue tan importante que convirtieron al planeta en una bola helada, la capa de hielo lo cubría de polo a polo.

Las primeras formas de vida se presentan en el registro fósil hace 3800 Ma, y eran organismos unicelulares procariotas (no poseían núcleo celular diferenciado). Alrededor de los 1800 Ma, aparecen las primeras células eucariotas (son células con núcleo celular diferenciado). Recién a los 1000 Ma, aparecen los primeros organismos multicelulares (organismos que están constituidos por más de una célula).

Hacia fines del Precámbrico, el nivel de oxígeno había aumentado y las formas de vida pluricelulares de los océanos también habían evolucionado.

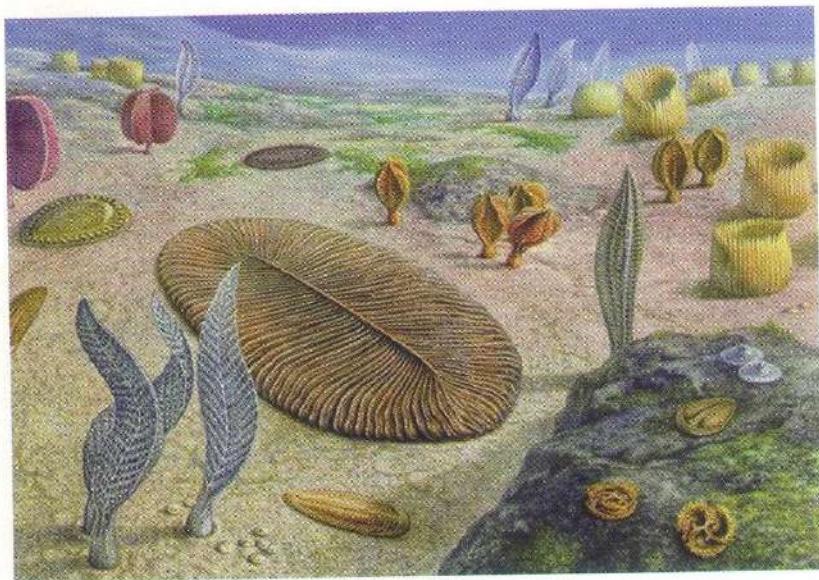


Figura 4.25 Variedad de formas de vida presentes en los océanos al final del eón precámbrico, los 635 Ma y los 545 Ma

EÓN FANEROZOICO

Era paleozoica

Comienza hace 545 Ma con el período cámbrico y termina con el período pérmino hace 251 Ma.

El período cámbrico comienza hace 545 Ma y finaliza hace 488 Ma. Con este período, inicia la era paleozoica, donde la vida se desarrolla en los mares. A este período se lo considera la edad de los invertebrados (animales sin columna vertebral) ya que estas formas predominan, y aparecen los primeros organismos con conchas. Una de las formas más exitosas de la vida marina son los trilobites.

La vida se transforma, los animales nadaban, se arrastraban por el fondo marino, algunos excavaban la roca y otros se volvieron cazadores.

Las tierras emergidas eran los continentes de Gondwana, Laurentia, Báltica y Siberia. El continente de Gondwana comenzó su deriva hacia el sur, mientras que los continentes de Laurentia, Báltica y Siberia se dirigían hacia el norte.

El clima, a lo largo de este período, fue mayormente cálido.



Figura 4.26 Vida marina del período cámbrico

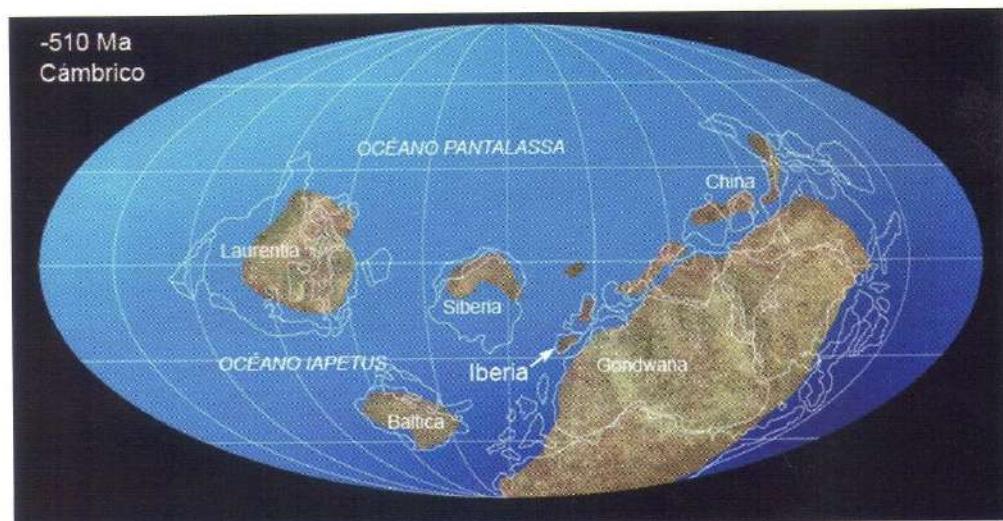


Figura 4.27 Distribución de los continentes y los océanos hace 510 Ma

Al finalizar el período cámbrico, aparece el **Ordovícico** que comienza hace 488 Ma y finaliza hace 444 Ma.

La vida continúa desarrollándose en los mares, en este período aparecen los cefalópodos, una clase de moluscos de cabeza grande y boca rodeada de tentáculos, que llegaron a medir a partir de 10 metros de largo y poblaron los mares del Ordovícico. Hacia fines de este período, aparecen los primeros peces y el continente de Gondwana se desplazó hacia el polo Sur, y gran parte de su superficie fue cubierta por el hielo glaciar.

El clima, en gran parte del tiempo, fue cálido. Hacia fines del Ordovícico, se produjo un severo cambio de clima debido a un descenso de las temperaturas planetarias, que ocasionó una era glaciar y, como consecuencia de este cambio severo de clima, tiene lugar una mortandad de animales.

Período silúrico

El período silúrico comienza hace 444 Ma y finaliza hace 416 Ma. En los mares, los arrecifes de coral (muy distintos de los actuales) predominaban entre las formas de vida. Los peces se diversificaron, aparecen los óseos (peces con hueso), y también las primeras plantas.

El nivel del mar subió considerablemente en este período.

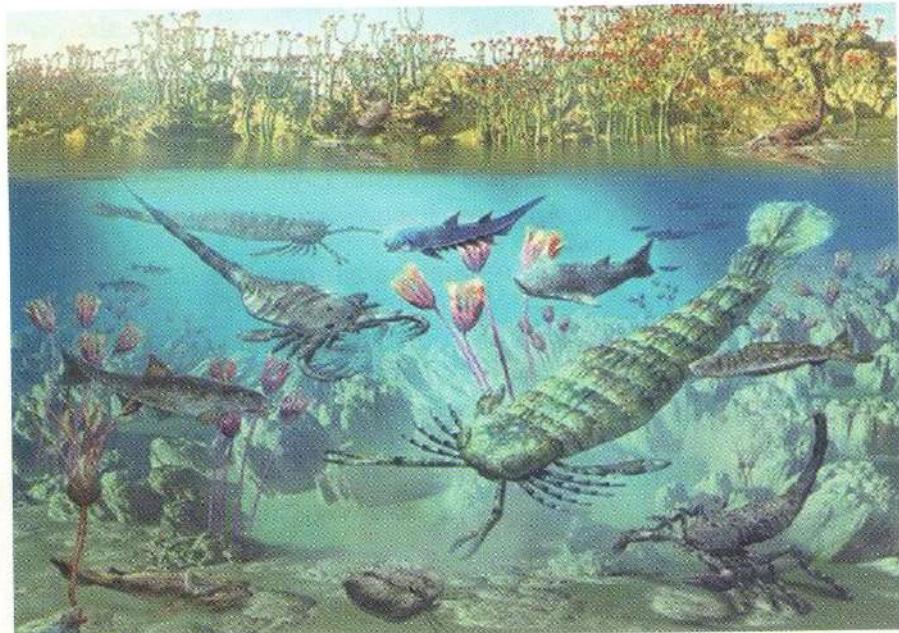


Figura 4.28 Representación de la vida en el período silúrico

Período devónico

El período devónico comienza hace 416 Ma y finaliza hace 359 Ma. En este, las plantas terrestres evolucionaron formando bosques. En los océanos, los peces se volvieron las formas dominantes de vida. A este período se lo conoce como la edad de los peces.

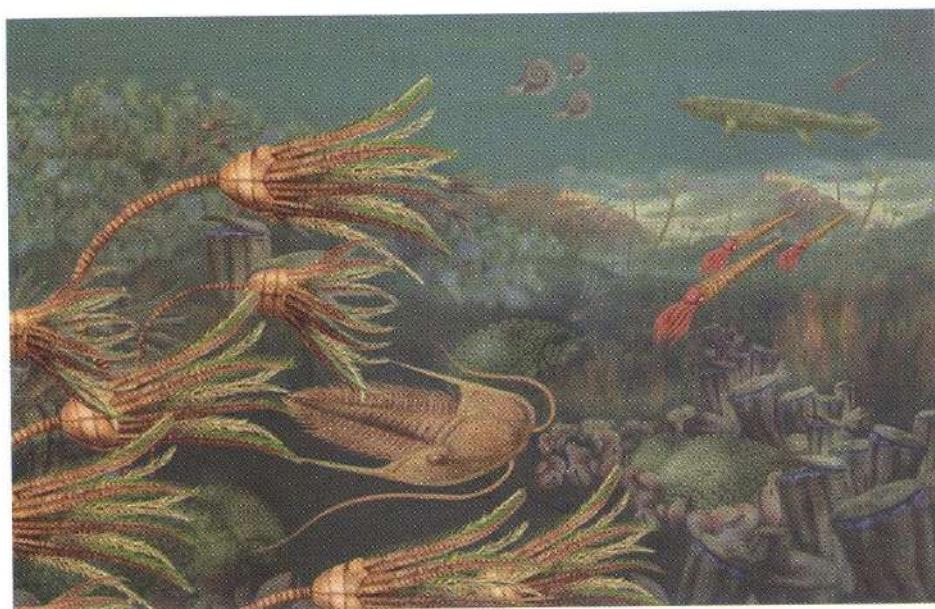


Figura 4.29 Formas de vida predominantes en el océano del Devónico

Un pez abandona el agua para adaptarse al ambiente terrestre, los anfibios hacen su aparición de forma exitosa sobre la Tierra y se diversifican muy rápido.

El clima era cálido. El nivel del mar era alto, el agua oceánica había ascendido y cubría gran parte de los continentes antiguamente emergidos.

Período carbonífero

El período carbonífero comienza hace 359 Ma y finaliza hace 299 Ma, se lo conoce como la edad de los anfibios. Estos animales vivieron a lo largo de las zonas pantanosas y desarrollaron grandes tamaños, pero dependían del agua para poner sus huevos. Los bosques crecieron y se multiplicaron a tal punto que elevaron el nivel de oxígeno en la atmósfera. Allí, los insectos eran de gran tamaño, algunas libélulas medían más de 50 cm. Aparecen los primeros reptiles.

Al final del período, las placas litosféricas se reunían para formar el supercontinente de Pangea.

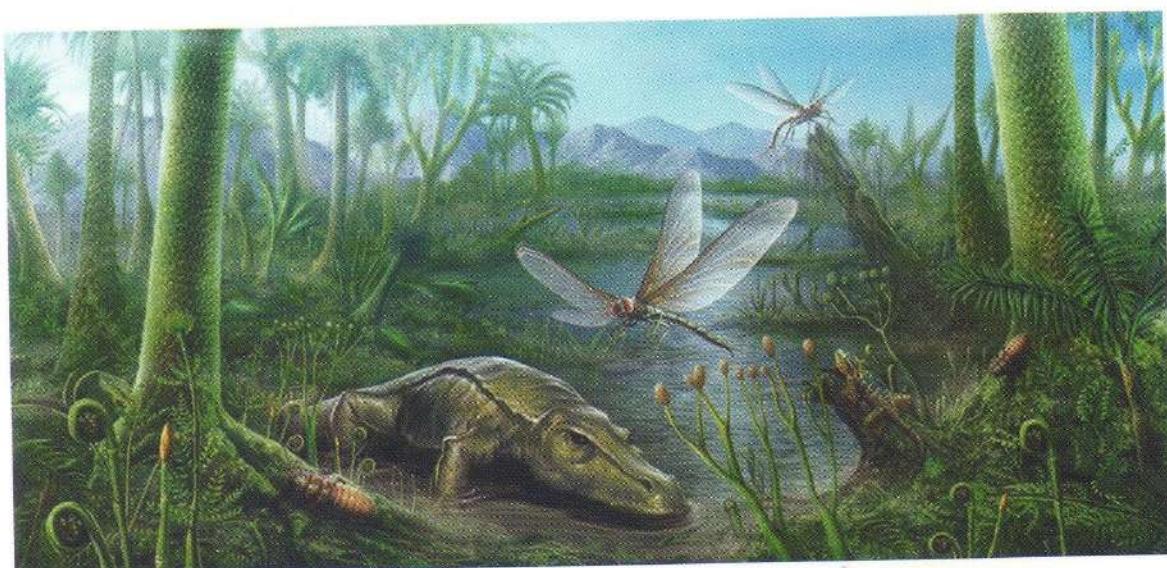


Figura 4.30 Vida en el Carbonífero

Período pérmico 299-251 Ma

Comenzó con un cambio drástico de clima que originó una era glaciar que duró millones de años. Al finalizar la glaciación, el supercontinente de Pangea se había formado. El nivel de oxígeno en la atmósfera decayó hasta alrededor del 15% (actualmente, el contenido de oxígeno en la atmósfera es del 21%).

Debido a la extensa masa continental dominante en este período, el clima cambiaba de frío a muy cálido, las lluvias eran abundantes en las zonas costeras, mientras que en el interior del supercontinente predominaban los desiertos.

Durante este período, aparecen los primeros reptiles y las **gimnospermas** (plantas en donde las semillas están desnudas).

Al final del Pérmico, la Tierra experimentó una extinción masiva.

ERA MESOZOICA

Está dividida en tres períodos: el **Triásico**, el **Jurásico** y el **Cretácico**.

Período triásico 251-200 Ma

La era comienza con el período triásico en donde la vida hacia su lugar en forma modesta luego de la gran extinción del Pérmico. Los dinosaurios evolucionaron y los primeros mamíferos hacían su aparición.

El clima era cálido. El paisaje dominante sobre la superficie eran los desiertos. Durante este período, el supercontinente de Pangea comenzó a separarse.

Período jurásico 200-145,5 Ma

La vida, en este período, se recuperaba rápidamente, aparecieron las primeras aves y los dinosaurios se diversificaban y, hacia el final del período, los dinosaurios dominaban todos los espacios marinos, aéreos y terrestres.

Pangea continuaba separándose y así, el antiguo océano Atlántico comenzaba a formarse.

Período cretácico 145,5-65 Ma

Los dinosaurios eran las formas de vida dominantes, se convirtieron en criaturas enormes y sumamente adaptadas a su entorno geográfico.

Durante este período, el clima era cálido. Las **angiospermas** (plantas con semillas y flores) hacen su aparición y se convierten en la flora dominante.

Pangea seguía separándose, mientras el océano Atlántico aumentaba de tamaño y comenzaba a formarse el océano Índico. La India se separa de Pangea y comienza su viaje hacia el norte. Durante este período, el nivel del mar cambia y los mares someros invaden grandes extensiones de tierra.

Al final de este período, se produjo la extinción en masa de los dinosaurios. Una de las causas relacionada con esta extinción masiva es el impacto de un meteorito, que cayó en la costa este de lo que hoy es México, lo cual originó un cambio radical en las formas de vida dominantes.



Figura 4.31 Representación de la vida en el período cretácico

ERA CENOZOICA O TERCIARIA 65,5-2,6 MA

A esta era se la conoce como la edad de los mamíferos, ya que después de la extinción de los dinosaurios, los mamíferos hacen su aparición como animales pequeños que rápidamente evolucionaron hasta los humanos modernos.

Durante esta era, aparecen los ancestros de las formas de vida que hoy pueblan la Tierra. Los paisajes modernos son el resultado de los eventos ocurridos durante ese lapso de tiempo.

Al final de la época del Mioceno, los antepasados de los seres humanos comenzaron su propio camino evolutivo.

En la época del Plioceno, América del Norte se une con América del Sur.

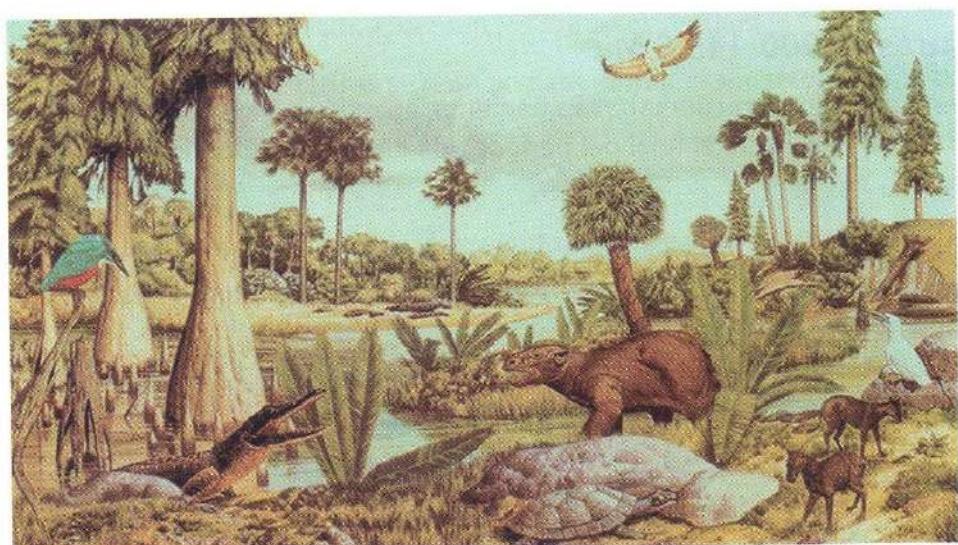


Figura 4.32 Representación de la era cenozoica

Período cuaternario

El cuaternario se divide en Pleistoceno y Holoceno. El primero representa la parte más larga de tiempo de este período. El clima cambiaba de períodos fríos a cálidos, por lo que hubo alrededor de 20 episodios de avance y retrocesos del hielo durante el Pleistoceno. A partir de este período, nuestra especie comenzó a evolucionar.

Hace 11.500 años, comenzó el Holoceno, los glaciares se retiraban y el clima comenzaba a calentarse, la fauna y la flora era semejante a la actual. Al mismo tiempo, los humanos modernos comenzaron a organizarse socialmente en pequeñas comunidades.



Figura 4.33 Fauna del Pleistoceno



Lectura

Argentinos descubren que el período jurásico duró más de lo que se creía

La época en que dominaron los dinosaurios se extendió 5 millones de años más de lo que se suponía hasta ahora.

El planeta Tierra se formó hace 4600 millones de años, y los diferentes momentos de su historia fueron divididos en eras geológicas. Cada una de ellas se compone de períodos menores. El límite que separa el período jurásico del cretácico, durante la era mesozoica, estaba establecido en 145 millones de años. Pero un estudio científico llevado a cabo en la formación Vaca Muerta –en el centro-oeste de Argentina, donde hay una reserva de gas y petróleo no convencional– arrojó una fecha diferente.

Por primera vez, en el mundo, hay dataciones precisas que permiten establecer que el límite entre el período jurásico y el período cretácico fue hace 140 millones de años, y no 145 millones de años como se pensaba. Esas dataciones fueron realizadas por científicos del Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber, que depende del Conicet y la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (UBA), a partir del estudio realizado en Vaca Muerta. El descubrimiento significa que el Período Jurásico (que se conoce por ser el momento en que los grandes dinosaurios dominaban en el planeta) habría sido más extenso de lo que se calculaba desde hace décadas.

“La fecha límite entre el Jurásico y el Cretácico estaba en 145 millones de años. Pero las evidencias habían sido obtenidas con métodos endeble en el hemisferio norte”, contó a Clarín Beatriz Aguirre-Urreta, directora del Instituto. “Hace cinco años, empezamos a trabajar en la zona de Vaca Muerta, ya que es uno de los pocos lugares que combina fósiles marinos y cenizas volcánicas”, agregó. En tanto, Víctor Ramos, líder del equipo que hizo el estudio y ganador del premio Konex de Platino en Geología el año pasado, añadió que encontraron cenizas volcánicas que no coincidían con la edad de los fósiles que estaban cerca: amonites y nanoplancton. Esta diferencia hizo que los investigadores llevaran los minerales que forman parte de las cenizas a Brasil, Australia y Suiza para ser analizados. Allí, corroboraron que la división de los períodos entre Jurásico y Cretácico había sucedido 5 millones de años después. Los resultados obtenidos y otros trabajos podrían servir para tener más precisión para la prospección moderna de petróleo y gas en la zona. El trabajo, en el que también participaron los científicos Maximiliano Naipauer, Andrea Concheyro, Marina Lescano, y Verónica Vennari, fue publicado en la revista especializada Gondwana Research.

Hace 140 millones de años, la zona de Vaca Muerta era muy distinta. “El territorio actual de Argentina estaba aún agarrado con África, y Vaca Muerta era el fondo de un mar que venía del Pacífico. Neuquén y Mendoza eran playas abiertas al Pacífico”, describió Ramos. El estudio del terreno seguirá. Ya estuvieron tomando nuevas muestras con investigadores en geología del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), de Estados Unidos, para tener más información.

Fuente: http://www.clarin.com/sociedad/Argentinos-descubren-periodo-Jurasico-creia_0_BkVxFph5PQx.html



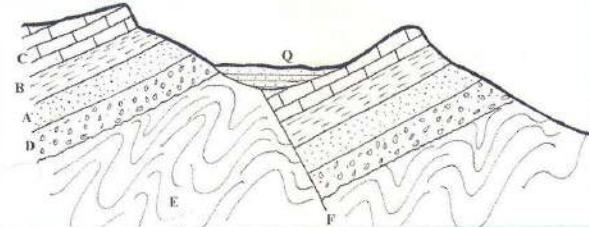
Actividades

En la Web, analizar los siguientes videos:

- 1 ¿Qué son los fósiles, cómo se forman y qué nos indican?
<https://www.youtube.com/watch?v=w1yEwYrQdgU>
 En este video, los fósiles proporcionan información sobre el pasado geológico y permiten reconocer cómo ha sido el proceso evolutivo de la vida.
- 2 ¿Cómo averiguar la edad de las rocas? <https://www.youtube.com/watch?v=aEZFdJGpF4I>
 En este video, podrán observar cómo se determina la edad de las rocas. La geocronología es una ciencia que tiene como objeto determinar la edad y la sucesión de los acontecimientos geológicos en la historia de la Tierra.
- 3 Eras geológicas. <https://www.youtube.com/watch?v=tXeJgL4GttE>
 En este video, se observan los cambios evolutivos de la vida a lo largo del tiempo geológico.
- 4 Dinosaurios gigantes de la Patagonia. <https://youtu.be/Ja7Ywb70qOc>
 En este video, se observan la historia, la evolución y la extinción de los dinosaurios.
 Para conocer cuáles eran los dinosaurios que vivieron en América del Sur, ver la página que se detalla a continuación: <http://argentavis.fullblog.com.ar/grandes-dinosaurios-argentinos.html>

Corte geológico

El gráfico de la figura es un corte geológico de una región determinada, los estratos sedimentarios formados están representados por letras.



- 1 Determinar la antigüedad de las rocas ordenando las letras según su edad.
- 2 Determinar si la falla F es más antigua o moderna que el estrato Q.
- 3 Determinar cuál de los estratos sufrió una deformación plástica y formó pliegues.
- 4 ¿Cuántas veces consideran que la Tectónica de Placas afectó a esta región? (ver Capítulo 1). Las siguientes pistas les ayudarán a elaborar una respuesta:
 - a) Los estratos eran originalmente horizontales.
 - b) Hay solo un estrato plegado el E.
 - c) La zona fue afectada por una falla F.

Tiempo geológico

Utilizando el cuadro de tiempo geológico determinar:

- 1 ¿Cuándo empiezan y finalizan los períodos pérmico y jurásico?
- 2 ¿A qué era y eón pertenecen los períodos antes mencionados?
- 3 ¿En qué era o eón se formó el supercontinente de Rodinia?
- 4 ¿En qué era se formó el continente de Gondwana y qué continentes lo constituyan?
- 5 ¿Cuándo comenzó a formarse el océano Atlántico?

¿Sabías qué...?

Varios científicos quieren realizar una modificación al cuadro de tiempo geológico y proponen agregar una nueva era llamada **Antropoceno**. El término expresa la influencia del comportamiento humano y su significativo impacto sobre los ecosistemas terrestres en los últimos 150 años. La fecha de inicio propuesta para esta era sería a partir de la revolución industrial.



Lectura

El clima y la geología están íntimamente relacionados. Si el clima cambia, también lo hacen el bioma, la erosión y la meteorización. Los volcanes al emitir gases y material particulado cambian la composición de la atmósfera y, por lo tanto, el clima. La formación de montañas influye directamente sobre el patrón de los vientos, las precipitaciones y las temperaturas, y entonces el clima cambia. Todo esto demuestra como el clima ha variado a lo largo de la historia de la geológica en forma natural.

En el siguiente artículo, publicado en el sitio Introducción a la paleoclimatología (<http://www.cricyt.edu.ar/paleo/es/proxies.html>), aprenderán qué indicadores usan los científicos para investigar esos cambios.

Datos de indicadores paleoclimáticos (por proxy)

Los paleoclimatólogos juntan datos paleoclimáticos provenientes de registros naturales de la variabilidad climática tales como anillos de árboles, testigos de hielo, polen fósil, sedimentos oceánicos, corales y datos históricos. Al analizar los registros tomados de estas y de otras fuentes paleoclimáticas (por proxy), los científicos pueden extender nuestra comprensión acerca del clima mucho más allá de los 100+ años de registro instrumental. A continuación, sigue una lista de los tipos de datos de indicadores paleoclimáticos más ampliamente usados:

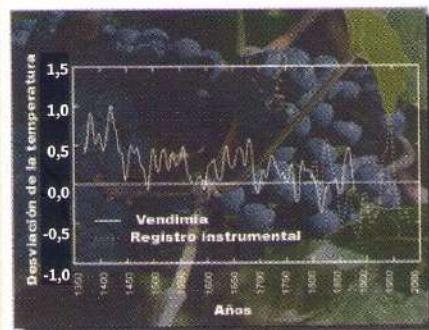
Datos históricos

Los documentos históricos contienen abundante información sobre climas pasados. Se pueden encontrar observaciones sobre las condiciones del tiempo y del clima en los cuadernos de bitácora y en registros de agricultores, en relatos de viajeros, diarios y de otros registros escritos. Cuando son evaluados de la forma apropiada, los datos históricos pueden brindar información tanto cualitativa como cuantitativa acerca del clima del pasado.

El ejemplo nos muestra cómo las fechas históricas de la cosecha de uvas fueron usadas para reconstruir las temperaturas del verano (abril-septiembre) en París de 1370 a 1879 (Bradley, 1990, basado en datos de Le Roy Ladurie y Baulant, 1980).

Corales

Los corales construyen sus duros esqueletos con carbonato de calcio, un mineral que extraen de las aguas del mar. El carbonato contiene isótopos del oxígeno,



así como trazas de minerales, que pueden ser usados para determinar la temperatura del agua en que el coral creció. Estos registros de la temperatura pueden entonces ser usados para reconstruir el clima durante el período de tiempo en que el coral vivió.

Para saber más acerca del estudio de los corales, por favor visite el Sitio de Paleoclimatología de Corales de la NOAA (<http://www.cricyt.edu.ar/paleo/outreach/coral/>)

Polen fósil

Todas las plantas que florecen producen granos de polen. Sus formas distintivas pueden ser usadas para identificar el tipo de planta del cual provienen. Como los granos de polen están bien preservados en las capas de sedimentos que se forman en el fondo de una laguna, lago u océano, un análisis de los granos de polen en cada capa nos dice qué clase de plantas crecía en el tiempo en que el sedimento fue depositado. Entonces, se pueden hacer inferencias sobre el clima basándose en los tipos de plantas encontradas en cada capa.

Anillos de árboles

Debido a que el crecimiento de los árboles se ve influenciado por condiciones climáticas, los patrones en los anchos de anillos de árboles, la densidad y composición isotópica reflejan las variaciones en el clima. En las regiones templadas donde existe una temporada de crecimiento distingible, los árboles por lo general producen un anillo por año, y de esta forma se registran las condiciones climáticas de cada año. Los árboles pueden crecer entre cientos y miles de años y pueden generar, por lo tanto, registros anuales del clima durante siglos o milenios.

Para más información sobre anillos de árboles, por favor visite:

- Laboratorio de Investigación de Anillos de Árboles, Universidad de Arizona (<http://ltrr.arizona.edu/>)
- Páginas web de la Ciencia de la Dendrocronología de Henri D. Grissino-Mayer, Universidad de Tennessee (<http://web.utk.edu/~grissino/>)

Testigos de hielo

En lo alto de las montañas y en la profundidad de las *calotas polares* (casquete glaciar o capa de hielo), el hielo se ha ido acumulando por las nevadas durante muchos siglos. Los científicos perforan el hielo para colectar testigos de hielo. Estos testigos contienen polvo, burbujas de aire o isótopos de oxígeno que pueden ser usados para interpretar el clima pasado en esa área.

Para ver más acerca de los testigos de hielo, por favor visite los sitios siguientes:

- Unión Americana de Geofísica - Descifrando misterios del clima pasado con testigos de hielo de la Antártida (<http://sites.agu.org/>)
- Testigos de hielo de Groenlandia Proyecto Summit (GISP2) CD ROM (<http://www.cricyt.edu.ar/paleo/icecore/greenland/summit/index.html>)

Sedimentos lacustres y oceánicos

Cada año se acumulan billones de toneladas de sedimento en las cuencas de lagos y océanos. Los científicos perforan y extraen testigos de sedimentos del suelo de las cuencas. Los sedimentos lacustres y oceánicos incluyen fósiles pequeñísimos y materias químicas que son usados para interpretar el clima pasado.

Para aprender más sobre sedimentos de lagos y océanos, por favor visitar los sitios siguientes:

Programa de Perforación del Océano financiado por la NSF junto con 22 participantes internacionales (<http://www-odp.tamu.edu/>)



Lectura

El bosque petrificado más extenso del mundo está en la meseta de Chubut

La desértica meseta del sur de Chubut alberga el bosque petrificado más grande del mundo, que ocupa unos 300 km², aproximadamente a 150 km al oeste de Comodoro Rivadavia y a unos 30 de Colonia Sarmiento, con árboles que fueron verde hace unos 60 millones de años.

Allí se encuentran, convertidos en piedra, desde grandes troncos, miles de ramas, hojas, frutos, astillas y hasta pequeñas semillas de especies que se elevaban hasta un centenar de metros cuando la región era un bosque tropical y pantanoso.

Se trata del Área Natural Protegida Bosque Petrificado Sarmiento, por estar en jurisdicción de esta ciudad, una de las más antiguas de la Patagonia, fundada en 1897.

Desde Comodoro Rivadavia, la mayor ciudad de Chubut, se llega por la Ruta Provincial 20, en la que luego de más de una hora de recorrer el desierto, tras una curva cerrada surge a la vista el verde valle del río Senguer, regado por una red de canales originados en su cauce, y los dos grandes lagos que flanquean Colonia Sarmiento.

La ruta pasa lejos del lago Colhué Huapi pero bordea el Musters, y entre ambos está el acceso a la ciudad, en cuyo valle se cultivan hortalizas y frutas, y se cría ganado ovino y bovino.

Colonia Sarmiento aún constituye un oasis para quien haya atravesado durante horas el desértico Corredor Central de la Patagonia, con sus secos y fuertes vientos arenosos.

Unos 30 km al sur, por un camino que lentamente deja atrás el verde para internarse en el ocre y rojizo desierto pedregoso, se encuentra el también conocido como Bosque Petrificado José Ormaechea, en honor al investigador que lo descubrió, en 1927.

El bosque de fósiles se encuentra precedido en ese corto recorrido por las típicas mesetas es-calonadas y sierras aisladas de la Patagonia, y un conjunto de leves lomas de estratos rojizos y ocres, con finas franjas blancas, que contrastan con el cielo azul en los días soleados.

Entonces aparece el valle que una vez fue fondo marino, donde al retirarse el océano se formaron lagos y pantanos en un clima subtropical que albergaban una fauna variada de grandes saurios -probada por los muchos hallazgos paleontológicos de la zona- y una selva con coníferas y palmeras.

Al surgir la cordillera de los Andes en la era paleozoica o terciaria, hace unos 70 millones de años, los vientos del océano Pacífico perdieron su humedad al oeste de las montañas y azotaron áridos y furiosos la región, lo que sumado a las numerosas erupciones volcánicas posteriores a ese acomodamiento geológico, acabó con ese vergel.

Nadie debe esperar encontrar, ni éste ni ningún otro bosque petrificado son -aunque su nombre lo sugiera- bosques en el sentido literal, es decir un conjunto de árboles convertidos en piedra que permanecen como esculturas enhiestas, sino restos desparramados o semienterrados.

Esta ANP mide unos 80 km de norte a sur, por cuatro de ancho, pero el circuito turístico tiene una extensión de unos 2 km y, sin prisa, se puede completar en un par de horas.

El recorrido cuenta con media docena de miradores, algunos de los cuales permiten observar en toda su amplitud el espacio llamado Valle Lunar.

En todo el circuito, millares de ramas, troncos gruesos o pequeños y otros restos fósiles de vegetales, de tonos marrones, rojos y amarillos, descansan junto al sendero o dispersos por el valle, salvo algunos que por su tamaño o forma especial fueron colocados en puntos claves para una mejor observación.

El perfecto estado de conservación engaña la vista, ya que parecen rollizos o leños cortados y secados recientemente, en algunos casos con su corteza y ramas diminutas intactas, pero basta tocarlos para sentir la frialdad del mineral o golpear suavemente dos piezas para oír el sonido seco y metálico del choque entre dos piedras.

En algunos troncos cortados transversalmente se ven con claridad los anillos de su crecimiento, mientras en otros la erosión horadó ventanas de variado tamaño o huecos longitudinales que los asemejan a rústicos tubos.

El fuerte viento patagónico puede convertir en pocos minutos un día de sol radiante en una jornada opaca y encapotada, o cubrir el lugar de rápidas nubes que se deslizan sobre las formas del valle y generan un verdadero juego de sombras que magnifica la belleza del lugar.

Los senderos turísticos están delimitados con pequeñas piedras o restos de los mismos fósiles y carteles, y los guías destacan que es importante no salirse de ellos aunque el terreno sea de arena firme, porque es peligroso.

El terreno no es solo peligroso para los turistas, sino también para el ambiente, porque esos arenas pueden estar llenos de semillas, hojas y diminutas astillas fosilizadas que se romperían o se perderían en los calzados de visitantes desaprensivos.

Si el impredecible clima patagónico se torna hostil, se puede visitar el centro de interpretación a la entrada de la reserva, donde hay restos paleontológicos y arqueológicos de la región.

Fuente: <http://www.telam.com.ar/notas/201608/157293-bosque-petrificado-chubut.html>

¿Sabías qué...?



¿Qué edad tienen los cráteres de la Luna?

Los procesos geológicos que actuaron modificando la superficie de la Luna son los impactos de objetos llamados meteoritos y el vulcanismo.

Los impactos de los meteoritos sobre la superficie lunar modificaron la superficie por largos períodos de tiempo. Al aplicar el principio de datación relativa a partir del estudio de los cráteres lunares, se obtuvieron las edades relativas de distintas regiones de nuestro satélite y se concluyó que las regiones con más impactos de meteoritos son más antiguas que las regiones con menos impactos (más jóvenes).



A partir de los estudios de rocas lunares por datación absoluta, se determinó que las áreas volcánicas de coladas basálticas que cubren amplias regiones de nuestro satélite, tienen edades entre los 3500 millones de años y los 3000 millones de años.

Fuente: http://historiaybiografias.com/mapa_luna/



Lectura

Reptiles marinos en la Antártida

Durante la era mesozoica, hubo más de una docena de linajes de reptiles que vivieron en el mar, entre los cuales los grupos más diversos, es decir, con mayor cantidad de especies, fueron los plesiosaurios, los ictiosaurios, los mosasaurios y las tortugas. Los tres primeros fueron los depredadores ubicados en la cúspide de la cadena alimentaria, que desempeñaban roles ecológicos similares a los que hoy corresponden a las orcas y los tiburones.

El registro fósil indica que durante el Mesozoico los reptiles marinos no estaban circunscriptos a las regiones tropicales y subtropicales, sino que también habitaban aguas templadas. Forman parte de ese registro los abundantes restos de plesiosaurios y mosasaurios del Cretácico (hace aproximadamente 70 millones de años) encontrados en la Antártida, y cuyos mares habrían sido templados en esos tiempos, cuya extensión continental tenía una fisonomía muy diferente de la actual, desprovista de hielos y fragmentada en un sector oriental y otro occidental.

Recientemente, a partir de estudios paleofisiológicos, se ha sugerido que dos de los mencionados linajes de reptiles marinos mesozoicos (ictiosaurios y plesiosaurios) habrían adquirido la capacidad de mantener la temperatura corporal constante y relativamente alta (del orden de los 35 °C). Los mosasaurios también podrían haber tenido esa capacidad gracias a su gran tamaño y su resultante bajo cociente superficie/volumen, lo que indica que su cuerpo estaba aislado térmicamente del medio (de ahí que se hable de su gigantotermia).

Campañas paleontológicas en la Antártida

La instalación en una isla cercana al extremo norte de la península antártica por la Fuerza Aérea argentina, en 1969, de la base Vicecomodoro Marambio, con una latitud de 64° sur (es decir, aproximadamente 2° al norte del círculo polar), abrió para los investigadores del país la posibilidad de emprender actividades científicas en ese continente. En la década de 1970, al realizarse trabajos de relevamiento geológico vieron la luz los primeros restos de reptiles marinos encontrados en la Antártida. Desde entonces, las exploraciones paleontológicas, centradas principalmente en la isla James Ross, han sido muy prolíficas. Los fósiles encontrados allí documentan los episodios previos a uno de los períodos más críticos en la historia de la vida en nuestro planeta, como la mencionada extinción masiva de grandes linajes de reptiles, entre ellos los dinosaurios (a excepción de las aves), que fue seguida (siempre en tiempos geológicos) de la gran diversificación de los mamíferos. Durante las últimas cuatro décadas se realizaron regularmente campañas de verano en búsqueda de restos fósiles en las que participaron investigadores del Museo de La Plata y del Instituto Antártico Argentino.

Si bien las aguas antárticas de hace 70 millones de años eran más frías que aquellas en que habitan los actuales reptiles marinos, la capacidad de los plesiosaurios y mosasaurios de mantener una temperatura interna relativamente alta y, por lo tanto, tener una actividad metabólica también alta les habría permitido habitar los mares antárticos de entonces. Los fósiles de estos reptiles recuperados de los extensos afloramientos rocosos cretácicos en las islas Ross, Vega y Marambio dan testimonio de que eran abundantes y diversos. Se han recuperado pequeñas vértebras y otros huesos de mosasaurios y plesiosaurios que, por su tamaño y características, indican que pertenecieron a recién nacidos, lo cual permite suponer que durante el

Cretácico estos reptiles marinos no solo habitaron los mares antárticos sino que también se habrían reproducido allí. Aunque con frecuencia esos fósiles son fragmentarios, tomarlos como piezas de un rompecabezas permite esbozar los escenarios evolutivos en que los plesiosaurios y mosasaurios del hemisferio sur vivieron las últimas etapas de su historia.

Los más abundantes fósiles colecciónados hasta el presente corresponden a plesiosaurios. Los mosasaurios antárticos, a pesar de ser menos abundantes que los plesiosaurios, fueron muy diversos en los mares del actual continente blanco hace aproximadamente entre 83 y 66 millones de años. Se han hallado fósiles que documentan la presencia de al menos tres linajes diferentes. Uno de los mosasaurios más frecuentes recuperados de Antártida es *Prognathodon*, algunos de los cuales podrían llegar a medir entre 6 y 10 m de longitud.

Las prospecciones paleontológicas de los dos últimos años en Marambio fueron muy exitosas, pues incluyeron la identificación de más de medio centenar de ejemplares de plesiosaurios y mosasaurios. Son resultados que demuestran el alto potencial fosilífero de la isla. Parte de esos ejemplares están en preparación para su estudio. Son fósiles particularmente interesantes dado que documentan el último intervalo en el que vivieron los plesiosaurios y mosasaurios, y dan cuenta de su gran diversidad y abundancia previas al tiempo de su extinción.

Aún son muchos los interrogantes que no podemos responder sobre los últimos episodios de la historia de estos monstruos marinos. Las prospecciones periódicas que se desarrollan en la Antártida nos permitirán develar algunos de estos interrogantes. Las evidencias que se reunieron hasta hoy indican que, por lo menos en el extremo más austral del planeta, no parece haber habido una disminución gradual de la abundancia de plesiosaurios y mosasaurios hacia fines del Cretácico, y que su extinción podría haber sido, al igual que la de los dinosaurios, debida a causas catastróficas.

Extracto de Reguero, M.; Fernández, M. S. "Reptiles marinos en la Antártida", publicado en *Ciencia Hoy*, Nº 148, 30/04/2016. Disponible en: <http://cienciahoy.org.ar/2016/04/reptiles-marinos-en-la-antartida/>

Bibliografía

- Castro Dorado, A. *Petrografía básica*, Madrid: Paraninfo, 1989.
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca*, Madrid: Arche, 2010.
- Craig, J.; Vaughtan, J. "Recursos de la Tierra y el medioambiente", Madrid: Pearson Educación, 2012.
- Hamblin, W. K.; Christiansen, E. H. *Earth's Dynamic Systems*, Prentice Hall, 1995.
- Hurlbut, C.; Klein, C. *Manual de Mineralogía Basado en la obra de J. D. Dana*, Barcelona: Reverté, 1997.
- Hurlbut, C.; Klein, C. *Manual de Mineralogía*, Volumen 1 y 2, 21º ed. Barcelona: Reverté, 1997.
- Strahler, A. N. *Geología Física*, Barcelona: Omega, 1997.
- Tarbuck, E. J.; Lutgens, F. K. *Ciencias de la Tierra*, 8º ed. Madrid: Pearson Educación, Prentice Hall, 2005.
- Tarbuck, E. J.; Lutgens, F. K. *Una introducción a la geología física*, Madrid: Pearson Educación, 2013.

Páginas web

- Atlas ambiental de Buenos Aires. <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/>
- Segemar (Servicio Geológico Minero Argentino). <http://www.segemar.gov.ar/>



(tierra cultivada)