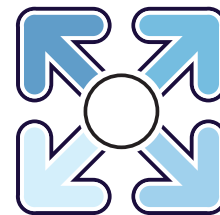


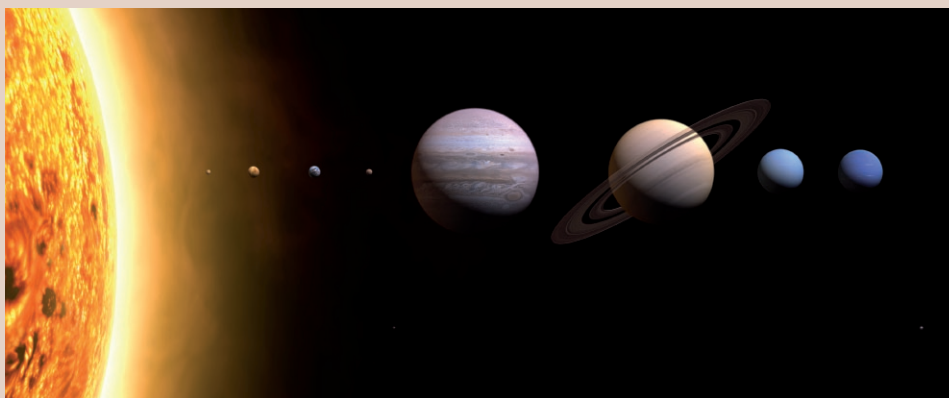
# La historia de la Tierra contada desde el sur del mundo

Geología argentina

MIRADAS



DE LA ARGENTINA  
Descubriendo el patrimonio natural y cultural del país



---

**María Florencia  
Pisano y  
Karen Halpern**

---

Con la coordinación de  
**Tristán Simanauskas**



Ministerio de  
**Educación**  
Presidencia de la Nación

PLAN LECTURA



PROGRAMA EDUCATIVO NACIONAL  
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA LECTURA

F H N

FUNDACIÓN  
DE HISTORIA NATURAL  
FÉLIX DE AZARA

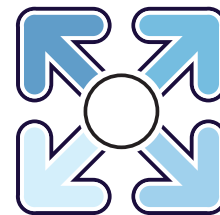


# La historia de la Tierra contada desde el sur del mundo

Geología argentina

2009

MIRADAS



DE LA ARGENTINA  
Descubriendo el patrimonio  
natural y cultural del país

---

**María Florencia  
Pisano y  
Karen Halpern**

---

Con la coordinación de  
**Tristán Simanauskas**



Ministerio de  
Educación

Presidencia de la Nación

PLAN LECTURA



PROGRAMA EDUCATIVO NACIONAL  
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA LECTURA

F H N

FUNDACIÓN  
DE HISTORIA NATURAL  
FÉLIX DE AZARA

**Serie:**

“Miradas de la Argentina”.  
Descubriendo el patrimonio natural y cultural del país.

**Título:**

La historia de la Tierra contada desde el sur del mundo.  
Geología argentina.

**Contenidos de este título:**

María Florencia Pisano y Karen Halpern  
Biólogas y paleontólogas

Coordinación: Tristán Simanauskas

**Diseño gráfico y diagramación:**

Mariano Masariche

**Palabras claves:** Geología, tectónica de placas, rocas, geodinámica externa, geodinámica interna, ambientes sedimentarios, tiempo geológico, paleontología.

Pisano, Maria Florencia

La historia de la tierra contada desde el sur del mundo : geología Argentina / Maria Florencia Pisano y Karen Halpern; coordinado por Tristán Simanauskas. - 1a ed. - Buenos Aires : Fundación de Historia Natural Félix de Azara: Ministerio de Educación de la Nación, 2009.

150 p.: il.; 30x21 cm. - (Miradas Argentinas, descubriendo el patrimonio natural y cultural del país / Adrián Giacchino)

ISBN 978-987-23545-9-6

1. Patrimonio Cultural. I. Halpern, Karen II. Simanauskas, Tristán, coord.  
III. Título  
CDD 363.69

Fecha de catalogación: 07/09/2009



 **Universidad Maimónides**

Fundación de Historia Natural Félix de Azara  
Departamento de Ciencias Naturales y Antropología  
CEBBAD - Instituto Superior de Investigaciones  
Universidad Maimónides  
Valentín Virasoro 732 (C1405BDB),  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina.  
Teléfono: 011-4905-1100 (int. 1228).  
E-mail: secretaria@fundacionazara.org.ar  
Página web: www.fundacionazara.org.ar

Serie desarrollada en el marco de un convenio entre el Ministerio de Educación de la Nación y la Fundación de Historia Natural Félix de Azara.





## **Agradecimientos**

*A la Fundación de Historia Natural Félix de Azara por darnos la oportunidad de escribir este cuadernillo, y por hacer llegar nuestro conocimiento al público en general.*

*A nuestro coordinador, el Dr. Tristán Simanauskas, por haber confiado en nosotras, por su tiempo, esfuerzo y edición del texto.*

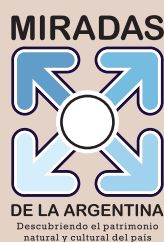
*A todos los que facilitaron material bibliográfico, fotografías o comentarios, e hicieron esto posible.*

*En especial a nuestras familias y amigos, que estuvieron presentes desde el comienzo brindándonos su apoyo incondicional.*



6	<b>Una pequeña introducción.</b>
9	<b>Capítulo 1.</b> La Tierra, un planeta dinámico.
21	<b>Capítulo 2.</b> La fuerza interior.
39	<b>Capítulo 3.</b> En la superficie.
51	<b>Capítulo 4.</b> Nuestro mayor tesoro.
83	<b>Capítulo 5.</b> Un poco de todo.
103	<b>Capítulo 6.</b> Las olas y el viento.
119	<b>Capítulo 7.</b> Cuestión de tiempo.
115	<b>Agradecimientos.</b>
120	<b>Bibliografía.</b>
129	<b>Sitios de Internet recomendados.</b>





## Los motivos de estas miradas

Los cuadernos “Miradas de la Argentina” producidos por el Ministerio de Educación de la Nación y la Fundación de Historia Natural Félix de Azara son un complemento de las lecturas que docentes y estudiantes necesitan en la actualidad, ya que las temáticas que se han seleccionado, están directamente vinculadas con los programas curriculares de enseñanza de los distintos niveles, cubriendo varios aspectos de interés general para la sociedad.

Los tópicos que aborda la serie, con un profundo sentido federal, abarcan temas muy variados y trascendentes sobre cultura general como son la geología, paleontología, ciencias naturales, museos y sitios históricos, conservación de la biodiversidad, patrimonio intangible e historia del arte argentino. Presentados en títulos tan sugerentes como: **La historia de la Tierra contada desde el sur del mundo.** Geología argentina; **Los que aquí vivieron.** Paleontología argentina; **La naturaleza de la patria.** Valor y cuidado de la biodiversidad argentina; **Desde adentro.** Las comunidades originarias de la Argentina; **Casas de cosas.** Museos, monumentos y sitios históricos de la Argentina; **De pinceles y acuarelas.** Patrimonio artístico argentino; y **Aunque no la veamos, la cultura está.** Patrimonio intangible de la Argentina.

Este panorama temático permite descubrir curiosidades y valores perdidos de nuestra historia como país, conocer y reconocer nuestros recursos naturales y culturales, al mismo tiempo que –seguramente– generara un nuevo sentido de pertenencia sobre la Argentina, para todos los que accedan a esta información.

Los cuadernos están realizados por diversos especialistas con amplia trayectoria en las materias que abordan. Todos, además, han transitado el camino de la docencia, con las ventajas que esto implica en el tratamiento del lenguaje, la selección de contenidos y la intencionalidad de una divulgación que mantenga el rigor científico e histórico, pero sin descuidar la amenidad, dando una “mirada” personal a cada tema.

El trabajo se complementa con una bibliografía selecta que permitirá profundizar conceptos y un conjunto de páginas web y organismos que trabajan sobre el asunto, lo mismo que un glosario de términos técnicos.

En el caso de **La historia de la Tierra contada desde el sur del mundo**, se presenta –a cargo de las biólogas y paleontólogas María Florencia Pisano y Karen Halpern, con la coordinación de Tristán Simanaukas– a nuestro planeta como una unidad dinámica que se encuentra en constante cambio; para que el lector conozca y comprenda cómo ha variado la configuración interna y externa de la Tierra a lo largo de su historia, y cómo esos procesos que la han modelado a lo largo de miles de millones de años, continúan su trabajo, actuando hoy a la vista de todos.

Lic. Carlos Fernández Balboa



## Una pequeña introducción

La **geología** es una disciplina cuyo objeto de estudio es el planeta Tierra. Tradicionalmente se conocen dos ramas principales de esta ciencia: la **geología física**, que se encarga de estudiar los materiales que la componen y busca entender los diferentes procesos que actúan sobre y por debajo de su superficie, y la **geología histórica** que comprende el estudio del origen y evolución de nuestro planeta a lo largo del tiempo, ordenando cronológicamente los cambios físicos y biológicos que han ocurrido desde el momento de su formación.

La Tierra, es un planeta más en el infinito Universo que nos rodea; sin embargo, tiene características tan particulares que han permitido el desarrollo de la vida. Algunas de las características fundamentales que posee, tienen origen en el ámbito astronómico, por ejemplo: **la distancia al Sol**, determina el rango de temperaturas que rigen en el planeta, y así, el agua se mantiene en estado líquido formando océanos; los movimientos **de rotación** y **traslación**, resultantes de las fuerzas de gravedad actuantes, provocan variaciones estacionales y horarias (el día y la noche).

Su gran tamaño, es considerado el mayor de los planetas internos en el Sistema Solar, le permite retener una gruesa capa de gases: la **atmósfera**. La atmósfera disipa los rayos UV y absorbe el calor, así con temperaturas más estables: los días no son tan calurosos y las noches no son extremadamente frías. Además, el tamaño y la composición rocosa (las rocas son malas conductoras de calor) le permiten mantener su temperatura interna y por eso, la **tectónica** está activa. Las diferencias de temperatura en la superficie del globo, bien sean dadas por el aporte de energía solar o por la liberación de energía interna, causan el movimiento de las masas de aire y de agua, resultando en el clima.

Todas estas características, tanto intrínsecas como astronómicas, que se encuentran íntimamente vinculadas, podemos englobarlas en el concepto de **dinámica**. La Tierra es un planeta dinámico y la geología se ocupa de las propiedades intrínsecas del sistema Tierra. Esas propiedades o factores los agruparemos en internos y externos, y son los que colaboran a la modificación de este estado de equilibrio dinámico. A partir de este momento nos referiremos, al hablar de ellos, de la geodinámica interna y externa del planeta.

La dinámica interna queda representada principalmente por las variaciones de temperaturas en el interior de la Tierra. Los gradientes de temperaturas causan el flujo del calor interno y es el responsable de la interacción entre las distintas capas que componen nuestro planeta. Se refleja en el exterior como terremotos y volcanes, que no son más que liberación de energía.



La dinámica externa, representa fundamentalmente los ciclos de la atmósfera, la hidrósfera, la biósfera y en parte, la litósfera y las interacciones que existen entre los mismos. Es decir, las condiciones climáticas preponderantes en cada región, los procesos erosivos, la meteorización, el transporte, la formación de las rocas sedimentarias, etc.

Iniciaremos este cuadernillo contando como se formó la Tierra, desde sus comienzos y haremos un resumen sobre la tectónica actual. Hablaremos de los ambientes actuales y de la importancia que poseen, a la hora de interpretar el pasado geológico y para finalizar daremos un paseo por las distintas eras geológicas.

Nuestro principal objetivo, es mostrar a nuestro planeta como una **unidad dinámica** que se encuentra en constante cambio. Esperamos, en este breve texto, lograr que el lector conozca y comprenda cómo ha cambiado la configuración interna y externa de la Tierra a lo largo de su historia, y cómo esos procesos que la han modelado a lo largo de miles de millones de años, continúan su trabajo, actuando hoy a la vista de todos.







Capítulo 1.

# La Tierra, un planeta dinámico.



Las características que actualmente posee la Tierra, son el resultado de una historia que tiene al menos 4.500 millones de años, edad que se estima a partir de las rocas más antiguas que se encontraron en nuestro planeta. Sin embargo debemos remontarnos a los orígenes del sistema solar para entender cuáles son los procesos generales y eventos ocurridos que actuaron y siguen actuando en su configuración.

## Historia y origen del Sistema Solar

El Sistema Solar está formado por una estrella central, el Sol, y dos conjuntos de planetas y satélites naturales: los planetas internos o rocosos y planetas externos o gaseosos. Los astrónomos sostienen que el origen Universo –y de todos los elementos que lo componen– puede situarse hace aproximadamente 13.000 millones de años, a partir de una gran explosión conocida bajo el nombre de Big Bang, desde entonces el universo comenzó a expandirse y enfriarse.

La disminución de la temperatura, permitió la unión de partículas elementales y la formación de átomos de helio e hidrógeno en grandes cantidades. A medida que esto ocurría los átomos y moléculas se dispersaban en nubes de gas, que constituyeron los precursores de las galaxias, como nuestra Vía Láctea. Ahí mismo se formaron los soles embrionarios, apareciendo en el Universo las primeras estrellas.

Hace unos 5.000 o 6.000 millones de años, se habría separado en el sector correspondiente a nuestra galaxia, una nebulosa formada de gases y polvo cósmico. Los científicos denominaron a esta estructura como **nebulosa primitiva**. Esa nube estaba compuesta principalmente de hidrógeno y helio, y en menor proporción de hierro, carbono, oxígeno, nitrógeno, azufre, silicio, calcio, magnesio y potasio, además de algunos elementos metálicos pesados, como el níquel.

Debido a la gradual pérdida de temperatura y de la acción de la gravedad, la nebulosa primitiva, se fue enfriando y contrayendo, iniciándose la concentración de átomos; las cuales a causa de la fuerza de la gravedad comenzaron a girar a gran velocidad. Este movimiento de rotación hizo que la nebulosa se aplanara tomando la forma de un disco.

La mayor parte de la materia se acumuló en una zona central formando un sol primitivo o **protosol**, compuesto por hidrógeno y helio. El resto de la nube, constituida principalmente por los elementos químicos restantes, se distribuyó en forma de varios anillos alrededor del protosol. En los anillos eran abundantes las partículas de materiales sólidos llamados **planetésimas**.

Millones de estas partículas, los planetésimas, se acercaban, choca-



Las características que actualmente posee la Tierra, son el resultado de una historia que tiene al menos 4.500 millones de años, edad que se estima a partir de las rocas más antiguas que se encontraron en nuestro planeta.



ban con violencia se destruían pero también se unían en trozos cada vez mayores. La unión dominó sobre la destrucción y separación y, en sólo 100 millones de años, el Sistema Solar adquirió un aspecto semejante al actual.

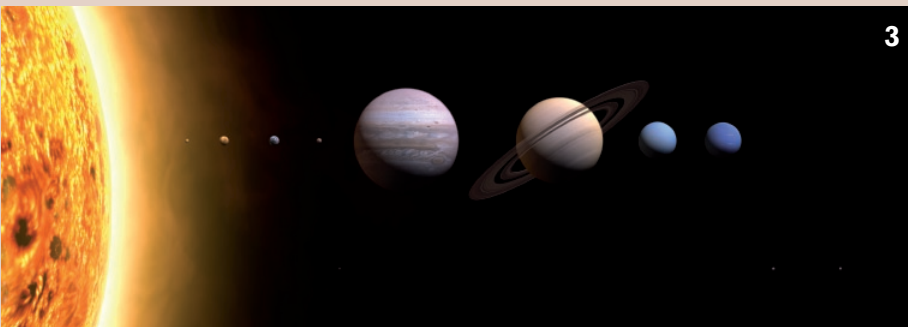
La evolución de cada planeta continuó su propio camino. En el nuestro se habría producido una distribución de los distintos materiales, produciendo que el interior de la Tierra no sea homogéneo. Los elementos más pesados se hundieron hacia el centro, formando el **núcleo** principalmente de hierro y el **manto** de silicatos; los materiales livianos, formaron una esfera externa, diferenciándose en varias capas: **litósfera**, **hidrosfera** y **atmósfera**.



1



2



3



**Origen del universo**  
1- Big Bang.  
2- Formación de la nebulosa primitiva.  
3- Disposición de los planetas.

## Origen de la atmósfera y la hidrosfera

El hidrógeno y el helio son los gases más comunes en el Universo y fueron predominantes en la composición de la nebulosa primitiva durante la formación del Sistema Solar. Una vez establecidos los planetas interiores, quedó reunida alrededor de cada uno, una atmósfera de una composición química similar a la nebulosa primordial. Sin embargo, la atmósfera terrestre actual tiene una composición distinta pues carece de hidrógeno libre y de helio. En consecuencia, la única explicación razonable es aceptar que, la atmósfera original terrestre fue reemplazada por otra secundaria, similar a la actual.





La aparición de microorganismos fotosintetizadores en la Tierra antigua, resultó de fundamental importancia para la evolución química de la actual atmósfera.

En general, se adjudica el proceso de reemplazo atmosférico a la actividad solar. El Sol es una estrella en evolución, en el estadio de **protosol** su temperatura era muy inferior a la actual, pero a medida que las reacciones termonucleares de su interior tomaban importancia, la temperatura se incrementó y comenzó a emitir gran cantidad de radiación en forma de un fuerte viento solar que barrió a la **atmósfera primitiva** de los planetas más cercanos. En aquellos que se encontraban a distancias mayores, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, no fue así y retuvieron mayormente la atmósfera original, que aún conservarían.

Comúnmente, se admite que la atmósfera terrestre se originó por un proceso de desgasificación ocurrido en el interior de la Tierra como consecuencia de la diferenciación del núcleo, el manto y la corteza. En dicho proceso se habría liberado una gran cantidad de energía a través de un intenso vulcanismo. Así, inmensas cantidades de gases fueron expelidas desde el interior del planeta hacia el exterior donde se acumularon hasta constituir una nueva atmósfera. Algunos autores sostienen que este proceso de desgasificación ocurrió en el lapso 4.500 - 3.800 millones de años.

La aparición de microorganismos fotosintetizadores en la Tierra antigua, resultó de fundamental importancia para la evolución química de la actual atmósfera. Los primeros organismos en liberar oxígeno mediante la fotosíntesis fueron las cianobacterias o algas azul-verdosas, hace por lo menos 3.800 millones de años. En primer lugar, este elemento comenzó a acumularse en los ambientes acuáticos y posteriormente, su excedente fue transferido a la atmósfera, transformándose en ozono por la acción de los rayos UV. Tuvo un pico máximo de oxígeno durante el Carbonífero, hace 300 millones de años.

Los gases fundamentales que forman la atmósfera actual son: nitrógeno (78.084 %), oxígeno (20.946 %), argón (0.934 %) y dióxido de carbono (0.033 %). Otros gases presentes en la atmósfera son el vapor de agua, el ozono y diferentes óxidos. También hay partículas de polvo en suspensión como, por ejemplo, partículas inorgánicas o, pequeños organismos. Muchas veces estas partículas pueden servir de núcleos de condensación en la formación de nubes.

La **hidrosfera** se formó por la condensación del vapor de agua proveniente del intenso vulcanismo y con la "lluvia" de cometas. Estos viajeros del sistema solar, trajeron la mayor parte del agua. Bruscos cambios en la composición atmosférica y en la temperatura de la superficie terrestre, causaron las primeras precipitaciones y literalmente condensaron los océanos.

Los océanos originales no eran salados y fueron adquiriendo su salinidad a través del aporte de los ríos que al recorrer la superficie terrestre, erosionaban las rocas y se cargaban de sales. La actividad volcánica



bajo los océanos contribuyo y contribuye al reciclado y salinización del mismo.

## Viaje al centro de la Tierra

La Tierra es un cuerpo con forma de geoide, muy parecida a una esfera pero con los polos achatados, más parecida en realidad a una mandarina. Como comentábamos antes, su interior no es homogéneo, sino que presenta distintas zonas o capas que varían principalmente en los elementos que las forman, si se encuentran en estado sólidos, líquidos o semifundidos y la densidad de cada una ellas. Si tomamos en cuenta su composición de elementos, podemos diferenciar un **núcleo** metálico, un **manto** rocoso que lo recubre y superficialmente una **corteza** rocosa sumamente delgada.

El **núcleo** presenta un espesor de aproximadamente 3.500 kilómetros y esta compuesto fundamentalmente de hierro y níquel. Se divide en dos capas que se denominan núcleos interno y externo similares en su composición. El **núcleo interno**, con 1.200 kilómetros de espesor, se encuentra en estado sólido, a pesar de las altas temperaturas que rigen a esa profundidad, la inmensa presión y encierro impide que los materiales se fundan. Sin embargo el **núcleo externo**, que se extiende desde los 2.900 hasta los 5.100 kilómetros es líquido y capaz de fluir. Los distintos estados en lo que se encuentran los materiales y la interacción entre las capas, es responsable de que el núcleo gire y así genere el campo magnético terrestre que nos protege del viento solar.

El **manto** presenta 2.900 kilómetros de espesor y está compuesto principalmente por silicatos de hierro y magnesio. También en él se diferencian dos zonas: **manto inferior** y **manto superior**. La composición química es la misma en ambas zonas, pero el **manto superior** es menos denso ya que sus rocas se encuentran parcialmente fundidas. Este material tiene la posibilidad de ser emitido excepcionalmente a la superficie terrestre durante ciertas erupciones volcánicas y así se puede estudiar la composición del mismo.

Finalmente la capa más externa o **corteza**, es una capa rocosa rígida cuyo grosor oscila entre 10 kilómetros, en los fondos oceánicos, y más de 70 kilómetros en las regiones más gruesas como montañas del Himalaya o en Los Andes. En comparación con el núcleo y el manto, la corteza es sumamente delgada, y representa el 0,15 del espesor total del planeta. Pero no por ello es la menos importante, y menos para nosotros que sobre ella vivimos.

La corteza se diferencia en dos tipos la **oceánica** y la **continental**. Las rocas que forman la corteza **continental** poseen no menos de 3.800







**Estructura de la Tierra. Ilustración que muestra las distintas capas o zonas, indicando su profundidad.**



millones de años de antigüedad. A partir del estudio de sus componentes y de la observación directa, se considera que la composición media de las rocas continentales posee abundante sodio, potasio y silicio. Si hablamos de rocas, la más representativa de la corteza continental sería el granito, con el que están hechos la mayor parte de los adoquines de las calles de nuestro país.

Las rocas de la corteza **oceánica** son más jóvenes y más densas. Las rocas más antiguas conocidas tienen unos 180 millones de años. ¿Por qué más densas y tanto más jóvenes que las continentales? Las cuencas oceánicas donde podemos observar esta corteza, yacen a varios kilómetros debajo del océano, lugares inaccesibles hasta hace pocas décadas. Hoy sabemos que la composición es la de un basalto, y que se forma nueva corteza oceánica constantemente, por eso son más jóvenes.

## Capas dinámicas

Los accidentes que podemos observar en la superficie de la Tierra, como cadenas montañosas, volcanes, fracturas o fallas en el terreno y sumersión de extensos territorios bajo el mar, nos brindan evidencias de que ésta no se comporta como un cuerpo estable e inmóvil, sino que ha estado en continuo movimiento y cambio desde su formación, hace aproximadamente 4.500 millones de años. Las capas que forman la Tierra tienen un **comportamiento mecánico** que se conoce como **modelo dinámico**.





La envoltura externa es una unidad rígida que se denomina **litosfera** o “esfera de roca”, formada por la corteza y la capa más externa del manto, con un grosor medio de 100 kilómetros. Esta capa está compuesta por rocas rígidas y elásticas, por lo cual frente a grandes tensiones, primero se deforma y eventualmente se rompe. Esta capa no es continúa, sino que se encuentra dividida en grandes placas de tamaño variable, que pueden moverse, chocar entre sí o por el contrario alejarse una de otra.

Debajo de la litosfera y hasta los 660 kilómetros, se encuentra una capa del manto superior plástica, parcialmente fundida, la **astenosfera** o “esfera débil”. El material que la compone presenta propiedades mixtas entre un líquido y un sólido, es una sustancia viscosa que resiste la deformación y tiene la capacidad de fluir: a esto se lo conoce como estado semiplástico.

La astenosfera no es homogénea, en los primeros 50 kilómetros de espesor es más fluida que en el resto de su masa, lo que facilita los movimientos de la litosfera. La capa más interna es la **mesosfera**, es sólida y más densa, está ubicada en el manto inferior y hace de nexo entre el núcleo terrestre y la astenosfera. Existe un gradiente geotérmico, esto quiere decir que la temperatura aumenta a medida que nos acercamos al núcleo; como resultado de la diferencia de temperaturas entre los materiales, se produce transferencia de calor y genera corrientes dentro del manto.

En estas corrientes, el material caliente que se encuentra en profundidad en el manto, se mueve despacio hacia arriba mientras que, los fragmentos más fríos y densos de la litosfera se hunden y descienden hacia el manto, donde se calientan, se funden y vuelven a subir. Estas corrientes circulares o convectivas generan un ciclo y ponen en movimiento la capa externa y rígida de la Tierra.

## Una idea rechazada

A comienzos del siglo XX, Alfred Wegener, un meteorólogo nacido en Alemania, presentó su idea acerca de la formación de los continentes y de los océanos en la corteza terrestre. En 1915, publicó “El origen de los continentes y los océanos” (*Die Enttehung der Kontinente und Ozeane*). En este libro estableció el esbozo de su novedosa y radical hipótesis de la deriva de los continentes. Wegener sugería que en el pasado había existido un único supercontinente, llamado Pangea o “toda la tierra”, y que hace unos 200 millones de años habría comenzado a fracturarse en masas continentales mucho más pequeñas que comenzaron a derivar, a “viajar” por el planeta.



Los accidentes que podemos observar en la superficie de la Tierra, como cadenas montañosas, volcanes, fracturas o fallas en el terreno y sumersión de extensos territorios bajo el mar, nos brindan evidencias de que ésta no se comporta como un cuerpo estable e inmóvil, sino que ha estado en continuo movimiento y cambio.

Esta idea de deriva no era totalmente novedosa, ya había sido planteada por otros autores con anterioridad. El más notable fue el geógrafo norteamericano Frank B. Taylor, que en 1910, publicó un trabajo sobre **Deriva Continental**, pero debido, a la escasez de pruebas y argumentos lógicos de los mecanismos implicados ni siquiera se la consideró.

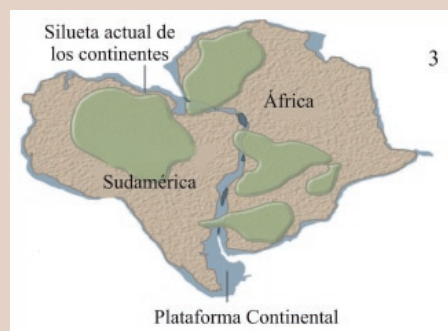
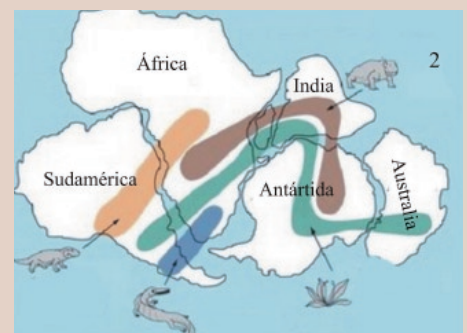
Wegener intentaba defender esta hipótesis recogiendo pruebas sustanciales que apoyaban sus afirmaciones. La distribución de depósitos atribuidos a grandes glaciares hace 200 millones de años presentes en América del Sur, Sudáfrica, India y Australia, darían prueba de que estos continentes estaban juntos en una posición más polar que la actual. A estas evidencias del clima pasado, se sumaban las semejanzas de la flora y fauna pasada y actual de estos continentes. Finalmente, la similitud de los bordes continentales costeros de Sudamérica y África, situados a ambos lados del océano Atlántico, permite encajarlos como piezas de un rompecabezas.

Las semejanzas no sólo estaban en el sur. La continuidad, en su forma y constitución, entre los montes Apalaches en América del Norte y los de las Islas Británicas y de Escandinavia, revelaba que al momento de su formación, estas regiones estaban unidas entre sí.

Pero las cosas para Wegener no fueron fáciles. La hipótesis de los desplazamientos continentales fue motivo de fuertes discusiones en el seno de la comunidad científica, que defendía la idea de que los océanos y los continentes habían permanecido estáticos o inmóviles. Las objeciones a la hipótesis sostenida por Wegener eran varias. Por un lado, no todos los bordes de los continentes encajaban con exactitud, con zonas donde existen superposiciones, y otras sin continuidad. Pero el mayor problema que enfrentaba el meteorólogo alemán era la pregunta: ¿cuál



**Disposición de los continentes en el Paleozoico, donde se muestran representadas las evidencia recogidas por Wegener: climáticas (1), paleontológicas (2) y geomorfológicas (3).**



En las figuras se muestra la silueta de los continentes actuales y su disposición durante el Paleozoico Superior. En cada una se ven los elementos que le permitieron a Wegener asegurar la constitución de Gondwana. (1) La parte sombreada en blanco representa los depósitos glaciares del paleocontinente de Gondwana. (2) En los diferentes colores se encuentran indicadas las distribuciones de algunas especies animales y vegetales en el período Pérmico. (3) La similitud en la línea de costa de Sudamérica y África representan cierta continuidad, por lo cual, significa que han tenido un desarrollo común.



es el mecanismo capaz de desplazar los continentes a través del planeta? En sus tiempos esta pregunta no tenía respuesta. Wegener murió sin que la comunidad científica pudiera dar una respuesta.

## Una idea aceptada

Tuvieron que pasar más de 50 años, para que a principio de la década de 1960, geólogos norteamericanos, franceses e ingleses, recogiesen datos suficientes, para transformar las “locas” ideas de Wegener, en una teoría sólida que pudiera explicar todos los procesos geológicos, físicos y químicos que ocurren y han ocurrido en la Tierra, a lo largo de su historia. Una especie de Teoría del Todo de la geología, la **Tectónica de Placas**.

Según esta teoría, la litosfera está dividida en numerosos fragmentos denominados **placas**, que están en movimiento y cuya forma y tamaño cambian continuamente. Existen siete placas principales mayores: Sudamericana, Norteamericana, del Pacífico, Africana, Euroasiática, Australiana, y de la Antártida, y además se han identificado casi 20 placas de menor tamaño.

Estos fragmentos tienen cierta independencia unos de otros y se desplazan flotando sobre la astenósfera, en forma similar a como lo hacen los grandes bloques de hielo que flotan sobre el agua. Las placas de la litosfera se mueven a velocidades muy lentas, pero constantes, de unos pocos centímetros al año.

El movimiento de dichas placas está inducido por corrientes convectivas del manto, las cuales transportan material hacia la superficie a través de regiones que en la superficie aparecen como verdaderas cadenas montañosas submarinas, llamadas **dorsales oceánicas**. Este material que asciende se solidifica y se adhiere a los bordes de las placas oceánicas y las va empujando en direcciones opuestas a ambos lados de las dorsales. Este mecanismo, por ejemplo, ha generado nuevo material en el fondo oceánico de Atlántico sur durante los últimos 160 millones de años, separando África de América del Sur.

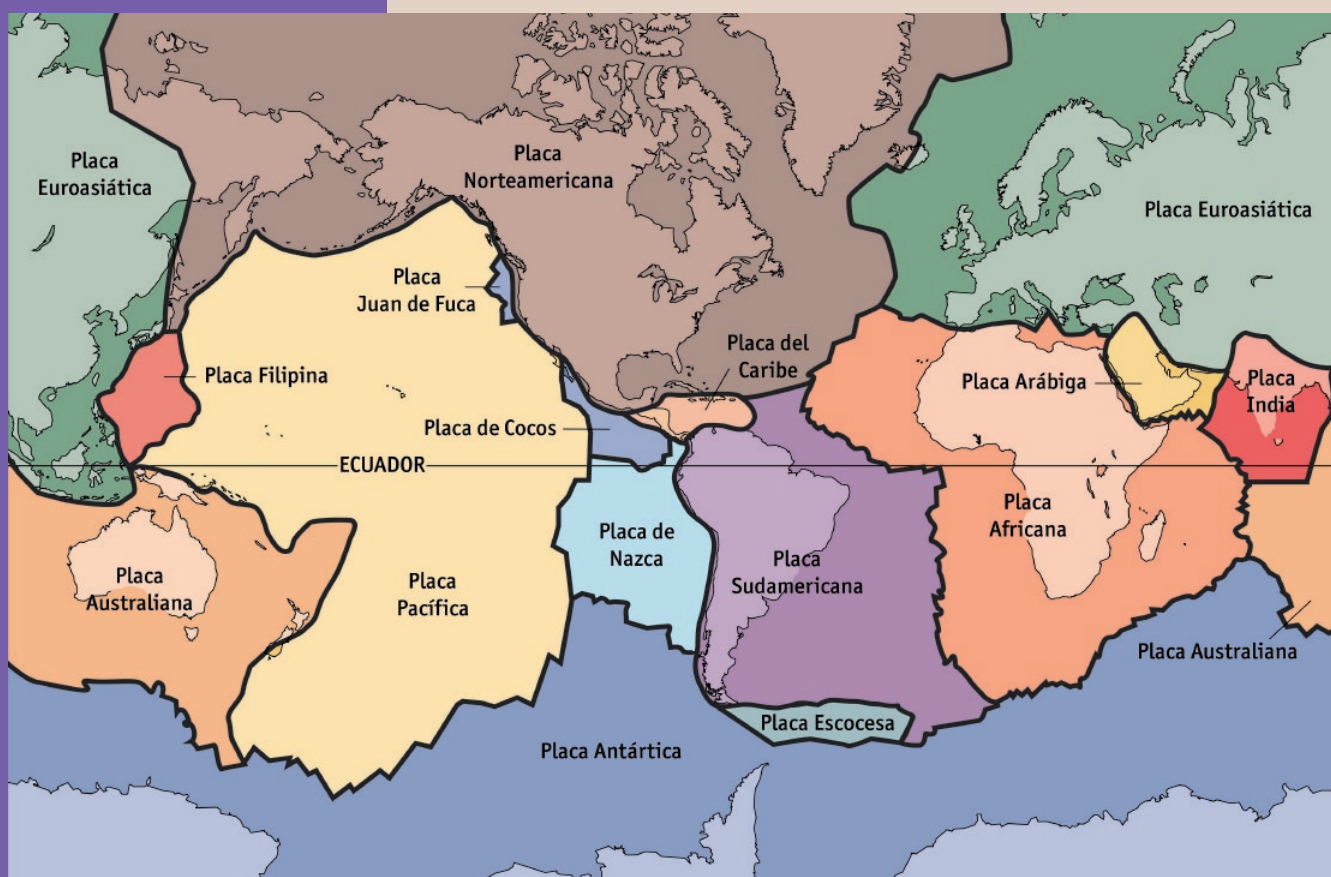
Esta separación tiene su contrapartida y es que en otro punto dos o más placas se encuentran y chocan. La corteza oceánica más delgada y pesada tenderá a sumergirse por debajo de la corteza continental, que por ser más antigua es también más gruesa. Un ejemplo de este tipo se encuentra en el borde oeste de la placa Sudamericana, donde la placa de Nazca se hunde por debajo de ella.

La fricción o roce entre ambas placas es una fuente de calor que funde las rocas y genera magma, el cual busca llegar a la superficie por las



**Según la teoría de la tectónica de las placas, la litosfera está dividida en numerosos fragmentos denominados placas, que están en movimiento y cuya forma y tamaño cambian continuamente.**





**Disposición actual de las placas tectónicas.**

erupciones volcánicas. La fricción también genera tensiones que se liberan bruscamente, con los sismos o terremotos.

Si son dos cortezas continentales las que chocan, como presentan densidades similares, ninguna se hunde por debajo de la otra, sino por el contrario se produce la colisión entre ellas, y la consecuente elevación del material formando los cordones montañosos.

En otros casos, se produce un movimiento lateral una placa "roza" a la otra, pero sin creación o destrucción de corteza. Sin embargo el movimiento no pasa desapercibido. Al deslizarse una placa con respecto a la otra, la tensión se acumula, las rocas situadas en los lados opuestos de la falla se rompen, liberándose energía en forma de grandes terremotos. La falla de San Andrés, en California, es sin duda la más conocida, producida por el desplazamiento lateral de la placa Pacífica y la Norteamericana.

Este colosal mecanismo de generación y destrucción de corteza se encuentra equilibrado, se crea corteza a la misma velocidad con que destruye, y de esa manera el perímetro de la Tierra permanece constante.





## El ciclo de las rocas

La Tierra es un sistema, esto significa que nuestro planeta está formado por muchas partes que interactúan para formar un todo complejo. La evolución de la Tierra resulta de la interacción de la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera y la litosfera. Estos cuatro sistemas interactúan recíprocamente en lo que se conoce como ciclo geológico. El ciclo de las rocas, es el más claro ejemplo de esto.

Como sabemos, un ciclo puede empezar a explicarse por cualquiera de sus partes, y siempre llegaremos al principio de todos modos, solo por practicidad, comencemos por el magma.

El magma es el material fundido que se forma en el interior de la Tierra, el magma acaba por enfriarse y solidificarse, este proceso se denomina **cristalización**, puede ocurrir debajo de la superficie terrestre o, sobre ella después de una erupción volcánica. En cualquiera de las dos situaciones, las rocas resultantes se denominan **rocas ígneas** o “de fuego”.

Si las rocas ígneas quedan expuestas los distintos agentes de la hidrosfera, biosfera y la atmósfera, van fragmentando, descomponiendo y desintegrando lentamente las rocas, las erosionan. Los materiales resultantes pueden ser captados y desplazados por algún agente de transporte, un río, las olas o el viento. Finalmente estas partículas que se originaron por la erosión de la roca, denominadas **sedimentos** son depositadas.

Pero estos sedimentos pueden sufrir un proceso de **litificación** o “conversión en roca”. Al sedimento litificado se lo denomina, **roca sedimentaria**.

Si la roca sedimentaria resultante se hunde profundamente dentro de la corteza, o si se pone en contacto con magma caliente, estará sometida a grandes temperaturas y presiones extremas. La roca sedimentaria reaccionará frente al ambiente cambiante y se convertirá en el tercer tipo de roca, una **roca metamórfica**. Ahora bien, cuando esta roca metamórfica es sometida a cambios mayores de presión y temperatura, se fundirá, creando un magma y así se reinicia el ciclo.

Lo que acabamos de exponer, es solo una de las alternativas posibles, pero todas las variantes son probables, siempre que se den las condiciones adecuadas. Por ejemplo las rocas ígneas, en vez de ser expuestas y erosionadas, pueden permanecer enterradas profundamente debajo de la superficie, sometidas a grandes valores de presión y temperaturas, pero sin llegar a fundirse, por lo cual se transformarían también en rocas metamórficas. A su vez, una roca sedimentaria, puede ser sometida nuevamente a erosión y desgaste, formando materia prima para que una nueva roca sedimentaria se forme. A lo largo del



El magma es el material fundido que se forma en el interior de la Tierra, el magma acaba por enfriarse y solidificarse, este proceso se denomina cristalización, puede ocurrir debajo de la superficie terrestre o, sobre ella después de una erupción volcánica.

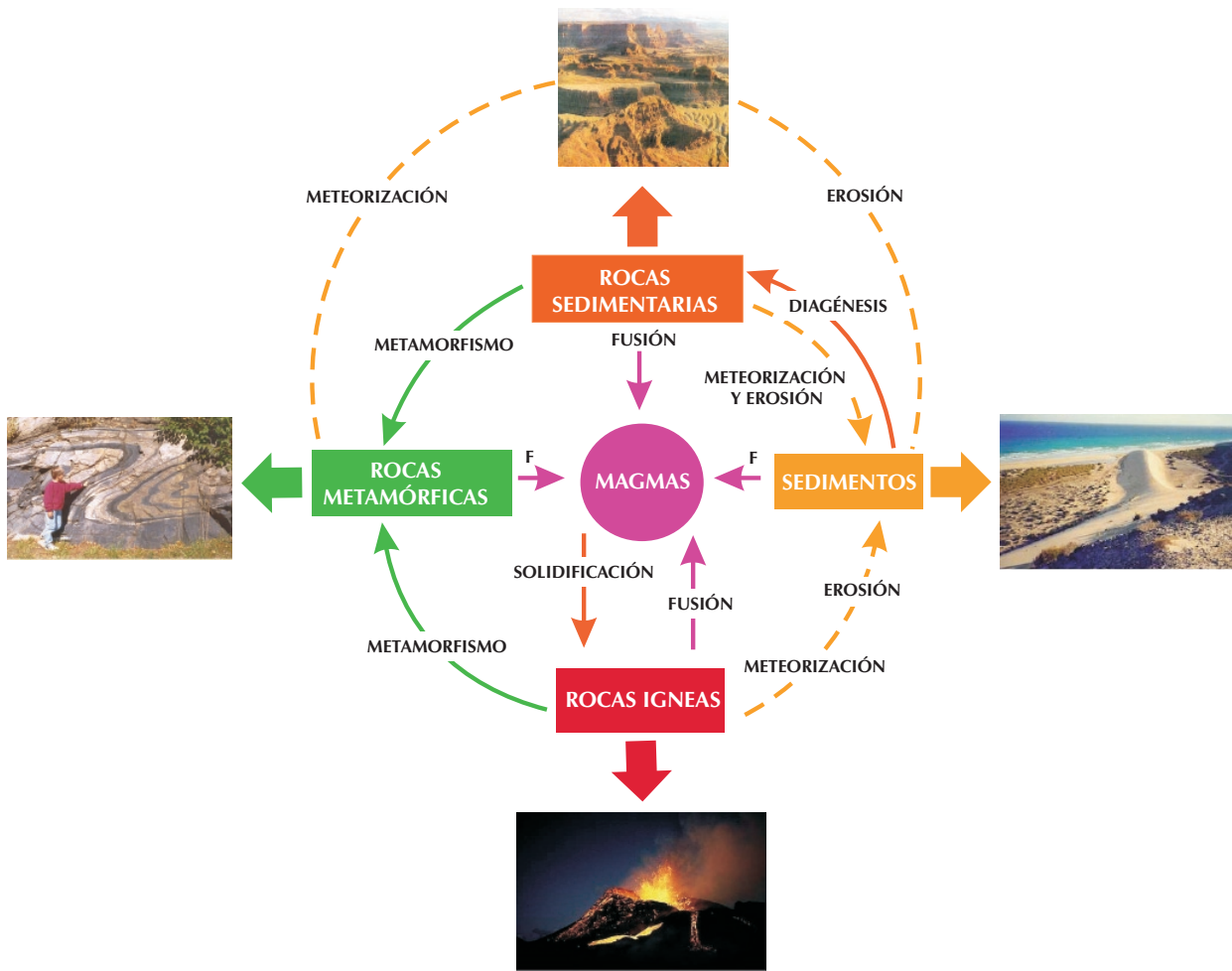
**tiempo geológico** todo el material que conforma la Tierra se encuentra en constante reciclaje.

El ciclo de las rocas está atado a otros ciclos, como el atmosférico, hidrológico y así como los ciclos de algunos elementos fundamentales para los organismos, como el ciclo del carbono o del nitrógeno. Un ciclo es una serie de etapas o estados, por los que pasa un fenómeno o proceso, que se repiten en el mismo orden hasta llegar a un estado final a partir del cual vuelven a repetirse en el mismo orden.

Los procesos que actúan en nuestro planeta se repiten constantemente, por eso la interpretación de los fenómenos naturales involucra la presencia de ciclos. En particular, en geología, nos lleva a comprender que tanto los procesos, los materiales y los elementos que conforman la corteza terrestre, se encuentran en un continuo reciclaje.



**Ciclo de las rocas.**





Capítulo 2.

# La fuerza interior



## Sin prisa, pero sin pausa

Cuando hablamos de la Tierra, nos referimos a ella como un planeta vivo y dinámico, con cambios y transformaciones constantes, que ocurren gracias a la combinación de procesos internos y externos, constructivos y destructivos. Los planetas vecinos e incluso nuestro propio satélite la Luna, han alcanzado una etapa de estabilidad, de manera que los procesos constructivos han dejado de actuar y solo operan actualmente procesos erosivos y de transporte de materiales preexistentes, así son considerados geológicamente muertos y muy probablemente a causa de ello tampoco alberguen vida. Esta es la razón fundamental que hace tan importante el estudio y la comprensión de los procesos que hacen de la Tierra un lugar único.

Como vimos en el capítulo anterior, en nuestro planeta se generan constantemente fondos oceánicos, continentes y montañas. Las placas de la corteza se desplazan, chocan y se separan, modificando la geografía del mismo. Todos estos procesos son generados por fuerzas internas producto de las altas temperaturas y presiones. A estos procesos, producto de estas fuerzas, los geólogos los denominan procesos de geodinámica interna también conocidos como procesos **endógenos**.

Los volcanes y terremotos son sin duda los procesos endógenos más conocidos por el hombre, ya que actúan de modo rápido y local y si bien no todos los vivimos personalmente, hemos visto imágenes de volcanes explotando o ciudades devastadas por terremotos, pero hay procesos que actúan tan lentamente que son imperceptibles a lo largo de la vida humana. Por ejemplo ninguno de nosotros fue capaz de percibir el crecimiento en altura de 1 centímetro por año de la cordillera de los Andes, sin embargo ascendió.

Estos procesos lentos se clasifican en dos tipos: **orogénicos** y **epirogénicos**. Los procesos orogénicos son los que dan origen a las montañas como producto del choque entre dos placas de la corteza. Si las rocas son "plásticas", deformables, estas se pliegan y dan origen a montañas de plegamiento como por ejemplo la Sierra de la Ventana, en la provincia de Buenos Aires; si por el contrario las rocas son rígidas, se fracturan en bloques, algunos de los cuales se elevan formando montañas de callamiento, como las que se desarrollan en las sierras pampeanas en la provincia de Córdoba, y otros bloques se hunden formando depresiones.

Los procesos epirogénicos son movimientos lentos de ascenso y descenso de las placas continentales. Cuando se produce un movimiento descendente, el continente se hunde y el mar avanza sobre el mismo; se produce una intrusión o transgresión marina. Cuando el movimiento es ascendente, el continente sube, el mar retrocede y se produce una regresión marina. Por ejemplo, la costa actual patagónica está



Los procesos lentos se clasifican en dos tipos: orogénicos y epirogénicos.



elevada varios metros sobre el mar formando acantilados, pero los fósiles marinos en la parte alta de los mismos, prueba que en otro tiempo estuvo bajo el mar.

## Dioses y espíritus

Todos los pueblos de la Tierra han dado una explicación a los fenómenos naturales. Según cuentas los originarios de nuestra Patagonia, el volcán –que por entonces aún carecía de nombre– estaba habitado, desde tiempos inmemoriales por un poderoso Pilláñ, el espíritu de un valiente lonko (cacique) de nombre Lanín, muerto en batalla contra los invasores del Arauco, cuya alma se había transformado en un agresivo, aunque justo, espíritu defensor de la naturaleza.

Pero un día, acuciados por la necesidad de carne para alimentar a su gente y pieles para abrigarse, llegó a sus vertientes una partida de guerreros de la tribu huiliche de Huanquimil, que venían desde muy lejos en procura de huemules, los cuales constituían su principal fuente de alimento, vestimenta y toldos.

Forasteros en la región, y sin sospechar el peligro que significaba ascender las laderas del volcán, llegaron hasta muy alto, en procura de los evasivos animales, pero entonces el Pilláñ, furioso por la invasión a sus territorios desencadenó una gigantesca erupción, como nunca se había visto en la región.

Repentinamente, el volcán sacudió su letargo de siglos y comenzó a arrojar ardientes cataratas de lava, que rodaban por sus laderas, calcinando todo lo que encontraban a su paso, en medio de dantescas llamaradas y piedras candentes, acompañadas del sordo fragor que provocaban las grietas que se abrían para tragarse a los cazadores, haciendo honor al nombre de Lanín, el cacique encarnado en Pilláñ.

Los hombres de la tribu se reunieron para consultar a la machi, la sacerdotisa y curandera mapuche, sin cuya opinión no podía tomarse ninguna decisión importante. Y la decisión de la machi fue tan terminante y dramática como lo era la furia del Pilláñ; para calmar su ira era preciso sacrificar una virgen que fuera muy apreciada y entrañablemente querida por toda la tribu, y sólo había una candidata: Huilléfün, la hija menor del cacique, que debía ser arrojada viva al insondable lago de lava hirviente que bostezaba en la parte inferior del cráter del volcán. Aunque destrozado por la pena, el cacique no pudo hacer otra cosa que aceptar la terrible sentencia; el portador del cuerpo de la princesa, también designado por los dioses, debería ser el guerrero más joven que hubiera recibido sus armas rituales: el valiente Talka, quien se sintió profundamente afectado por la elección, ya que amaba se-



cretamente a Huillêfün, y había acariciado muchas veces la idea de solicitarla en matrimonio.

Talka tomó el cuerpo de la muchacha entre sus brazos y ascendió con ella hasta el lugar de la montaña donde los vientos desencadenados por el Pilláñ soplaban con mayor violencia. Con el corazón destrozado, pero sin poder evadir su destino, el joven dejó en el suelo el cuerpo de la princesa y comenzó a desandar el camino hacia el valle, a reunirse con su gente, dejando a Huillêfün abandonada a su suerte.

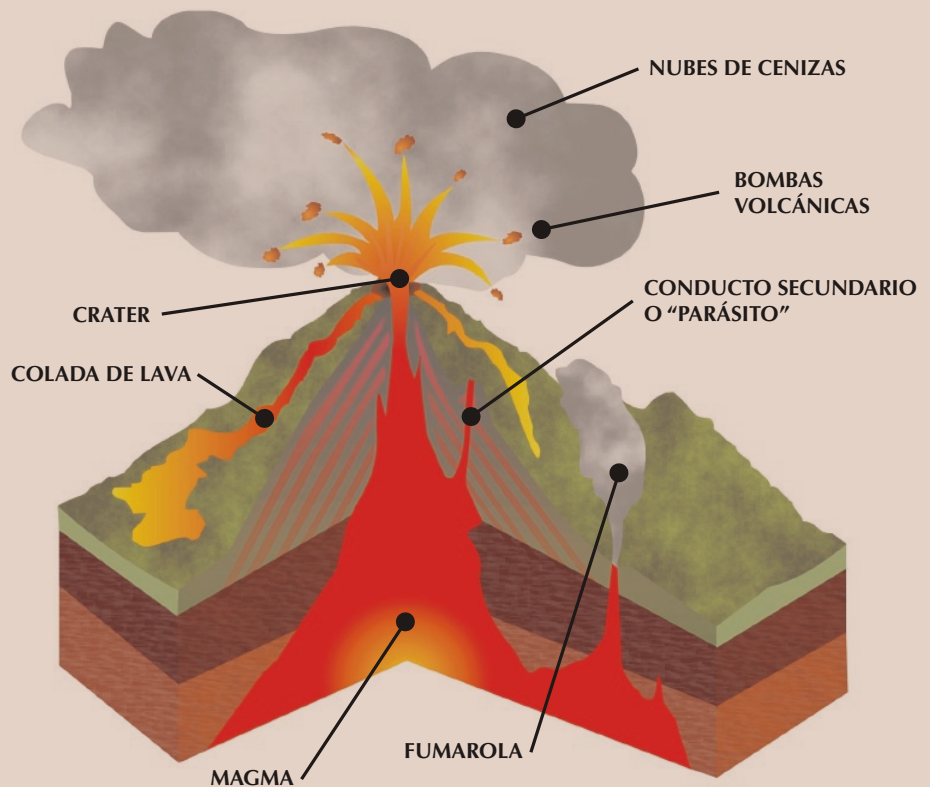
Sin embargo, antes de emprender el regreso quiso contemplar una vez más el rostro de su amada y, al volverse, pudo ver el majestuoso vuelo de un imponente cóndor que se acercaba, y cuyos ojos refulgían con llamaradas de fuego, tan ardientes y rojas como las que desataba la furia del Pilláñ. Sin detenerse en su vuelo, ni posarse sobre las rocas, el enorme cóndor tomó a la joven entre sus garras y, a pesar del desesperado grito de Talka, se elevó con ella y la arrojó a la ígnea masa que esperaba en el fondo del cráter. Inmediatamente, densas nubes de humo y vapor oscurecieron el cielo y, a pesar de que el verano aún no había llegado a su fin, una espesa nevada cubrió el cráter y el valle con un manto blanco, del mismo color que la ropa que había cubierto el cuerpo virgen de Huillêfün. El sacrificio de la joven y la resignada desesperación de Talka parecieron apaciguar para siempre las iras del Pilláñ que, desde entonces, reina sobre un paisaje calmo, sumergido y dominado por la blancura del manto de Huillêfün y que, a partir de ese momento, recibió el adecuado nombre de Lanín que significa hundimiento o grieta.



Los griegos llamaban Vulcano al dios del fuego, que habitaba, precisamente en los volcanes y de ahí surgió el nombre de volcán y de vulcanismo.



Estructura de los volcanes.



## Dime que tipo de magma posees y te diré que tipo de volcán eres

Los griegos llamaban Vulcano al dios del fuego, que habitaba, precisamente en los volcanes y de ahí surgió el nombre de **volcán** y de vulcanismo.

El vulcanismo es la salida a la superficie de rocas fundidas o cenizas con emisión de gases, y es la manifestación en la superficie de los procesos que ocurren en el interior de nuestro planeta. El material fundido se acumula en una cámara que actúa como depósito, la **cámara magmática**. Esta se encuentra entre los 100 y 300 metros de profundidad, pero en algunos casos el magma asciende y sale a la superficie a través de grietas, fisuras y orificios. Al material que alcanza el exterior se lo denomina **lava o magma**, se caracteriza por enfriarse rápidamente y liberar los gases disueltos en el mismo.

El principal fenómeno volcánico es la **erupción**, es decir, la salida a la superficie del magma. Pero este proceso eruptivo, así como de las rocas que se forman durante el mismo depende de varios factores.

Cuando nos imaginamos la erupción de un volcán, dos tipos de imágenes se nos representan; grandes ríos de lava corriendo por la ladera y quemando todo a su paso o una tremenda explosión y la formación de una columna inmensa de cenizas en el cielo. ¿De que dependen estos dos tipos de erupciones?

Podemos distinguir dos grupos de factores que controlan la erupción: unos propios de la composición del magma y otros ajenos al mismo, como el tipo de accidente topográfico por el que se produce, en que lugar geográfico ocurre la erupción, si es sobre la tierra o bajo el mar, etc.

La composición del magma que alcanza la superficie es clave en el proceso eruptivo. Los magmas ricos en sílice, son siempre muy viscosos, y poseen una temperatura de alrededor de 800 °C. Estos magmas son llamados silíceos, ácidos o félsicos. A su vez, los magmas denominados máficos, basálticos o básicos, poseen mayor temperatura entre 900 y 1.200 °C por lo cual son menos viscosos, más fluidos.

Los magmas máficos menos viscosos, pueden avanzar lentamente sobre grandes extensiones de terreno, y suelen dar origen a erupciones tranquilas, con flujo de lava continuo por las laderas del volcán. Los magmas félsicos, más viscosos, fluyen con dificultad acumulándose en la chimenea hasta que la presión interna es tan grande que explotan en erupciones violentas. Pero el contenido de volátiles del magma también determina la violencia de las erupciones.



Los volátiles son compuestos del magma que fácilmente se convierten en vapores o gases. Los gases dentro de la cámara magmática se encuentran encerrados a alta presión en ella, al igual que el gas dentro de una botella de gaseosa. Si sacudimos la gaseosa, al destapar la botella, liberamos la presión y una mezcla de gas y líquido escapa violentamente del embudo. Los magmas ricos en volátiles dan origen a procesos eruptivos violentos, debido a que su liberación provoca este tipo de fenómenos.

Además, los gases desempeñan una importante función en el desarrollo del conducto que conecta la cámara magmática con la superficie. En primer lugar, el intenso calor del cuerpo magmático rompe la roca que está por encima, luego los gases calientes salen a grandes presiones y, van ampliando esa fractura y ensanchando ese conducto para permitir luego ascender al magma.

## De cenizas a bombas

Hasta aquí sabemos que, tanto magma como gases pueden ser liberados, pero antes de continuar debemos mencionar otro elemento que puede brotar por la boca del volcán al momento de su erupción. Nos referimos al material sólido que es expulsado, y que se conoce como **material piroclástico** que significa “fragmentos de fuego”, el cual no fluye por la ladera del aparato volcánico sino que se eleva y cae por gravedad.

El tamaño de este material es muy variable. El que ronda los 0.063 milímetros se denomina **polvo volcánico**, mientras que al material que tiene las dimensiones de la arena se lo conoce como **ceniza volcánica**. Este material forma una columna que se eleva desde el cráter del volcán. La columna eruptiva puede alcanzar los 40 kilómetros de altura como por ejemplo en la erupción de volcán Hudson en 1991.

Las partículas de ceniza y polvo se producen a partir de los magmas viscosos cargados de gases durante una erupción explosiva. A medida que el magma asciende por la chimenea, los gases se expanden rápidamente transformando al magma en una espuma. Cuando los gases se expanden de manera explosiva, la espuma se rompe en fragmentos muy finos.

Los piroclastos del tamaño de una nuez se conocen como lapillo: “piedras pequeñas”. Las partículas mayores se denominan bloques, cuando están compuestas de lava endurecida, y bombas, cuando son expulsados como lava incandescente.

Pero no toda actividad volcánica se expresa en lava o cenizas. Las **fumarolas**, descargas constantes de vapor de agua y otros gases; las





**sulfataras** y **mofetas**, emisiones de gases con alto contenido de ácido sulfhídrico y dióxido de carbono; los **géiseres**, surtidores de vapor de agua y agua caliente que arroja un volcán, las **fuentes termales** y los **manantiales de agua caliente**, son también producto de la actividad volcánica.

## Tanto en la tierra como en el mar

La localización espacial del vulcanismo es también un factor que condiciona el tipo de erupción. Puede ocurrir sobre la superficie terrestre o bajo el mar. El primer caso da origen a volcanes bien formados, pero que no suelen preservarse ya que, apenas surgen, comienzan a ser destruidos por la acción de la erosión. Por su parte, el vulcanismo submarino no suele originar estos volcanes vistosos, sino estructuras características, denominadas lavas en almohadilladas o pillow-lavas.

Sin embargo, la acumulación de estas estructuras poco vistosas, puede dar lugar a islas oceánicas, cuya elevación sobre el nivel del fondo marino puede alcanzar más de 10 kilómetros como es el caso de las islas Hawaii o las Canarias.

Menos común es el vulcanismo bajo casquetes polares, o bajo glaciares, que origina la fusión del hielo suprayacente.

## Sueños y pesadillas

Por la frecuencia de sus erupciones un volcán se considera activo si ha tenido una historia reciente de erupciones; dormido o inactivo, si actualmente no tiene actividad pero los estudios demuestran que puede entrar en erupción; y extinguido si estuvo en actividad durante períodos muy lejanos y no muestra indicios de que pueda reactivarse en el futuro.

## Las formas de los volcanes

Dependiendo de las erupciones los volcanes adoptan distintas formas. Los volcanes en escudo tienen forma de plato invertido con base ancha, escasa pendiente, pueden alcanzar grandes alturas y un gran cráter en el que a menudo aparece un lago de lava. Están formados por capas de lavas basálticas, lo que le proporciona una fuerte resis-



tencia a la erosión. La lava que fluye es de tipo máfica, poco viscosa, que fluye rápidamente fuera de la abertura que forma una estructura plana y de gran extensión.

Los volcanes de cono de escoria están formados por la acumulación de piroclastos y materiales sueltos por lo que no son muy resistentes frente a la erosión. Son conos de pequeño tamaño con laderas empinadas.

Los estratovolcanes son los clásicos, cónicos y de gran altura, compuestos por múltiples capas de lava endurecida, piroclastos y cenizas volcánicas. Estos volcanes están caracterizados por erupciones periódicas y explosivas.

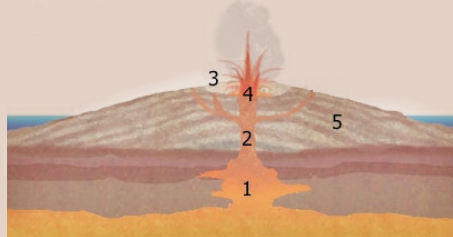
Por último, las calderas volcánicas. Se trata de depresiones de varios kilómetros de diámetro. La caldera formada en el más famoso de los volcanes, Krakatoa, durante la erupción de 1833, fue resultado de una explosión muy violenta que voló y destruyó el cono volcánico.



**Tipos de volcanes.**

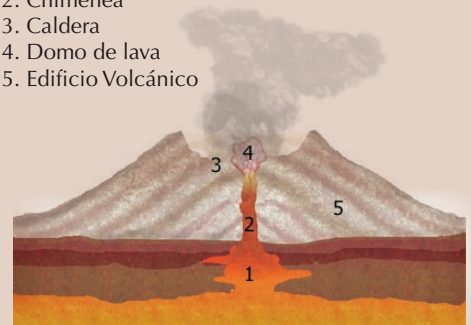
**Volcán en Escudo**

1. Cámara Magmática
2. Chimenea
3. Caldera
4. Lago de lava
5. Edificio Volcánico



**Caldera volcánica**

1. Cámara Magmática
2. Chimenea
3. Caldera
4. Domo de lava
5. Edificio Volcánico



**Estratovolcán**

1. Cámara Magmática
2. Chimenea
3. Cono Volcánico
4. Cráter.



## Criollos

Numerosos rasgos del paisaje patagónico son producto de la actividad volcánica. Esta actividad se produjo con particular intensidad durante los últimos 25 millones de años aproximadamente, asociada al borde occidental del continente, donde las placas oceánicas del Nazca y Antártica se hunden debajo de la placa Sudamericana originando el levantamiento de la cordillera, sismos y volcanes. La presencia o ausencia de volcanes activos a lo largo de este límite entre placas, está directamente vinculado con el ángulo de subducción o hundimiento, es decir la inclinación con que la placa de Nazca o la Antártida, se hunden por debajo de la Sudamericana: donde el ángulo es de unos 25° hay actividad volcánica; donde es menor de 10°, el vulcanismo está ausente.

Sin embargo, a pesar de las numerosas evidencias geológicas pasadas, a la presencia de volcanes activos en la Cordillera de los Andes la cual esta incluida en el cinturón de fuego del Pacífico (la zona volcánica más activa del mundo), y a la existencia de eventos de depositación de cenizas y lavas volcánicas que han afectado diferentes sectores del territorio nacional aún en tiempos recientes, hay una tendencia a considerar que la Argentina se encuentra libre de riesgos geológicos de tipo volcánico.

En la Cordillera de los Andes predominan los conos volcánicos asociados a erupciones centrales, los que adoptan mayoritariamente la forma de estratovolcanes.

### Patagonia, tierra de volcanes

El volcán **Lanín** es una montaña emblemática de la provincia argentina de Neuquén. Es un estratovolcan, producto de 4 ciclos eruptivos, a los que le siguieron sucesivos derrames de lavas. Su forma cónica es casi perfecta, presenta una altura de 3.776 metros sobre el nivel del mar, y no registra actividad. Se encuentra en el límite entre la Argentina y Chile, y casi tres cuartas partes de la montaña pertenecen al territorio argentino. En el territorio argentino se ubica en el parque nacional Lanín, entre los lagos Paimún y Huechulafquen al sur y el Tromen al norte. Presenta grandes glaciares en su cara sur, los de



**Volcán Lanín, en el parque nacional del mismo nombre, provincia de Neuquén.**



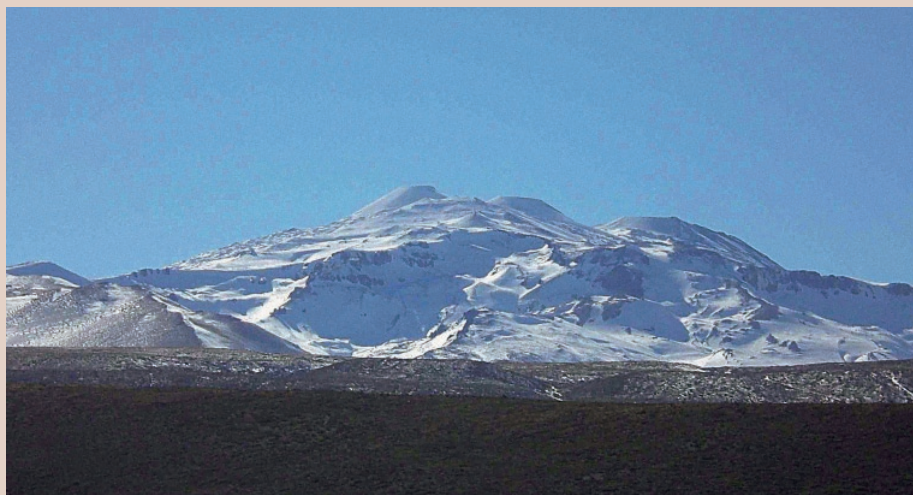
la cara norte eran visibles hasta la década de 1980, actualmente están muy reducidos.

Fue reportada alguna actividad en el volcán Lanín luego de un sismo del año 1906, pero esto no pudo ser verificado. Según otras fuentes, registró actividad en el siglo XVIII. Tampoco se conocen erupciones en tiempos históricos, aunque se estima que la última probablemente se produjo en el siglo VI, por lo tanto se lo considera un volcán extinto.

El cerro **Domuyo**, cuyo nombre en mapuche significa “el que tiembla y rezonga”, se encuentra en la Cordillera del Viento, en el norte de la provincia de Neuquén. Con una altura de 4.707 metros es la cumbre más alta de la región, y no sería un volcán ya que no se ha encontrado lava a sus alrededores que pueda sugerir que entro en erupción alguna vez. ¿Por que incluirlo en la lista? Las laderas del Domuyo se caracterizan por la infinidad de solfataras, surgentes de aguas calientes y géiseres, que llegan a tener temperaturas superiores a los 40° y un máximo de 90°. Sospechoso.



**Cerro Domuyo.**  
Se encuentra en  
la Cordillera del  
Viento, en el norte  
de la provincia de  
Neuquén.



El volcán **Tromen**, “blando” en mapuche, es la segunda montaña más alta de la Patagonia argentina, después del Domuyo. Es un cono volcánico inactivo. Las coladas de lava que descienden del volcán le dan una fisonomía inigualable. Las coladas de lava más nuevas tienen unos 1.500 años de antigüedad y los originarios del lugar lo han registrado en pinturas rupestres.

El volcán **Copahue**, “aguas sulfurosas” en mapuche, tiene una altura de 2.965 metros sobre el nivel del mar y las tres cuartas partes de su estructura están en territorio chileno, es un estratovolcán activo localizado en la provincia de Neuquén, en el límite entre la Argentina y Chile. En su cumbre se observan ocho cráteres alineados, siete de los cuales están en el lado chileno y uno en la zona argentina, el más oriental es el activo y el que presenta un lago en el cráter cuyo desagüe fluye hacia el este originándose así el río Agrio.





La información sobre las erupciones históricas del volcán Copahue es escasa e incompleta. Un total de doce erupciones han sido reportadas durante los últimos 250 años. La mejor documentada tuvo lugar entre julio y agosto de 1992 cuando ocurrieron explosiones que incluyó emisiones de material piroclástico y flujos de barro.

En 1995 ocurrieron varias explosiones aisladas. La erupción del año 2000 comenzó al iniciarse el mes de julio y duró hasta fines de octubre, siendo el ciclo eruptivo más largo y la erupción de mayor magnitud durante tiempos históricos. Durante este período la erupción mostró diferentes estados. Los materiales eyectados incluyeron polvo volcánico, partículas de azufre, bombas, abundantes cenizas y gases.

Las bombas y lapillis gruesos eyectados se encontraron hasta 1,5 kilómetros de distancia alrededor del cráter, aunque bombas mayores a los 15 cm fueron encontradas entre 8 y 9 kilómetros del cráter.

Si bien la mayoría de las erupciones recientes han sido de tipo “tranquilo”, no se puede descartar un aumento de la peligrosidad de estas erupciones al interactuar con las aguas de su lago. Por este motivo, y sabiendo que existen dos ciudades pobladas, Copahue y Caviahue, en la cercanía de dicho volcán, actualmente existe un proyecto de investigación multidisciplinario para evaluar su peligrosidad.

El cerro **Tronador** es un estratovolcán inactivo que se encuentra en la frontera entre Chile y la Argentina cerca de la ciudad de Bariloche, provincia de Río Negro. Separa dos parques nacionales: el Vicente Pérez Rosales en Chile y el parque nacional Nahuel Huapi, en Río Negro.

Tiene una altura de 3.491 metros sobre el nivel del mar. Posee tres cimas: una argentina (pico argentino), de 3.200 metros sobre el nivel del mar (msnm), una cumbre chilena de 3.320 msnm y una fronteriza,



Si bien la mayoría de las erupciones del volcán Copahue recientes han sido de tipo “tranquilo”, no se puede descartar un aumento de la peligrosidad de estas erupciones al interactuar con las aguas de su lago. Actualmente existe un proyecto de investigación multidisciplinario para evaluar su peligrosidad.



El cerro Tronador es un estratovolcán inactivo que se encuentra en la frontera entre Chile y la Argentina cerca de la ciudad de Bariloche, provincia de Río Negro.

entre ambos países, de 3.491 msnm. Está cubierto por siete glaciares. En la Argentina se encuentran, de sur a norte, los glaciares Frías, Alerces, Castaño Overo y Río Manso, mientras que en Chile en la misma dirección, están los glaciares Peulla, Casa Pangue y Río Blanco. El nombre del cerro se debe al ruido similar al de truenos producido por los frecuentes desprendimientos y caídas de grande fragmentos de hielo. En su base existe una zona donde los hielos se tiñen de negro producto de los sedimentos y arenas que acarrear, dicha zona es llamada el ventisquero negro.



### El NOA no se queda atrás

En el noroeste argentino (NOA) se encuentra el cerro **Tuzgle**, en la provincia de Jujuy, con una altura de 5.486 metros, es el volcán más oriental de la Argentina y en él se pueden observar importantes flujos de lava y aguas termales. Y el volcán **Aracar**, con una imponente altura de 6.095 metros. Si bien no se conocía una erupción histórica, en 1993 se reportó una posible columna de cenizas. Posee un cráter de 1 a 1,5 kilómetros de diámetro que contiene un pequeño lago en su cima.

Además se pueden encontrar una serie de volcanes en el límite con Chile, como los volcanes **Socompa** y el cerro **Llullaillaco** en la provincia de Salta, y el volcán **Azufre** en la provincia de Catamarca, entre otros. No se tiene registro de erupciones recientes en ninguno de ellos. En esta última provincia también se encuentra el cerro **Ojos del Salado**, que con sus 6.879 metros de altura, es considerado el volcán más alto del mundo. Es un complejo volcánico formado por una amplia caldera que ha sido cubierta por lavas y numerosos conos. No está confirmado que haya entrado en erupción en épocas recientes, sin embargo el volcán muestra una persistente actividad de sus fumarolas. En la provincia de Catamarca, se encuentra el famoso y joven volcán

En el volcán **Aracar**, con una imponente altura de 6.095 metros, se reportó en 1993 una posible columna de cenizas. Posee un cráter de 1 a 1,5 kilómetros de diámetro que contiene un pequeño lago en su cima.



Volcán **Llullaillaco**, en la provincia de Salta





**Antofagasta**, con una altura de 3.495 metros, no se conoce ninguna erupción histórica. Forma parte de un campo volcánico compuesto por una serie de conos de escoria, que pueden tener sólo unos cientos de años de antigüedad.

### Cuyo y el Sur también existen

En la provincia de Mendoza, también se encuentran gran cantidad de volcanes. Con una altura de 4.999 metros, se eleva el cerro **Risco Plateado**. El volcán se eleva sobre una caldera de 4 kilómetros de diámetro y está asociado a flujos de lava, algunos de los cuales se extendieron hasta el río Atuel.

El cerro **Sosneado** es el de mayor altura en la provincia con sus 5.189 metros y se eleva al sureste de una amplia zona denominada Caldera del Atuel, dentro de la que también se encuentran los complejos del volcán **Overo** en el noreste y el grupo conocido como Las Lágrimas hacia el suroeste. En el borde occidental de la caldera, que se encuentra ocupada y rodeada por numerosos volcanes y conos de cenizas, se ubican las nacientes del río Atuel.

Y en la misma provincia de Mendoza, en el límite con Chile, se encuentra entre otros, el volcán **San José**, con una imponente altura de 6.070 metros. Presenta también una amplia caldera de 2 kilómetros, que contiene cráteres, conos y flujos de lavas superpuestas. Fueron registradas erupciones en los siglos XIX y XX.

Y si nos vamos un poco más al sur, en la provincia de Santa Cruz podemos encontrar al **Nunatak Viedma**. Un Nunatak es un pico montañoso que emerge de un territorio cubierto por un glaciar. Una erupción en 1988 confirmó la presencia de una boca localizada por debajo del campo de hielo patagónico, al noroeste del lago Viedma. Sólo parte del viejo volcán emerge sobre la superficie de la capa de hielo. La erupción de 1988 depositó cenizas y pómez sobre la capa de hielo que produjeron flujos de barro que ingresaron al lago Viedma.

### Cuando la Tierra tiembla

Y hablando de Cuyo, en 1861 y para ser más precisos el 20 de marzo a las 11 de la noche, la ciudad de Mendoza sufrió el sismo o terremoto más grande registrado en la historia argentina. El terremoto destruyó y devastó la capital de la provincia causando la muerte de entre 6.000 y 10.000 personas, de una población estimada en 18.000 a 20.000 vecinos. Con estas cifras y daños, se lo considera uno de los



En la provincia de Mendoza, con una altura de 4.999 metros, se localiza el cerro Risco Plateado. El volcán se eleva sobre una caldera de 4 kilómetros de diámetro y está asociado a flujos de lava, algunos de los cuales se extendieron hasta el río Atuel.



terremotos más desastrosos de su siglo en todo el mundo, y sin dudas el más catastrófico del país durante el siglo XIX.

La ciudad se reconstruyó en un nuevo lugar cercano, ubicado aproximadamente 1 kilómetro al sudoeste, en el solar que pertenecía a la actual Parroquia Santiago Apóstol y San Nicolás, y las autoridades se mudaron al nuevo asiento en 1863. Las nuevas construcciones incorporaron tendencias arquitectónicas modernas, claramente diferentes de las viejas edificaciones coloniales y el diseño de la ciudad nueva fue pensado para la evacuación rápida de los habitantes frente a una nueva emergencia sísmica. ¿Por que en Mendoza?



Un terremoto se puede definir como la vibración de la Tierra producida por una rápida liberación de energía que se encontraba acumulada en las rocas. La energía liberada irradia en todas las direcciones desde su origen, el foco, en formas de ondas.

### Energía liberada

Un **terremoto** se puede definir como la vibración de la Tierra producida por una rápida liberación de energía que se encontraba acumulada en las rocas. La energía liberada irradia en todas las direcciones desde su origen, el **foco**, en formas de ondas.

Para explicar este fenómeno por medio de una analogía, imaginémos que arrojamamos una piedra a un charco cuya agua se encuentra en reposo. El impacto de la piedra produce ondas que viajan por el agua desde donde cayó la piedra. Del mismo modo un terremoto genera ondas sísmicas que se mueven por la Tierra.

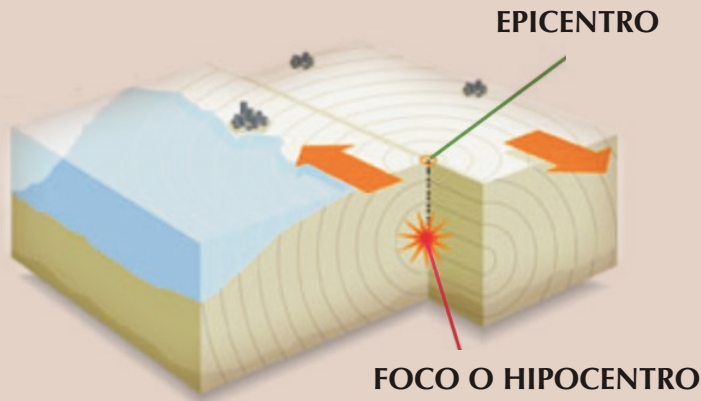
Como hemos mencionado en varias ocasiones, a lo largo de los bordes de contacto de las placas de la corteza, se generan fuerzas capaces de producir actividad sísmica y volcánica. Esto ocurre especialmente, en los **bordes convergentes**: cuando una placa oceánica se hunde bajo una placa continental; entre ambas, se produce una enorme fricción, y las presiones se acumulan y deben liberarse.

En los **bordes transformantes**, las placas no se desplazan en forma continua, sino de modo brusco e intermitentemente. En cada salto se libera energía en forma de ondas sísmicas, como en la falla de San Andrés, en California.

Por el contrario, los terremotos que se producen en los **bordes divergentes**, son de menor intensidad y magnitud, y en zonas cercanas a regiones volcánicas pueden producirse movimientos por el ascenso de magma caliente.

Los **sismólogos** son especialistas en terremotos que intentan predecir cuales áreas son potencialmente peligrosas. Si en una zona activa pasa mucho tiempo sin que se produzcan movimientos sísmicos, el sismólogo debe evaluar la energía que se está acumulando y prever el riesgo que una zona puede correr.





Como se muestra en la figura, el foco o hipocentro es el punto en la profundidad de la Tierra desde donde se libera la energía en un terremoto. Puede estar a muchos kilómetros en el interior de la Tierra. Mientras que el epicentro es el punto en la superficie terrestre ubicado directamente sobre el hipocentro. En él es donde la intensidad del terremoto es mayor.

Los terremotos tienen tres períodos. En el primero aumenta la fricción o roce entre los bloques producto de los movimientos lentos e inevitables de la litósfera. Las rocas de la zona de fricción tienen características físicas especiales, que les permiten acumular energía antes de romperse.

El segundo período es la liberación de la energía acumulada, la actividad sísmica en sí. El foco o hipocentro es el punto en la profundidad de la Tierra desde donde se produce esta liberación de energía. Puede estar a muchos kilómetros por debajo de la superficie. El epicentro es el punto en la superficie terrestre ubicado directamente sobre el hipocentro. Es donde la intensidad del terremoto es mayor. Luego del sismo, se da un período de ajuste de los bloques que nuevamente comenzaran a acumular tensión y así sucesivamente.

Toda la zona cordillerana de nuestro país, que se encuentra próxima al borde de encuentro de las placas Antártica y de Nazca con la placa Sudamericana, es una zona sísmica.

### Mercalli y Richter

Los sismos tienen distinta intensidad, suaves o desastrosos. Pero para medir su intensidad se necesita una escala o patrón de comparación.

En 1902, Giuseppe Mercalli desarrolló una escala de intensidad basada en los daños producidos en los distintos tipos de estructuras. La **escala de intensidad de Mercalli**, la cual se expresa en números romanos, va del I para los sismos que son casi imperceptibles hasta el XII cuando el daño es total. Evalúa el daño producido por un terremoto en una localización específica, la cual depende no sólo de la fuerza, sino también de otros factores como la distancia al epicentro, la naturaleza de los materiales de superficie, el diseño de los edificios, la forma como las ondas llegan al sitio en que se registra y lo más importante cómo la población sintió o dejó registros del terremoto.





El terremoto de Salta de 1692 es el primer sismo del que se tiene registro, con una magnitud de 7,00 en la escala de Richter, y se sintió con grado IX en la escala de Mercali. Destruyó la pequeña población de Talavera del Esteco, ocasionó numerosas víctimas y produjo daños considerables en la ciudad de Salta.

Para caracterizar a los terremotos también se utiliza la magnitud, que se determina mediante la **escala de Richter**. Esta escala no se basa en los daños sino que mide la amplitud de la mayor onda registrada en el sismograma. Es una escala que crece en forma potencial o semi-logarítmica, de manera que cada punto de aumento puede significar un aumento de energía diez veces mayor. Por ejemplo, un terremoto de magnitud 4, no libera el doble de energía que un terremoto de escala 2, sino que es unas 100 veces más intenso.

### Terremotos en la Argentina

Si bien la Argentina, no se caracteriza por grandes sismos como sucede en otras partes del mundo, estos han ocurrido a lo largo de los últimos cuatro siglos. Vamos a realizar una síntesis de los movimientos con mayor intensidad registrados a lo largo de la historia de nuestro país.

El terremoto de Salta de 1692 es el primer sismo del que se tiene registro, con una magnitud de 7,00 en la escala de Richter, y se sintió con grado IX en la escala de Mercali. Destruyó la pequeña población de Talavera del Esteco, ocasionó numerosas víctimas y produjo daños considerables en la ciudad de Salta.

Ya describimos el terremoto de Mendoza de 1861, solo nos falta mencionar su intensidad: 7,0 en la escala de Richter y una intensidad de IX en la escala de Mercalli. Pero este no fue el único sismo que azotó a la provincia. En 1927 ocurrió otro de magnitud estimada de 7,1 en la escala de Richter y de una intensidad de grado VIII en la escala de Mercalli.

El terremoto de San Juan se produjo el día 15 de enero de 1944 a las 20:50 horas, con epicentro ubicado a 30 kilómetros al norte de la ciudad de San Juan, en las proximidades de La Laja, departamento de Albardón. Se estimó que su magnitud alcanzó 7,8 grados de la Escala Richter y su intensidad máxima de IX en escala Mercalli. Destruyó la ciudad de San Juan, ocasionando la muerte de 8.000 a 10.000 habitantes.

El terremoto de Caucete de 1977 fue el mayor terremoto conocido en la provincia de San Juan. Registró una magnitud de 7,5 en la escala de Richter. Su epicentro estuvo en la localidad de Caucete, al sur de dicha provincia; su hipocentro estuvo ubicado a una profundidad de 17 kilómetros. Se sintió con una intensidad de grado IX en la escala de Mercalli.

Este terremoto se generó por un mecanismo denominado de evento múltiple, ya que ocurrieron dos terremotos, el primero disparador del segundo. El primer sismo se produjo a las 6:26 hs.; su magnitud fue de 6,6 y su epicentro se ubicó al noreste de la sierra de Pie de Palo,



a una profundidad de 17 kilómetros. Veintiún segundos más tarde se produjo el terremoto principal de magnitud 7, intensidad IX y epicentro en el extremo sudeste de la sierra de Pie de Palo a una profundidad de 25 kilómetros.

El terremoto de 1977 produjo 65 víctimas fatales y más de 300 heridos. Las zonas más afectadas fueron los departamentos que rodean a la ciudad de San Juan, en el valle del Tulum (Caucete, 25 de Mayo, 9 de Julio, San Martín, Angaco, Santa Lucía Rawson, Sarmiento y Pocito). Los mayores daños se produjeron en las construcciones de adobe. Se originaron cráteres y volcanes de arena, derrames laterales y violentas salidas de agua con hasta tres metros de altura. La red vial fue enormemente afectada, al igual que la red de riego y drenaje, y la infraestructura ferroviaria.

Dos nuevas réplicas de este sismo se produjeron el 6 de diciembre de 1977 y el 17 de enero del año siguiente con marcas de 5,9 y 5,7 en la escala de Richter. Estos produjeron leves daños también en Caucete y en Albardón, ambas en San Juan.

El terremoto de Catamarca de 2004 registró una magnitud de 6,5 en la escala de Richter. Su epicentro se localizó en la Sierra de Ambato, a 50 kilómetros de la capital de la provincia, a una profundidad de 57 kilómetros. El terremoto fue de grado VII en la escala de Mercalli. Además fue percibido en 14 provincias argentinas así también como en países limítrofes tales como Chile y Paraguay. Por suerte, los mayores daños ocurridos fueron solo sobre construcciones edilicias con la interrupción del servicio eléctrico y telefónico debido a que el epicentro se ubica en un área despoblada.

### Ni los porteños se salvan

A más de mil kilómetros de la cordillera, la zona del río de La Plata parecería estar fuera de riesgo sísmico, pero no es así. Si tomamos en cuenta que toda la superficie del planeta son placas, no existen en el mundo regiones libres de sismos.

El 5 de junio de 1888, se produjo el terremoto del río de la Plata, con una magnitud de 5,5 en la escala de Richter. Su epicentro estuvo en la profundidad del río de la Plata y su hipocentro a 30 kilómetros de profundidad, a 15 kilómetros al sur suroeste de Colonia del Sacramento y 41 kilómetros al este de Buenos Aires.

Afectó a todas las poblaciones de la costa del río de la Plata, en especial a las ciudades de Buenos Aires y Montevideo. Produjo daños leves, ya que aún no existían edificios de altura, ni trenes subterráneos. Aún así, luego de este terremoto, en ninguna de las dos capitales se han tomado medidas antisísmicas en sus construcciones.



**El día 15 de enero de 1944 a las 20:50 horas, con epicentro ubicado a 30 kilómetros al norte de la ciudad de San Juan, se produjo un terremoto que alcanzó 7,8 grados de la Escala Richter y su intensidad máxima de IX en escala Mercalli. Destruyó la ciudad de San Juan, ocasionando la muerte de 8.000 a 10.000 habitantes.**



Se cree que estos sismos son provocados por una región en especial, en la cuenca de Punta del Este, que está altamente fallada, por lo que puede haber movimiento de placas tectónicas, produciendo las ondas que dan lugar al temblor.

El fenómeno podría repetirse en el río de la Plata, y como respaldo se cuentan con dos antecedentes: el sismo uruguayo del 26 de junio de 1988 y el del 10 de enero de 1990, el único registrado en el territorio continental uruguayo, sin mencionar las réplicas de los terremotos provocados por las placas tectónicas del Pacífico, que repercuten por lo general en la costa atlántica argentina, incluyendo Montevideo y Buenos Aires.



## Capítulo 3.

# En la superficie



## Meteorización

La Tierra es un cuerpo dinámico, cambia su aspecto continuamente a través del tiempo. Ni los accidentes geográficos ni la distribución de los ríos y las costas son constantes. Si bien, hace 200 años, se consideraba la estabilidad de estos ambientes, hoy sabemos que la permanencia de los mismos es efímera de unos miles de años, a lo sumo.

Las montañas son creadas por las fuerzas internas, pero son desbastadas por los agentes atmosféricos externos: viento, aguas continentales, mares, océanos, hielos, glaciares y gravedad, sobre la capa superficial de la Tierra, los cuales van originando una lenta destrucción y modelación del paisaje rocoso y del relieve, y en cuya actividad se desprenden materiales que una vez depositados forman las rocas sedimentarias. La meteorización y la erosión que analizaremos en este capítulo, son los procesos geológicos encargados de modelar el paisaje. A este conjunto de procesos se los conoce como geodinámica externa.

La **meteorización** es un conjunto de procesos que sufren las rocas y los minerales cuando quedan expuestos en la superficie terrestre o cerca de ella. Se trata de efectos complejos que normalmente no pueden explicarse por separado, pero que se los agrupa para su estudio.



Esquema del confinamiento y liberación de la roca madre.

**ROCA MADRE**



**METEORIZACIÓN**

**SUELO**



**EROSIÓN**

**TRANSPORTE**

**SEDIMENTOS**



**DEPOSITACIÓN**

**CEMENTACIÓN**

**DIAGÉNESIS**



**ROCAS SEDIMENTARIAS**



La **meteorización física** consiste en la desintegración de rocas y minerales provocados por cambios físicos, sin modificación de la composición química de los mismos. Cuando una roca experimenta meteorización mecánica o física, será fragmentada en porciones cada vez más pequeñas. Cada uno de estos fragmentos o **clastos**, conserva las características de la roca original. Finalmente, resultan partículas sueltas de diversos tamaños y formas.

Este tipo de meteorización se puede dar por congelamiento, donde el agua en estado líquido, penetra en la roca por pequeñas grietas y hasta puede encontrarse dentro de la estructura cristalina de ciertos minerales. Como sabemos, el agua al congelarse aumenta su volumen y en consecuencia aumenta el tamaño de esas aberturas o grietas. Luego de numerosos ciclos de congelación-deshielo, la roca se rompe.

Este tipo de erosión es muy similar a la **expansión térmica**. El calentamiento de una roca produce la expansión de su volumen y el enfriamiento causa la contracción de la roca. La dilatación y contracción reiteradas ejercen cierta tensión sobre las capas externas de la roca. Esta acción es muy común en regiones montañosas, donde las temperaturas alcanzan valores bajo cero durante la noche y se elevan durante el día como en la mayor parte de la región andina y la Puna.

Si grandes masas de rocas quedan expuestas en la superficie, la presión que sufría en el interior de la corteza disminuye bruscamente y al descomprimirse las capas externas se expanden más que la roca situada por debajo y así se va separando del cuerpo rocoso. Como resultado de esto se producen lajas.

La **meteorización química** es la alteración de los minerales, debido a la acción del agua cargada de sales disueltas; puede haber pérdida de algunos elementos y/o ganancia de otros.

Para poder entender este proceso debemos entender primero que es la **estructura cristalina** de un mineral. Esta estructura se puede comparar con una casa, donde hay columnas, vigas y ladrillos, cada uno de estos elementos sirve de sostén al resto y a la estructura en general. Cuando el cristal de un mineral, pierde ciertos elementos como el potasio o el calcio, la estructura cristalina se debilita y la unión entre los componentes es más laxa. Algunos autores se refieren a la meteorización química como el “escuadrón de demolición” de las estructuras cristalinas.



**La meteorización es un conjunto de procesos que sufren las rocas y los minerales cuando quedan expuestos en la superficie terrestre o cerca de ella.**

### ¿Cómo puede demolerse la estructura de un mineral que parece tan sólido?

El agua es un solvente universal y pocas sustancias escapan a su acción. Uno de los elementos del mineral se disuelve en el agua, como



por ejemplo la halita, la sal común. Otra forma es por hidratación, las moléculas de agua se meten en las redes cristalinas, presionando y combinándose con algunos de los componentes del mineral y debilitando la estabilidad del conjunto. Esto es muy común en las arcillas, que al incorporar agua aumentan su volumen y se descomponen. Además, en la naturaleza, el agua contiene normalmente otras sustancias que contribuyen en gran medida a tornarla más reactiva; la más común de estas sustancias es el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que se disuelve en el agua para formar ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). La lluvia disuelve en parte el  $\text{CO}_2$  en la atmósfera e incorpora, durante la infiltración del suelo, cantidades variables de ácido carbónico liberadas por la descomposición de la materia orgánica. El ácido carbónico presente en el agua, disuelve las rocas más abundantes en la superficie terrestre como los granitos.

Pero uno de los agentes químicos más frecuente es el oxígeno. La oxidación afecta principalmente al hierro, que es un elemento esencial en la estructura cristalina de algunos minerales más comunes en la corteza. El oxígeno se combina con el hierro, deformando y debilitando la estructura química. Si tenemos en cuenta que el oxígeno se encuentra en un 20 % en la atmósfera, nada en la superficie escapa a su acción.

Por último, y no por ello menos importante, la **meteorización biológica** es el resultado de la interacción de los organismos con las rocas. Las actividades de los organismos entre ellas las plantas, los animales excavadores y los seres humanos, provocan también meteorización.



Las raíces de las plantas afectan el sustrato y el desarrollo del suelo.



Las plantas desarrollan, en general, importantes sistemas de anclaje: raíces. A medida que crecen, sus raíces ejercen una intensa labor de excavación del sustrato en busca del agua que necesitan para su subsistencia; penetrando así la roca y resquebrajándola. Aunque es menos visible, también es importante la erosión provocada por pequeños vegetales y los líquenes. En efecto, los líquenes actúan sobre las rocas desnudas, empiezan su descomposición y permiten que otros organismos mayores continúen la tarea.

Los animales excavadores, son importantes transportadores de material hacia la superficie, donde los procesos físicos y químicos actúan con mayor intensidad. Pequeños invertebrados, como los gusanos y algunos insectos, airean el suelo y permiten la entrada de agua en la roca madre. Los organismos también producen ácidos que contribuyen a la meteorización química. Algunos microorganismos secretan sustancias, con alto poder corrosivo, que alteran químicamente rocas.

Finalmente, los vertebrados terrestres causan impacto por medio de la excavación o construcción de nidos y madrigueras, así como por el paso de grandes manadas por las mismas sendas. A su vez, ejercen un control sobre la población vegetal de la que se alimentan. ¿Y los humanos?



**Los animales excavadores, son importantes transportadores de material hacia la superficie, donde los procesos físicos y químicos actúan con mayor intensidad.**

### Solo tiempo

El modelado del relieve se produce, en gran medida, por la acción de la meteorización sobre los materiales preexistentes y por lo tanto, está condicionado por los mismos factores que controlan la meteorización. Los más importantes son el tipo de rocas y el clima, pero existe otro factor que contribuyen a exagerar o suavizar los efectos, el tiempo.

Teniendo en cuenta que el relieve esta formado por materiales y rocas de la corteza terrestre, se podría decir que el tipo de roca es el factor determinante en el modelado del relieve, precisamente porque es en las rocas, donde ocurren los procesos de la meteorización. Sin embargo, también es importante evaluar variables como temperatura, agua y viento para que se produzca la fragmentación y descomposición de la roca.

Sabemos que el clima, varía en función del tiempo, las estaciones, la intensidad de la actividad solar, la actividad volcánica, etc. Podemos decir, entonces, que depende de los mecanismos físicos y químicos que actúan sobre la superficie del planeta. El clima también influye en el desarrollo de la vida y sobre las rocas expuestas a la meteoriza-





ción. Los vegetales son los seres vivos que más rápidamente acusan las variaciones climática, así mismo el clima influye de sobre manera para que se de determinado tipo de meteorización, de allí su importancia. Por ejemplo, las rocas carbonáticas se disuelven con facilidad por acción del ácido carbónico en el agua, pero un relieve de estas rocas al sur de la provincia de Mendoza donde las lluvias son escasas sufrirá muy poca meteorización. Aunque estas condiciones climáticas pueden cambiar con el tiempo.

El tiempo que un relieve está sometido a los agentes erosivos y a la meteorización, hace que lo consideremos más “maduro” o más “joven”. El tiempo transcurrido desde su formación permite que los agentes geológicos externos actúen modelando los relieves surgidos. Por tanto, cuanto mayor sea la antigüedad de una estructura, tanto más probable es que la estructura haya sufrido más exposición y por lo tanto, su relieve sea más suave, que las estructuras surgidas en épocas geológicas más recientes.

La meteorización o alteración prepara el material para que se produzca otro proceso determinante para el modelado del relieve, la erosión.

## Erosionando

Como vimos en el ciclo de las rocas, la erosión es un proceso natural que forma parte del reciclaje constante de los materiales de la Tierra y que da origen a las rocas sedimentarias.

La **erosión** es uno de los factores principales para la modelación y creación del relieve; esto queda determinado por los factores mencionados anteriormente como el tipo de roca, el clima, la biota y el tiempo. Y sobre todo, por el papel fundamental de los agentes de transporte para desgastar, trasladar y depositar los materiales de la superficie terrestre de un lado a otro. El conjunto de estos procesos por un lado dará origen a nuevas topografías y por otro, producirá el moldeado de los relieves preexistentes.

Podemos definir sintéticamente la erosión como la acción de gastar, provocando una pérdida del relieve y una disminución del volumen de la roca, y tiene lugar cuando el agua, el hielo o el viento arrastran el material meteorizado.

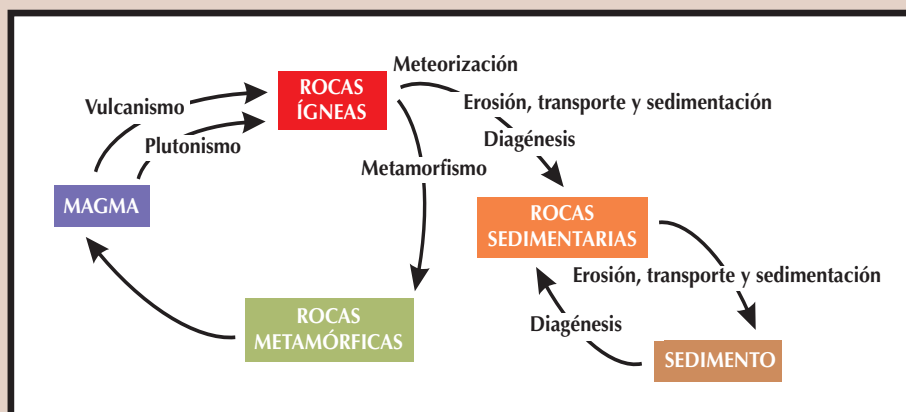
El agua, es uno de los agentes con mayor poder de desgaste y transporte. Su acción es muy importante sobre todo en ambientes áridos. Allí donde escasea el agua, cuando se producen precipitaciones o cuando el caudal de los ríos aumenta en primavera, es evidente la







Diagrama que representa el ciclo de las rocas.



acción erosiva y de acarreo. La acción química del agua ayuda en este proceso. Los ríos transportan toneladas de sedimentos hacia zonas donde el nivel de base sea menor, es decir, en mayor o menor tiempo llegarán hacia las profundidades del mar.

El hielo, por su densidad, es un agente erosionante muy fuerte, pero su escasa distribución y lentitud en el movimiento, relativiza sus efectos.

Debido a su menor fuerza, el viento resulta un agente muy selectivo, ya que solo puede transportar partículas finas hasta el tamaño de la arena. En casos especiales las partículas pueden viajar miles de kilómetros para depositarse en regiones totalmente distintas. Los depósitos eólicos más conocidos son las **dunas**.

Las avalanchas, los desprendimientos de tierra y barro (por ejemplo, el alud que ocurrió en Tartagal, provincia de Jujuy) son ejemplos de movimientos masivos: es decir, los movimientos repentinos, colina abajo, de una gran cantidad de tierra, roca y agua, causados por la propia acción de la gravedad.

## El impacto humano

Todos los organismos alteran en mayor o menor medida el entorno en el que viven, modelando el paisaje. El ser humano no es una excepción, al contrario, debido a sus progresivos avances tecnológicos y al incremento en la demanda de recurso de una población cada vez mayor, produce un enorme impacto a corto, mediano y largo plazo.

Los paisajes que resultan de la acción humana ocupan una amplia extensión de la superficie del planeta. Básicamente, la acción antrópica puede ser clasificada en dos tipos: de **explotación** (tierras agrícolas, forestales, actividad minera, etc.) y de **construcción** (ciudades, caminos, etc.). En los últimos años la actividad industrial, no solamente altera la superficie de la Tierra, sino que pone en riesgo la supervivencia





La agricultura y la explotación forestal, la urbanización, la instalación de industrias y la construcción de caminos destruyen parcial o totalmente la vegetación, acelerando la erosión de los suelos.

en el planeta debido a la alteración de la composición de la atmósfera y la hidrósfera con su consecuente impacto en el cambio climático, lluvias ácidas, contaminación... y sigue la lista.

En terrenos donde la actividad del ser humano es mínima, los suelos quedan protegidos por el manto vegetal. Cuando la lluvia cae sobre una superficie cubierta por plantas o su hojarasca, parte de la humedad se evapora antes de llegar al suelo. Los árboles y las plantas herbáceas actúan de cortavientos y el entramado de las raíces ayuda a mantener los suelos en su lugar, frente a la acción de la lluvia y el viento.

La agricultura y la explotación forestal, la urbanización, la instalación de industrias y la construcción de caminos destruyen parcial o totalmente la vegetación, acelerando la erosión de los suelos. El escurrimiento del agua rica en sales minerales, es más intensa en zonas donde la vegetación es escasa. También varía dependiendo los cultivos que sean explotados: el escurrimiento es menor en zonas sembradas con trigo, que cubren el terreno, que en zonas con maíz, que se cultivan en surcos, pero sin dudas el desmonte para la plantación de soja genera el mayor impacto. A esto debemos sumarle que al aumentar la productividad agrícola por medio de la fertilización y riego artificial, aumentan los efectos negativos.

También el excesivo pastoreo puede transformar el ambiente, como la destrucción de los suelos patagónicos por la ganadería ovina.



Alud en Tartagal, provincia de Salta.

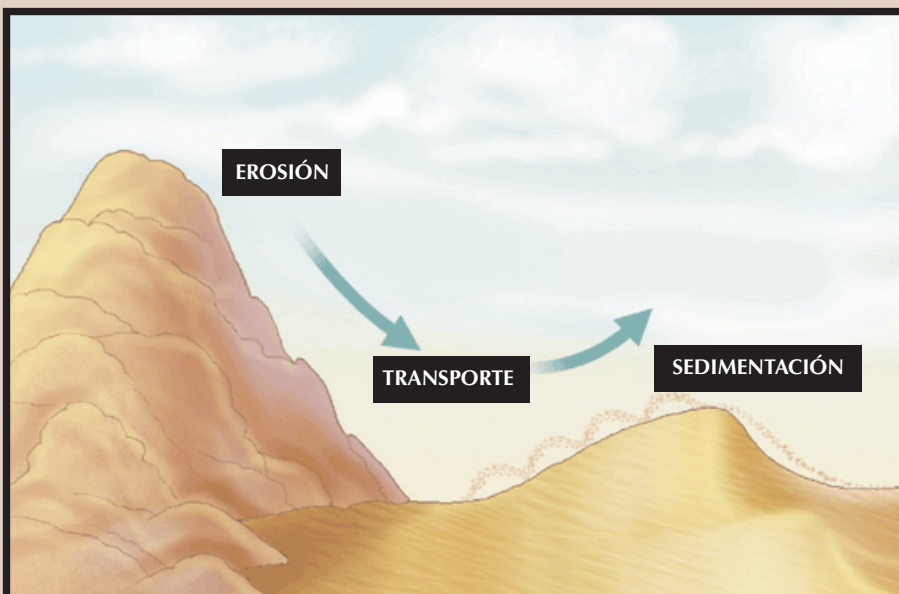


## Los depósitos

Luego de un desgaste o pérdida de material y consecuente transporte del mismo, llega la sedimentación, la formación de depósitos que es la última fase de este proceso denominado erosión. La sedimentación o los depósitos sedimentarios, varían su forma y estructura de acuerdo con el tipo de agente que los transportó.

Un ambiente sedimentario consiste en un punto geográfico en donde tiene lugar la depositación de material sedimentario y que esta caracterizada por un conjunto de procesos químicos, físicos y biológicos que dejan una marca en el depósito resultante. Las características de estos procesos pueden variar en su intensidad, lo cual genera, como siempre, que los ambientes resultantes sean a la vez dinámicos y complejos.

Los sedimentos de los depósitos pueden ser propios o ajenos al mismo. Algunos, tienen origen en la propia cuenca o provienen de una fuente muy cercana a su ambiente sedimentario, como por ejemplo los depósitos de los glaciares o los abanicos aluviales. Los sedimentos de origen químico que precipitan en los cuerpos de aguas, son autóctonos, es decir, que los minerales que los componen se originaron y se depositaron en el mismo lugar. Otros sedimentos provienen de fuentes lejanas del lugar donde se acumulan, estos materiales son transportados a grandes distancias. Resulta paradójico pensar que las plantas en un parque de una casa en el delta de la provincia de Buenos Aires, estén creciendo sobre sedimentos que se formaron en las montañas de Salta.



**Transporte y meteorización.**



## Ambientes

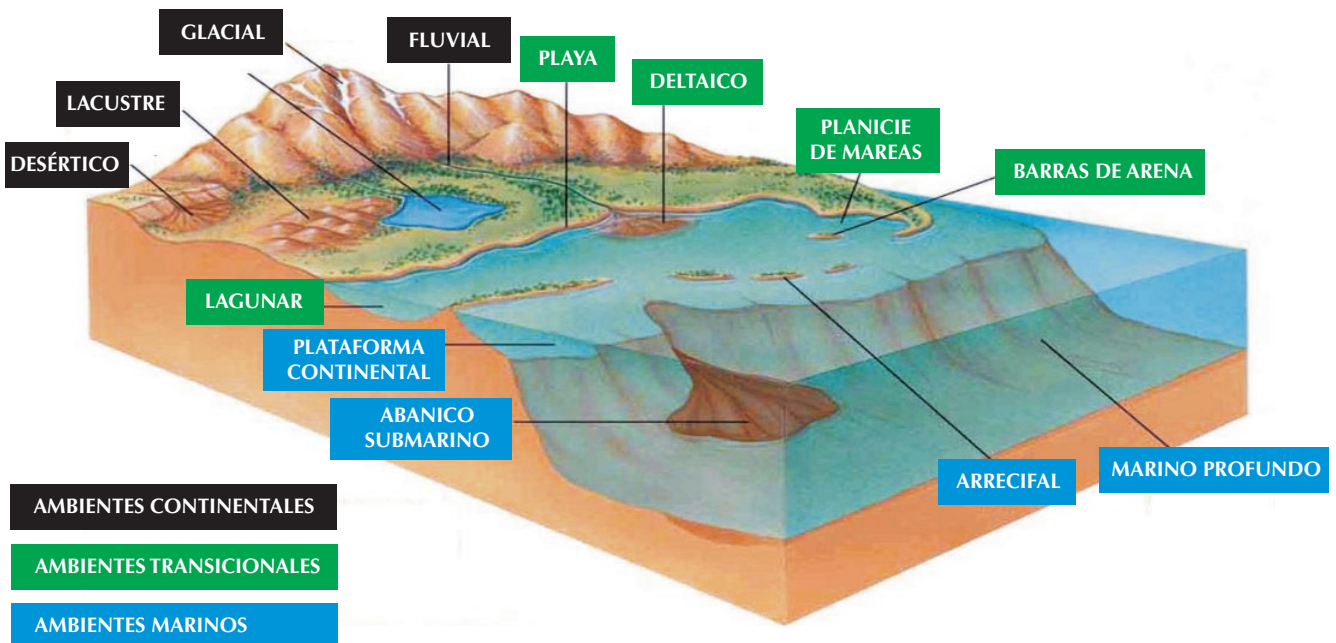
Al igual que los ecosistemas, los ambientes no poseen límites claros, se continúan unos en otros y podemos decir que la superficie del planeta está integrada por un único ambiente. Sin embargo, para poder entender su dinámica y estructura, resulta más sencillo agruparlos en tres tipos básicos: continentales, de transición y marinos.

Los **ambientes continentales** están dominados por la erosión y por la depositación asociada a ríos. En algunas regiones frías, las masas de hielo glaciario en movimiento sustituyen el agua corriente como proceso dominante. En las regiones áridas, así como en los litorales, el viento asume mayor importancia. Es evidente que la naturaleza de los sedimentos depositados en los ambientes continentales, reciben una fuerte influencia del clima. Los ambientes glaciares, fluviales, abanicos aluviales, las aguas subterráneas y ambientes kársticos, lagos y dunas se incluyen en esta categoría.

Los **ambientes de transición** se encuentran situados en el límite entre el continente y el mar. Los sedimentos se acumulan tanto por acción continental como marina. La fuerte sedimentación da lugar a cambios continuos en su aspecto y delimitación de la línea de costa, por lo que los ambientes sedimentarios que aparecen, son de gran complejidad y a veces de difícil separación. Entre los ambientes de transición se encuentra el litoral, los deltas y las albuferas.



Esquema que muestra los ambientes continentales, de transición, y marinos.



En el **ambiente marino** dominan los procesos de sedimentación sobre la erosión. La energía de transporte esta dada por la propia dinámica del mar. A esos ambientes los sedimentos llegan generalmente a través de los ambientes de transición. El ambiente marino se divide según su profundidad en plataforma, talud y ambiente marino profundo.

Como hemos mencionado anteriormente, la geología se basa en el principio del actualismo para poder comprender los depósitos de las rocas sedimentarias. Una parte importante de la estratigrafía, que desarrollaremos en el último capítulo, presenta como problema fundamental el análisis y la reconstrucción de los ambientes sedimentarios fósiles a partir de las características de los cuerpos de rocas sedimentarias. El conocimiento de los ambientes actuales, nos permite observar “en directo” los procesos erosivos y la acumulación de depósitos; el estudio de los mismos se convierte así, en una fuente de información fiable para realizar una interpretación más precisa de los ambientes del pasado. En las rocas del registro geológico pueden verse las mismas estructuras que se forman, mientras se depositan los sedimentos, en los ambientes sedimentarios actuales.







Capítulo 4.

# Nuestro mayor tesoro



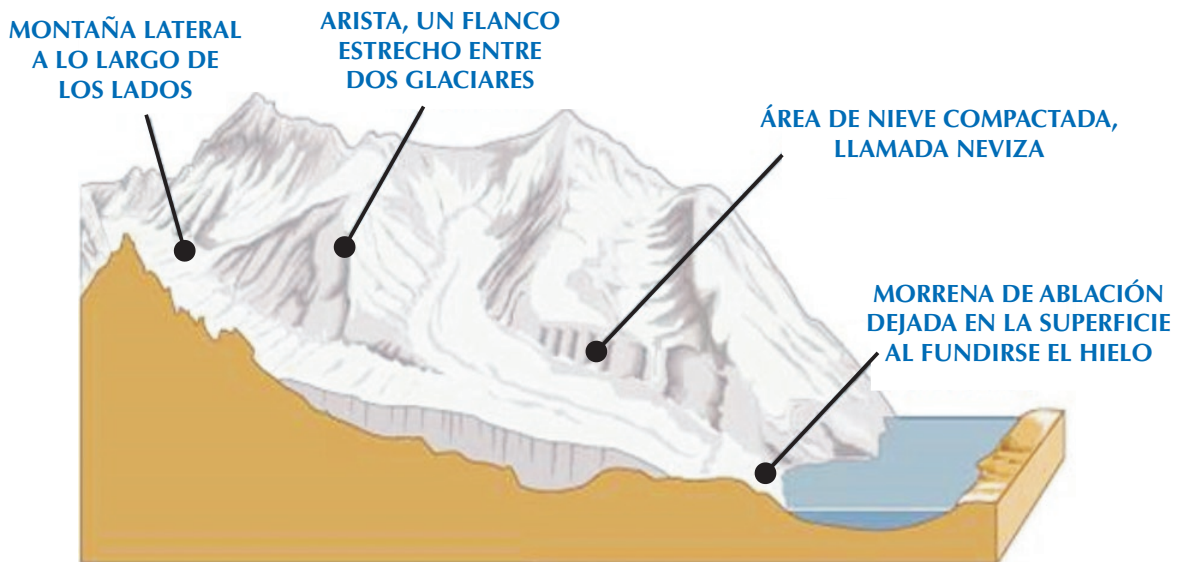
## Hielo

Los **glaciares** son grandes masas de hielo que se originan sobre la superficie terrestre por la acumulación, compactación y recristalización de la nieve. El hielo de los glaciares proviene de la compresión de la nieve por efecto de su propio peso. Para la formación de un glaciar no sólo hace falta que caiga mucha nieve en un área determinada, el principal factor es la temperatura media anual permita la conservación de la nieve caída y su acumulación. Actualmente, están restringidos por encima de los 40° de latitud ó en regiones montañosas muy elevadas.

Los glaciares se deslizan pendiente abajo por su propio peso como un río congelado. Debido a la consistencia del hielo, los glaciares son capaces de arrastrar fragmentos de rocas de todas dimensiones, desde arcillas, limos y arenas hasta rocas de varios metros de diámetro. El hielo y las rocas arrastradas por el mismo, forman una gigantesca "topadora" que erosiona el paisaje. Así los glaciares forman los circos y los valles en U. Los depósitos de sedimentos que generan estas topadoras están compuestos por una mezcla desordenada de fragmentos de todo tamaño denominado **till**, que forman carpetas delgadas debajo de los casquetes. A medida que avanza, estos depósitos se acumulan y se denominan **morrenas**. Las morrenas son depósitos que pueden quedar a ambos lados del valle o en el frente y centro del glaciar.



Esquema que muestra un ambiente glaciar.



Existen dos tipos de glaciares, los glaciares de manto o casquete y los de valle. Los glaciares **en casquete** o **de manto**, existen a una escala mayor. En el pasado geológico, su existencia era frecuente; hoy en día quedan restringidos a Groenlandia y Antártida, con un espesor de casi

4.300 metros y un área de 13,9 millones de km<sup>2</sup>. Estas enormes masas fluyen en todas direcciones, desde uno o más centros de acumulación de nieve. Las bajas temperaturas en las regiones polares hacen que estas zonas sean adecuadas para la acumulación de grandes cantidades de hielo.

Los glaciares **de valle** o **alpinos** son de tamaño pequeño, a escala glaciar, y quedan restringidos en zonas montañosas elevadas. Cada uno es una corriente de hielo que se mueve a una velocidad de pocos centímetros al día. La forma del glaciar depende del valle que ocupe: pueden ser largos o cortos, anchos o estrechos, únicos o con afluentes, como los ríos. Dos ejemplos bien conocidos en nuestro país son el glaciar **Perito Moreno** y el **Upsala**.



Glaciar Upsala, en la provincia de Santa Cruz.



Glaciar Perito Moreno, en la provincia de Santa Cruz.





**El glaciar Perito Moreno muestra un sorprendente y curioso fenómeno, en el que su gran masa de hielo avanza continuamente, provocando la acumulación, ruptura y desprendimiento de gigantescos bloques de hielo en su frente de 5 kilómetros de ancho.**

El glaciar Upsala es un gran glaciar que cubre un valle en el parque nacional Los Glaciares, en la Argentina. Su nombre se debe a que la Universidad de Upsala realizó el primer relevamiento de la región en 1908.

Sus campos de hielo cubren una extensión de 870 km<sup>2</sup>. El glaciar posee una longitud de 50 kilómetros (siendo el más largo de Sudamérica) y un ancho de 10 kilómetros. Fluye desde el Campo de Hielo Patagónico Sur, el cual también da origen al glaciar Perito Moreno que se encuentra en la misma área, hasta el lago Argentino. La altura de su frente es de aproximadamente 60 metros sobre el nivel del lago.

Su velocidad en el frente, medida en noviembre de 1990 sobre un intervalo de 4 días fue de 3,6 metros por día. El glaciar Upsala ha presentado en los últimos años un comportamiento muy peculiar en lo que hace a la posición de su frente en los últimos tiempos ha sido de una gran inestabilidad, si bien la tendencia general ha sido de retroceso (aproximadamente 60 metros por año en los últimos 60 años).

Después de su último gran avance que nos dejó las morrenas de Punta Bandera, y su posterior retroceso tuvo varios pequeños avances en tiempos muy recientes, cuya huella se puede observar sobre los bosques de su costado derecho y el último de los cuales tuvo su pico en el año 1800 de nuestra era, correspondiendo en el tiempo con los numerosos avances glaciarios que en Europa se han dado en llamarla "Pequeña Edad del Hielo".

Sus grandes témpanos a la deriva, que desprendidos del frente del glaciar, navegan empujados por el viento a lo largo del Brazo Norte y luego del lago Argentino, hasta fondearse a veces en el extremo oriental de éste, acaban fundiéndose por acción del viento, el sol y las lluvias.

El glaciar Perito Moreno es el más conocido e imponente de los glaciares de este parque nacional y está ubicado en el extremo sur, frente a la Península de Magallanes, a 78 kilómetros de El Calafate.

Este glaciar muestra un sorprendente y curioso fenómeno, en el que su gran masa de hielo avanza continuamente, provocando la acumulación, ruptura y desprendimiento de gigantescos bloques de hielo en su frente de 5 kilómetros de ancho, situado sobre el Canal de los Témpanos; allí es donde navegan los numerosos fragmentos de hielo del glaciar.

El frente del glaciar sobrepasa los 60 metros sobre el agua en su altura máxima, de donde caen continuamente trozos de diversos tamaños, produciendo una estridencia comparable al sonido del trueno. Su co-





losal avance logró cruzar el Canal de los Témpanos en el año 1947, cuando se apoyó en tierra firme en la punta de la península de Magallanes, arrasando con el bosque de lengas. Convirtiéndose en un gigantesco dique, cortó el drenaje natural de toda la parte sur del lago, el Brazo Rico.

Sus campos de hielo cubren una extensión de 257 km<sup>2</sup>. El glaciar posee una longitud de 30 kilómetros fluye desde el Campo de Hielo Patagónico Sur hasta el lago Argentino. Su velocidad es de 2,2 metros por día en el centro y 0,35 metros por día en los bordes.

A partir de estudios hechos en las morrenas laterales y en el bosque que flanquea el glaciar, los especialistas suponen que, también al contrario del resto de los glaciares de la zona, el Perito Moreno no ha variado sustancialmente su masa glaciar en los últimos 500/1.000 años.

El característico color del lago, conocido comúnmente como “leche glaciar”, se debe a las partículas minerales suspendidas en el agua, provenientes de la abrasión del glaciar contra sus lechos rocosos y de las rocas entre sí.

### Hagamos un paréntesis...

A propósito del frente glaciar querríamos aclarar un par de conceptos que a veces se mezclan y confunden en lo que respecta al avance de un glaciar: cuando se dice que un glaciar avanza o retrocede, nos estamos refiriendo solamente a la línea de su frente, ya que, como vimos anteriormente, en todos los glaciares, el hielo está en constante movimiento de avance, por deslizamiento o deformación.

El factor que hará avanzar o retroceder un frente glaciar será la relación, positiva o negativa, entre las cantidades de hielo que le llegan desde sus cuencas superiores y las que pierde por fusión o evaporación en sus cuencas inferiores.

### Las glaciaciones en la Patagonia

Por más importantes que hoy nos puedan parece nuestros glaciares y mantos de hielos patagónicos son pequeños relictos de la Era del Hielo.

En la Patagonia austral, la primera glaciación que dejó huellas claras se dio hace 3,5 millones de años y en aquella época, el hielo se extendió por lo menos 60 kilómetros al este de la actual Cordillera de los Andes. Otra gran glaciación, suponemos fue la mayor ocurrida en Patagonia, habría tenido lugar hace 1 millón de años aproximadamen-



**El factor que hará avanzar o retroceder un frente glaciar será la relación, positiva o negativa, entre las cantidades de hielo que le llegan desde sus cuencas superiores y las que pierde por fusión o evaporación en sus cuencas inferiores.**





te. Las morrenas terminales de ésta última se pueden observar en la meseta sur del río Santa Cruz, a la altura de Cóndor Cliff, a casi 200 kilómetros de distancia de la actual Cordillera.

Si bien hay algunas discrepancias sobre éste punto, lo más aceptado hoy es que los hielos sólo cubrieron la meseta patagónica en su parte más austral (al sur del río Gallegos) donde una enorme lengua se extendía sobre el actual Estrecho de Magallanes y la casi totalidad de Tierra del Fuego, como lo prueban morrenas que se han encontrado bajo el actual nivel de las aguas del océano Atlántico. En el resto de la región patagónica, los hielos avanzaron según grandes ejes oeste-este, sin llegar nunca hasta la actual costa atlántica.

En el Pleistoceno, hace 1,8 millones de años, los glaciares se extendieron hasta 100 kilómetros más al este del lago Argentino y, en la zona cordillerana, llegaron a alcanzar una altura de más de 1.000 metros sobre el actual nivel del lago. El descenso del nivel del mar permitió que la línea de la costa atlántica se situara a unos 150 kilómetros al este de la que conocemos actualmente.

En las épocas más cálidas, que alternaron con los períodos glaciares, gigantescos ríos resultado de la fusión de los hielos, cortaron las mesetas hacia el Atlántico, excavando valles a su paso. Sobre estos valles, como por ejemplo del río Santa Cruz, se deslizaron más tarde en otras etapas nuevos glaciares, depositando materiales y excavando el suelo.

Hace 18.000 años, en el pico máximo de la última glaciación la lengua glacial que se originaba en la Cordillera se extendía 100 kilómetros más al este del presente límite oriental del lago Argentino.

Posteriormente, se dio un gran retroceso y los glaciares se retiraron hasta sus límites actuales. Dejaron enormes cuencas en el terreno, que se llenaron con las aguas de fusión, formando así los lagos glaciares que hoy podemos ver: lago Viedma y el lago Argentino.

### A la deriva

El ambiente fluvial posiblemente es el más importante de la tierra firme, la morfología y el paisaje de un territorio dependen de la acción de los ríos o de su completa ausencia. A lo largo del curso, un río ejerce los tres procesos geológicos: erosión, transporte y sedimentación, aunque predomina uno u otro según la pendiente y la velocidad de la corriente.

La vida de un río desde su cabecera hasta la desembocadura es un sistema altamente complejo con un sinnúmero de fenómenos, factores y dependencias. Los sistemas fluviales dependen de diferentes condi-



ciones, la forma del paisaje por el cual corren, cantidad de precipitaciones de las cual se nutre y dentro de las condiciones climáticas, no solamente los cambios estacionales, como sequías y deshielos, sino también cambios de mediano y largo plazo.

## Definiendo río

Un **río** se puede definir como una corriente de agua que fluye con continuidad por un canal o cause que abarca una región o cuenca. El cauce de un río, es el canal o surco en el paisaje por el cual corre. Éste varía en su forma de un río al otro y en los grandes ríos, el cauce varía a medida que el mismo se desplaza por diferentes paisajes.

El río posee un caudal, cantidad de litros por unidad de tiempo, que por lo general fluctúa durante el año y finalmente sus aguas se infiltra en el terreno, desemboca en el mar, en un lago o en otro río denominándose en este caso afluente.

Si bien sabemos que un río es un cuerpo de agua que fluye constantemente por un canal, esta sencilla definición puede verse afectada por las condiciones climáticas imperantes en una zona determinada. En los periodos secos y en las regiones áridas y semiáridas, la mayor parte del año, los cauces se encuentran secos. Por esta razón los canales de las zonas áridas se denominan **efímeros** o **temporarios**, ya que solo presentan agua durante las épocas de tormentas, en contraste con los ríos **perennes** de las regiones húmedas. Los ríos temporarios pueden encontrarse si se visita el parque nacional Talampaya e Ischigualasto, en las provincias de San Juan y la Rioja, donde la escasa vegetación, típica de un clima árido y cálido, se ha desarrollado acompañando a estos cursos de agua efímeros que se encuentran en el lugar. O si nos decidimos a viajar al norte de la provincia de Catamarca, deberemos atravesar varios cauces de ríos temporarios, antes de llegar a la localidad de la Puerta de San José. Por último encontramos a los llamados ríos **intermitentes**, en ellos, el agua fluye estacionalmente al menos durante un mes al año, por ejemplo los que descargan en el río Gallego por ambas márgenes a través de cañadones, como el Chorrillo Carlota por margen derecha y el cañadón Mac-Aike por margen izquierda, en la provincia de Santa Cruz.

## Desde las nacientes

En el sector de montaña, curso superior o nacimiento de un río, el agua corre por un cauce muy estrecho de pendientes muy agudas, lo cual le otorga una gran capacidad de erosión y transporte. Aquí, el potencial erosivo del río es mucho mayor y suelen formar valles en forma de V al encajarse en el relieve. Estos valles pueden ser admirados en las cordilleras del litoral chileno o en las sierras de las pampas argentinas,



también en las cabeceras del arroyo Blanco se desarrolla un paisaje juvenil, de valles en V con pendientes elevadas y de laderas inestables, en la provincia de Neuquén.

En el sector intermedio o curso medio del río la pendiente es más suave y el cauce más ancho, esto hace que la velocidad del agua disminuya y se puedan depositar partículas que por su menor fuerza el río ya no pueda transportar, por ejemplo arenas. Este hecho da como resultado que en el curso medio de un río suelen alternarse las áreas o zonas donde el río erosiona y donde deposita parte de sus sedimentos, lo cual se debe, principalmente, a las fluctuaciones de la pendiente y al aporte que recibe de los afluentes. A lo largo del curso medio, la sección transversal del río se irá suavizando, tomando forma de U a semicírculo. Ejemplos dignos de estudio de **valles en U** existen en las cordilleras andinas de la Patagonia, en la Argentina, ya que esos valles han sido previamente moldeados por glaciares.

En el curso inferior o desembocadura el río fluye en áreas relativamente planas y pierde tanta energía que predomina el depósito de materiales. Estos sedimentos pueden dar origen en su desembocadura a deltas, estuarios o albuferas. La forma del cauce es el de una palan-gana con base plana.

Podemos concluir que las nacientes son la zona de producción de sedimentos, la zona media es la de transporte y en el último tramo se produce la sedimentación. Pero esto es una simplificación ya que la erosión, transporte y sedimentación están presentes a lo largo de todo el curso de un río. Cada uno de estos procesos es doliente y preponderante por sobre los otros en un sector particular.



El esquema representa las partes de un río.



## Dibujando en el terreno

Los ríos trazan o dibujan recorridos en el terreno, a los que los científicos denominan geometría en planta, de un río. Como resultado de este trazado se pueden clasificar en tres tipos básicos: rectilíneo, entrelazados y meandrosos.

Los cauces rectos o ríos rectilíneos son relativamente raros, estas corrientes se caracterizan por una sinuosidad baja y un único canal. La sinuosidad es la relación entre el largo del río y el largo del valle por el que corre. Cuando la longitud del río y del valle son casi iguales, el río es poco sinuoso o recto; si la longitud del río es muy superior a la del valle, es por que el mismo da muchas vueltas. Los ríos rectilíneos son muy inestables, tendiendo a evolucionar a otros tipos de río. Son ríos de alta energía y tienen gran capacidad erosiva.

Los diseños entrelazados son aquellos en los que el cauce del río se divide en varios canales que, sucesivamente se juntan y se vuelven a separar, es decir presentan canales múltiples. Esto es el producto de un exceso de carga gruesa transportada por el río, que no puede “viajar” por un único canal. Los canales resultan muy inestables y tienden a cambiar de forma al encontrarse con obstáculos o suelen abandonarse algunos canales cuando son rellenados por el mismo sedimento que transportan. Son típicos de sectores con mucha pendiente como zonas intermontañas. Son activos durante lluvias torrenciales y cortas y poseen una alta tasa de sedimentación. Los sistemas entrelazados también son referidos con la palabra inglesa *braided*, y se desarrollan, por ejemplo, en el río Uruguay, entre las ciudades de Salto, Concordia y Gualaguaychú, donde el río se ensancha disminuye su velocidad y genera un sistema de islas muy bien desarrollado (entre las localidades de Paysandú y Fray Bentos), en la provincia de Entre Ríos.

A los depósitos de sedimentos que generan estos ríos se los denominan barras y por su crecimiento en altura suelen formar verdaderas islas dentro del cauces. A medida que se van estabilizando estas las islas, puede llegar a desarrollarse en ellas una vegetación aprovechando la dotación de agua que proporciona el propio río.

Los sistemas meandrosos se generan a menores pendientes que los cauces anastomosados. Se desarrollan en zonas con pendientes bajas y presentan alta sinuosidad son activos permanentemente y presentan un canal único principal. Se los conoce como de carga mixta, ya que transportan material grueso como carga de fondo y material fino en suspensión. Los sistemas meandrosos son los más abundantes en nuestro país, por ejemplo el río San Juan, el Paraná, el tramo inferior del río Negro, o el Bermejo, entre otros.

Como su nombre lo indica, su rasgo distintivo es el **meandro**, una curva completa del río compuesta por dos arcos sucesivos, uno cóncavo



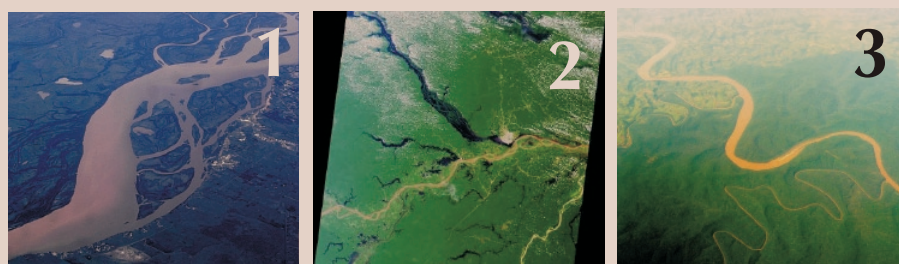
Los ríos trazan o dibujan recorridos en el terreno, a los que los científicos denominan geometría en planta, de un río. Como resultado de este trazado se pueden clasificar en tres tipos básicos: rectilíneo, entrelazados y meandrosos.







Se ilustran arriba los distintos tipos de ríos según su forma vista en planta y debajo algunas secciones de conocidos ríos de la región, para ilustrar las distintas morfologías. A la derecha el río Paraná, en el centro el río Amazonas y a la izquierda el río Uruguay.



y otro convexo, curva y contracurva. En contraste con los dos tipos anteriores, las corrientes fluviales meandriiformes combinan la erosión en la parte cóncava de la curva o meandro y la sedimentación en la orilla convexa. Estas diferencias se deben a la distinta velocidad de las aguas en las dos orillas. Esta combinación de erosión y depositación determinan la característica principal de estos ríos.

Como resultado de este fenómeno de erosión y depositación, estos ríos pueden migrar lateralmente, ampliando su valle o cambiándolo de lugar. Este proceso de migración lateral, hace a su curso aún más sinuoso hasta que alcanza tal inestabilidad que el río encuentra un nuevo camino, con menor pendiente, por el cual puede abrirse paso invirtiendo menos energía. Los meandros quedan abandonados y suelen quedar cubiertos por aguas relativamente estancadas, por lo que se forman lagos con forma de media luna denominados “lagos en herradura”.



En la figura se observa tres tramos del río Amazonas en donde la morfología pasa de recta o poco sinuosa, a entrelazada (figura del centro) y finalmente meandriiforme.



Esta clasificación permite diferenciar los principales tipos de ríos que conocemos, y analizar cuales son las características principales del paisaje que permiten que se desarrollen. Pero debemos entender que no son unidades independientes, y que a lo largo del río (desde la cabecera hasta la desembocadura) suele ocurrir un cambio gradual (corriente abajo) de un sistema entrelazado a otro de tipo meandroso,





a medida que la pendiente del terreno cambia y el aporte de material se modifica. Por lo cual resulta difícil clasificar a los grandes ríos que conocemos en un solo tipo de río, lo más conveniente es analizar las distintas partes y como va variando su morfología hasta llegar a su desembocadura final.

## Las aguas bajan turbias

Sabemos que las corrientes son los agentes erosivos más importantes, pero también debemos entender, que pueden transportar enormes cantidades de sedimento producidos por meteorización. ¿Cómo viajan estos sedimentos en un río?

Los ríos transportan su carga de sedimentos de tres maneras: en solución o carga disuelta, en suspensión y a lo largo del fondo del cauce. La carga disuelta comprende los iones y moléculas que proceden de la meteorización química. Cuando el agua recorre un terreno adquiere todos los componentes solubles del suelo. A medida que desgasta las grietas o poros de la roca por la cual corre, puede disolver más materia mineral. Una vez disuelto el material puede viajar desde la cabecera hasta la desembocadura del río sin problemas, se puede producir precipitación del material solo cuando cambia la composición química del agua. Recordemos que los ríos han aportado a lo largo de la historia del planeta y siguen aportando las sales y minerales a los mares y océanos.

La carga suspendida, es la más evidente y nosotros la visualizamos cuando decimos que un río está "sucio" o "limpio". Es la nube visible de sedimento que se encuentra suspendida en el agua. Normalmente transporta material fino como arenas, limos o arcillas, pero durante las inundaciones, la cantidad de material transportado en suspensión aumenta notablemente e incluso puede incluir material más gruesa. Como se observan en los ríos Pilcomayo o Salado de las provincias de Formosa y Buenos Aires, respectivamente.

La carga de fondo, también conocida como carga de lecho, son aquellos sedimentos demasiados grandes y pesados que no pueden ser llevados en suspensión. Estos materiales se mueven en el lecho del río rodando, deslizándose o saltando, dependiendo de su tamaño. Los ríos que transportan como carga del lecho material muy grueso son comunes tanto en la Patagonia argentina como en la provincia de Córdoba.

Al mismo tiempo que transporta sedimentos, un río erosiona, y si bien no tiene la potencia de un glaciar, sus efectos son superiores.

Los cursos fluviales pueden erosionar su lecho y sus paredes. La erosión vertical en el fondo de un canal, tiene lugar cuando se movilizan las partículas de tamaño arena y grava, que van desgastando la superficie del lecho. La erosión lateral se manifiesta cuando lo que se



**Los ríos transportan su carga de sedimentos de tres maneras: en solución o carga disuelta, en suspensión y a lo largo del fondo del cauce.**



desgasta son las paredes del canal, lo que produce la generación de deslizamientos o caídas de paneles de paredes. La continua erosión lateral produce el ensanchamiento del canal y la erosión vertical la progresiva profundización. En regiones de rocas masivas y resistentes, la erosión lateral es menor que la incisión vertical, dando lugar a cañones subverticales y estrechos. A este proceso debemos sumarles que el agua y sus compuestos químicos disueltos, van meteorizando químicamente el lecho y las paredes del curso por el que corre.

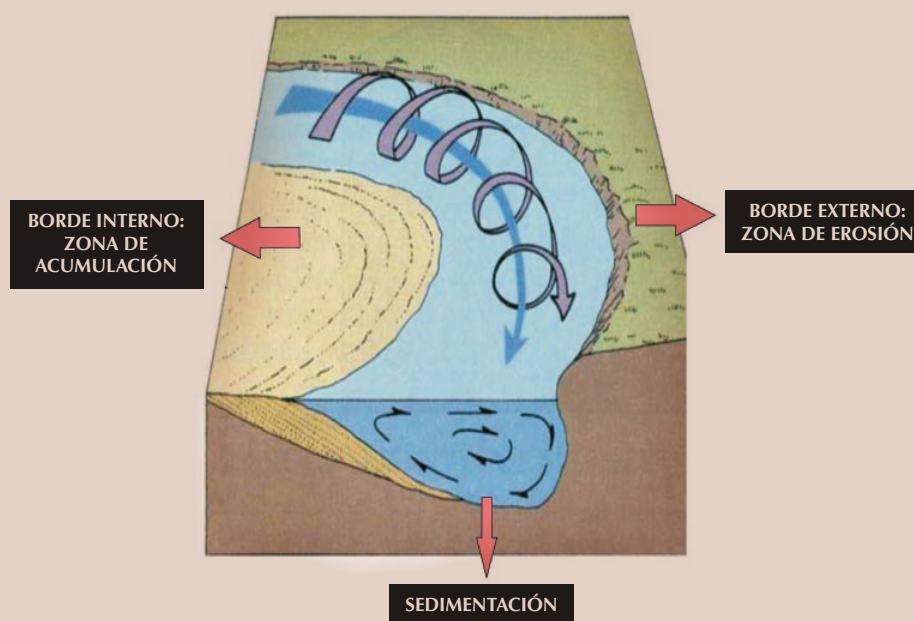
## Depósitos

Aunque una parte importante del material erosionado llega a la desembocadura del río, otra parte se deposita durante su recorrido. Los sedimentos fluviales pueden acumularse en discontinuidades del terreno, que son creadas por fallas, modificaciones en la pendiente, o excesiva excavación glaciár o erosión marina. También pueden encontrarse sedimentos acarreados por los ríos como rellenos de valle, que se conocen como llanuras de inundación y terrazas fluviales. Por último, pueden acumularse como resultado de la sedimentación en aguas estancadas, por disminución en la velocidad de transporte, como los deltas.

Las planicies de inundación son superficies adyacentes a un curso fluvial y que son cubiertas por agua durante los períodos de crecidas, cuando aumenta el caudal del curso. Son zonas relativamente llanas, y que presentan un ancho variable dependiendo del tamaño del río, de la velocidad de erosión y de la resistencia del material que forma las paredes del valle. Están constituidas por depósitos que los ríos movilizan, en su mayoría se forman por los depósitos en suspensión finos que son depositados por decantación. En nuestro país son famosas las



El esquema representa la erosión y depositación en un río.



terrazas fluviales del tramo superior del río Negro, que son aprovechadas por el hombre para la agricultura.

Los ríos entrelazados, no presentan un buen desarrollo de la planicie de inundación debido al continuo “movimiento” de los canales. Pero en los sistemas fluviales que presentan único canal, como los meandrosos, las planicies de inundación son amplias ya que pueden estabilizarse en el tiempo. Son zonas muy aptas para el desarrollo del sistema agrícola, porque representan regiones sumamente fértiles debido a la acumulación de material fino que se transforma en suelos en los momentos en los cuales no se encuentra cubierta por agua, como la llanura de inundación del tramo superior del río Negro.

Cuando se producen cambios en la altura del valle o en el clima, el río puede modificar la altura del canal, el cual excava abandonando el nivel de la llanura de inundación, buscando un nuevo nivel que se adapte a las nuevas condiciones, para que el sistema permanezca en equilibrio.

Esto da como resultado una superficie plana y una pared con alta pendiente, en la llanura de inundación, por encima del nivel máximo de las aguas de un río, denominada terraza.

Podemos entonces definir una terraza, como una llanura de inundación abandonada, que ya no es afectada por el actual río. Si los procesos de profundización aumentan, podemos observar en el terreno una sucesión de terrazas fluviales, las cuales nos ayudan a reconocer como ha ido variando a lo largo del tiempo el curso del río y los distintos tipos de sedimentos acumulados evidencian también los cambios en la energía que han sufrido. Dos ejemplos de terrazas fluviales son las del río Pinturas, en la provincia de Santa Cruz y del río Jachal, en la provincia de San Juan.

### Un gran tesoro

La **red** o **sistema hidrográfico** está constituido por el río principal y todos los afluentes que descargan en él y la superficie de terreno que recorren se conoce como **cuenca hidrográfica**. De acuerdo con el lugar de desagüe la cuenca se denomina: **exorreica**, cuando sus aguas desembocan en el exterior del continente, en océanos y mares; **endorreica**, las aguas se vierten en el interior del continente, en lagos o mares interiores y las **arreica**, cuyas aguas se pierden en el terreno por infiltración o evaporación.

Con una riqueza excepcional, la Argentina presenta ríos en su mayor parte navegables que integran cuencas hidrográficas extensas.

La cuenca del Plata abarca una extensión total de 3.100.000 km<sup>2</sup>. Es considerada la más relevante de la Argentina, y tiene dimensiones in-



La red o sistema hidrográfico está constituido por el río principal y todos los afluentes que descargan en él y la superficie de terreno que recorren se conoce como cuenca hidrográfica.





**Terrazas fluviales correspondientes al río Pinturas, en la provincia de Santa Cruz.**



**En el sistema patagónico los ríos presentan pendiente atlántica y cruzan la Patagonia para desembocar. Todos ellos nacen en la cordillera y crecen dos veces al año, en invierno por las lluvias y en primavera por fusión de la nieve.**



ternacionales ya que a ella pertenecen ríos cuya naciente se encuentra fuera del territorio argentino. Representa una vía de navegación para la Argentina, Paraguay y Brasil. Los principales ríos que la integran son: el Paraná, Uruguay, Paraguay, Salado, Carcarañá, Iguazú y el Río de la Plata.

En el sistema patagónico los ríos presentan pendiente atlántica y cruzan la Patagonia para desembocar. Todos ellos nacen en la cordillera y crecen dos veces al año, en invierno por las lluvias y en primavera por fusión de la nieve; la mayor bajante se produce en el otoño. Los ríos más importantes de este sistema son: Chubut, Santa Cruz y Río Negro.

Algunos de los ríos que presentan sus cabeceras en la Argentina cruzan la frontera con Chile y desembocan en el océano Pacífico. Tal es el caso del río Futaleufú, que alimenta una usina hidroeléctrica. Se encuentra alimentado por lagos del parque nacional Los Alerces en la provincia de Chubut, y atraviesa la Cordillera de los Andes hacia Chile para desembocar en el lago Yelcho. El Futaleufú se conoce por sus aguas azules del deshielo de los glaciares. Dentro de los ríos con vertiente pacífica podemos mencionar también los ríos Manso y Arrayanes (Chubut), Azul y Quemquemtreu (Río Negro) y Vizcachas (Santa Cruz).

La cuenca del Desaguadero posee una gran importancia hidroeléctrica y para el riego. Esta cuenca, suele ser considerada temporaria





porque en épocas de grandes crecientes, sus aguas pueden alcanzar el mar. Incluye los siguientes ríos: Jáchal, Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel, el río Desaguadero es el colector principal.

La cuenca de las sierras pampeanas también comprende cursos de agua de gran interés hidroeléctrico. Incluye los ríos: Salí, Primero, Segundo, Quinto y otros menores.

## Entre poros y grietas

Las aguas subterráneas constituyen el 98 % del volumen total de agua dulce disponible en todo el planeta. Están almacenadas en acuíferos ubicados a diferentes niveles de profundidad, desde acuíferos bajos, no confinados, ubicados a sólo algunos metros de profundidad, hasta sistemas confinados que están a varios kilómetros por debajo de la superficie. Pueden encontrarse en todos los climas y en todas las regiones del mundo.

Las aguas subterráneas forman grandes depósitos de agua dulce por debajo de la superficie terrestre. Antiguamente, se creía que era agua de origen marino que había perdido su salinidad. Esta idea errónea, fue abandonada cuando se comprendió el gran ciclo del agua en su totalidad. Actualmente se considera que las aguas subterráneas provienen de las precipitaciones y que se acumula a medida que el agua se va infiltrando en el suelo.

Cuando se habla de aguas subterráneas en general se imaginan como ríos bajo la tierra. Nada más erróneo. Al igual que una gigantesca esponja, el ambiente subterráneo consta de incontables poros, diminutos espacios entre los granos de suelo y de sedimento, así como fracturas o rajaduras estrechas en las rocas. En estos espacios conectados entre sí, que a pesar de ser diminutos suman un gran volumen, es por donde circula el agua.

Desde el punto de vista geológico, estas aguas subterráneas son un importante agente erosivo. La acción disolvente del agua, al desplazarse entre las rocas y el suelo, va debilitando y disolviendo las rocas, permitiendo la formación de depresiones en la superficie del terreno denominadas **dolinas**, así como la aparición de cavernas y galerías de las cuales vamos a hablar más adelante.

En ocasiones, las aguas subterráneas se ponen en contacto con la superficie brotando de la tierra en forma de fuentes y manantiales. En otros casos, quedan atrapadas en la profundidad y es necesario hacer pozos para su extracción. Sin lugar a dudas representan los mayores depósitos de agua dulce del planeta y poseen un valor para la humanidad incalculable. Sin embargo, los acuíferos son sistemas ex-





tremadamente frágiles, de modo que por sobreexplotación pueden ser irre recuperables. Algunos ejemplos, muy conocidos son los reservorios o acuíferos Guaraní y Puelche, ubicados respectivamente en la Mesopotamia (y que compartimos con Paraguay, Uruguay y Brasil) y en la provincia de Buenos Aires. También, aunque no tan conocidos, existen acuíferos en el noroeste argentino y en la Patagonia, como el acuífero Cóndor, en la provincia de Santa Cruz.

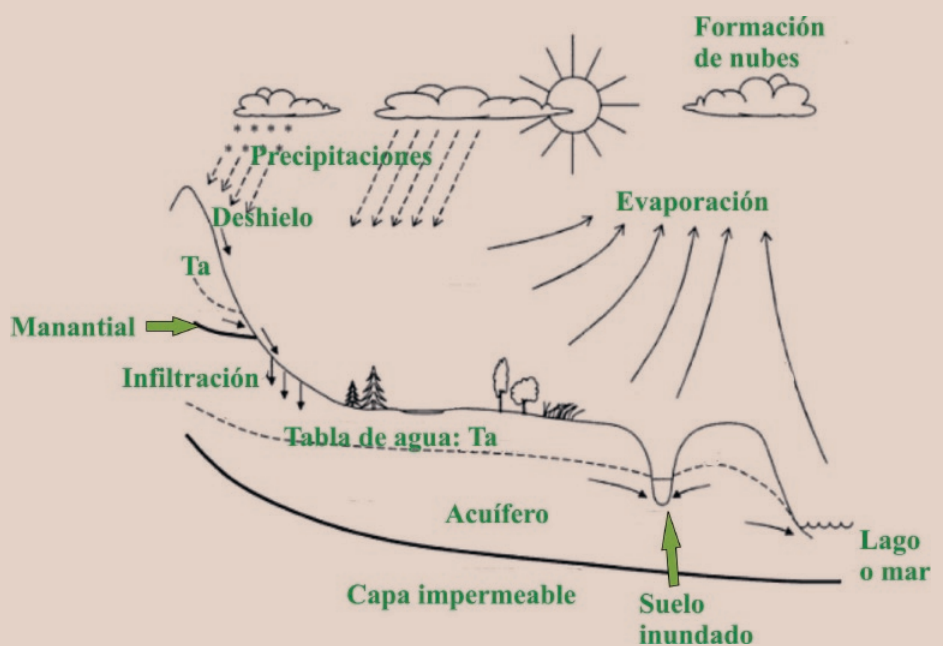
### ¿Cómo y dónde se forman las aguas subterráneas?

Cuando llueve, una fracción del agua corre por la superficie, parte se evapora y el resto se introduce en el terreno. Esta última fracción que penetra en el terreno es la fuente primaria del agua subterránea. Sin embargo, la cantidad de agua que siga este camino varía en tiempo y espacio. Los factores que influyen en esta variación son la pendiente del terreno, el tipo de suelo, la intensidad de las precipitaciones y la cantidad de vegetación presente en el área.

El agua tiende a acumularse en regiones de pendiente suave, en la que las precipitaciones son leves pero frecuentes y donde los suelos son fácilmente penetrados por el agua. Luego de atravesar los suelos, siguen su curso hacia abajo, corriendo entre poros y fracturas, hasta toparse con una roca impermeable, donde todos los espacios libres del sedimento están completamente llenos de agua. Esta parte del terreno, donde todos los espacios están llenos de agua, se la conoce como zona de saturación. A esta agua, situada en el interior de estos poros, se la denomina de agua subterránea.



Ciclo del agua.



## ¿Qué permite o dificulta la penetración de agua en el suelo?

Hay 2 características elementales que determinan la facilidad de penetración del suelo: la **porosidad** y la **permeabilidad**. Aunque estos conceptos suelen ser confundidos o utilizados como sinónimos, no significan lo mismo.

La abundancia o escasez de poros en la roca o el suelo determina su **porosidad**. Pero si estos poros están conectados o no, eso es la **permeabilidad**. Como podrán concluir, para el almacenamiento de aguas subterráneas es tan necesaria una roca porosa como una roca permeable; ambas condiciones son imprescindibles para que se formen estos reservorios o acuíferos.

### Indicaciones para el pocero

Una de las características más importantes del sistema de las aguas subterráneas es el nivel freático. El nivel freático es el límite superior de la zona de saturación. En otras palabras, la menor profundidad a la cual se encuentra el agua. Esto permite predecir cuán productivos son los pozos, explicar los cambios de flujo de las corrientes y los manantiales, así como fluctuaciones del nivel de los lagos.

Aunque no podemos observarlo directamente, podemos cartografiarlo y estudiarlo en detalle donde los pozos y las perforaciones son numerosos. Estos mapas han revelado que el nivel freático copia la topografía superficial, en profundidad. Esto significa que, a diferencia de lo que nos dicta el sentido común, de que el nivel freático es una línea horizontal, éste asciende en las regiones montañosas y desciende en áreas deprimidas. Los pantanos, lagos y ríos ocupan zonas lo suficientemente bajas donde el nivel freático coincide con su superficie.

Varios factores contribuyen a la irregularidad del nivel freático. Entre algunos de los que podemos mencionar se encuentran las características del suelo, el relieve y el clima.

### Manantiales, fuentes termales y pozos artesianos

Cuando el nivel freático intersecta la superficie terrestre, las aguas subterráneas fluyen al exterior. Estas surgen del interior de la tierra desde un solo punto o por un área pequeña, que se denomina **manantial** o fuente. En general se forman cuando los acuíferos se encuentran con rocas impermeables en la base, dejan de hundirse y se desplazan lateralmente. Ahí donde aflora un estrato permeable, aparece un manantial. Se encuentran en todas las regiones del globo y en todo tipo de climas.



La abundancia o escasez de poros en la roca o el suelo determina su porosidad. Pero si estos poros están conectados o no, eso es la permeabilidad.





Una fuente termal, por definición, tiene entre 6 y 9 °C por encima de la temperatura media anual, de la región donde aparece.

La composición del agua de los manantiales varía según la naturaleza del suelo o la roca de su lecho. El caudal de los manantiales depende de la estación del año y del volumen de las precipitaciones. Algunos se secan a menudo, en periodos secos o de escasas precipitaciones; sin embargo, otros tienen un caudal constante que proporciona un importante suministro de agua local.

Una **fente termal**, por definición, tiene entre 6 y 9 °C por encima de la temperatura media anual, de la región donde aparece. En profundidad, normalmente, la temperatura aumenta 2 °C cada 100 metros, por consiguiente, cuando el agua subterránea circula a grandes profundidades se calienta y se enriquece de sustancias minerales. Si se eleva a la superficie, el agua puede emerger como una fuente termal. Por ejemplo, en las termas de Río Hondo en la provincia de Santiago del Estero, las aguas termales oscilan entre 30 y 70 °C y contienen pequeñas cantidades de hierro, sodio, fósforo, yodo, flúor, bromo y otros componentes químicos. No deben confundirse con las aguas calentadas por la actividad del magma. Otras termas se encuentran en varias localidades de la provincia de Entre Ríos (Colón, Villa Elisa, Federación y Chajarí, entre otras), en Buenos Aires, o en la provincia de Catamarca, en la localidad de Fiambalá.

En la mayoría de los pozos, el agua no puede ascender por sí misma: si se encuentra a 30 metros de profundidad, permanecerá a ese nivel, fluctuando hasta 2 metros con los períodos estacionales de humedad y sequía. Sin embargo, en algunos casos, el agua asciende y brota superficialmente como un surtidor, son abundantes en Francia en la región de Artois, y por eso denominamos a éstos pozos ascendentes como **artesianos**. A pesar que en el lenguaje habitual nos referimos a cualquier pozo perforado como artesiano, el término debería restringirse solo a este tipo.

Para que exista un sistema artesiano el agua debe estar confinada a cierta profundidad y presión y el acuífero debe tener cierta inclinación asociada al área de recarga, es decir, el área que provee de agua a ese acuífero debe estar ubicada por encima del resto del pozo. El agua, al ponerse en contacto con una fractura natural o con un agujero producido artificialmente, y como producto de la diferencia de presión con el exterior, se eleva hasta la superficie.

Un **oasis** es un área situada dentro de un desierto en la que existe suficiente humedad como para que pueda crecer vegetación de forma permanente. El agua que forma la base de un oasis procede de manantiales o de pozos artesianos que dependen de fuentes subterráneas localizadas en las rocas locales.



## Un lugar privilegiado en el mundo

En Sudamérica han sido reconocidos, en los últimos años, más de 35 acuíferos en profundidad; esto nos convierte en los poseedores de agua dulce no contaminada más importantes del mundo. Paradójicamente, casi un tercio del total del agua que se utiliza en regiones áridas y semiáridas en Sudamérica se origina en acuíferos, de los que proviene un gran porcentaje del agua potable. En la actualidad, la extracción de aguas subterráneas por encima de la capacidad de recarga provoca la sobreexplotación de los acuíferos.

Por ejemplo, el sistema acuífero Guaraní constituye una de las reservas mundiales más grandes de agua dulce, con una superficie de 1,2 millones de km<sup>2</sup> y una capacidad estimada de almacenamiento de 40.000 km<sup>3</sup>. Tanto el acuífero Guaraní como el Puelche, se encuentran ubicados respectivamente en la Mesopotamia (y que compartimos con Paraguay, Uruguay y Brasil) y en la provincia de Buenos Aires. También, aunque no tan conocidos, existen acuíferos en el noroeste Argentino (acuífero Toba-Yrendá-Tarijeño) y en la Patagonia (acuífero Cóndor, en el límite de las provincias de Santa Cruz y Tierra del Fuego).

### Acuífero Guaraní

El acuífero Guaraní, es quizás, el reservorio subterráneo transfronterizo más grande de agua dulce del planeta, extendiéndose desde la cuenca del Paraná a la cuenca Chaco-Paranaense. Está localizado en el centro-este de América del Sur, entre 12° y 35° de latitud Sur y 47° y 65° de longitud Oeste, por debajo de cuatro países: la Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Tiene una extensión aproximada de 1,2 millones de km<sup>2</sup>, de los cuales 225.500 km<sup>2</sup> pertenecen al territorio argentino.

El término acuífero Guaraní es una denominación unificadora de diferentes formaciones geológicas que fue dado por el geólogo uruguayo Danilo Antón en homenaje a la Gran Nación Guaraní, que habitaba esa región durante el periodo colonial. El acuífero también fue referido como Acuífero Gigante del MERCOSUR, porque los cuatro países fronterizos pertenecen a dicha asociación.

Se constituye en un paquete de estratos arenosos depositados en la cuenca del Paraná, durante el Mesozoico -entre 245 y 144 millones de años atrás-. El espesor de las capas varía de 50 a 800 metros, estando situadas en profundidades que pueden alcanzar hasta 1.800 metros. Debido al gradiente geotérmico, las aguas del acuífero pueden alcanzar temperaturas entre 50 y 65 °C.

El paquete de estratos que constituye el Guaraní está levemente arqueado hacia abajo como resultado de la presión de las rocas que



**En Sudamérica han sido reconocidos, en los últimos años, más de 35 acuíferos en profundidad; esto nos convierte en los poseedores de agua dulce no contaminada más importantes del mundo.**



yacen por encima, como los espesos depósitos de lavas basálticas, presentes en la cuenca sedimentaria del Paraná. Las formaciones geológicas de la cuenca del Paraná reúnen sedimentos de origen fluvial y lacustre del periodo Triásico (245-208 millones de años) y sedimentos eólicos correspondientes a ambientes desérticos del periodo Jurásico (208-144 millones de años).

Las reservas permanentes de agua del Acuífero son del orden de los 45.000 km<sup>3</sup> (45 trillones de metros cúbicos), considerando un espesor medio del acuífero de 250 metros y una porosidad efectiva del 15 %. La recarga natural ocurre por infiltración directa de las precipitaciones en las áreas de afloramientos de las rocas (área de recarga) del Guaraní y de forma indirecta por drenaje vertical, a lo largo de las fracturas presentes en las rocas suprayacentes.

Los aspectos relativos al desarrollo y uso de las funciones del acuífero son aún incipientes. El uso de la energía termal de sus aguas puede resultar, eventualmente, en la utilización de otras fuentes de energía y en la extracción de energía hidroeléctrica. Actualmente, se destaca el uso de energía en balnearios (termas) e industrias agropecuarias.

Aunque sus dimensiones se conocen bastante bien, realmente nadie sabe aún detalladamente cuál es la envergadura de este sistema, menos estudiado en la Argentina y Paraguay que en los otros dos países. El sistema acuífero Guaraní será de manera creciente un recurso de enorme importancia estratégica para la producción y la vida misma en la región.

## Volver a las cavernas

Si bien en Sudamérica, desde épocas prehistóricas, el hombre ocupó las cuevas y cavernas para vivir y protegerse de las condiciones climáticas adversas, fue a partir del “descubrimiento de América”, que se creó un mito de misterio y temores alrededor de los huecos naturales, en especial los de mayor profundidad, que mantuvo alejada a la gente, temerosa de lo que allí podía ocurrir.

En las primeras décadas del presente siglo, en la zona del sur de la provincia de Mendoza, se perdió el temor, o ganó la curiosidad, y algunas personas se arriesgaron a ingresar a aquellos terrenos desconocidos y cargados de misteriosas leyendas. Podemos considerar que, a partir de entonces, con aquellos primeros relatos de las visitas realizadas, se inician las actividades de reconocimiento y estudios de las cavernas.

El término **espeleología** surge a partir de dos palabras griegas: *spelaiion* (cueva) y *logos* (tratado), etimológicamente, la espeleología es el estu-





dio de las cavernas, su génesis y su evolución. Al ser, la espeleología, una actividad científica reciente, al menos en nuestro país, son muy frecuentes los descubrimientos de nuevas cavidades.

## Kárstico

Existen diversos tipos de grutas, según su origen pueden ser kársticas, volcánicas o glaciarias, y pueden formarse por erosión eólica, de agua marina o dulce.

La palabra **karst** es la expresión alemana de la palabra eslovena *kras* y de la italiana *carso*; significa “terreno rocoso” y corresponde a una amplia región del oeste de Yugoslavia, constituida por calizas con grandes depresiones cerradas y cavidades subterráneas. En la actualidad se utiliza esta palabra para designar áreas y procesos de características similares a las existentes en la zona de su origen.

La formación de estos ambientes se origina por acción de las aguas de lluvia o deshielos, ricas en ácido carbónico, sobre rocas calcáreas o yeso, ricas en carbonatos de calcio. Esto produce una acción química de disolución de la roca por parte del agua.

La mayoría de las cavernas tiene origen en el nivel freático o justo por debajo de él. El agua subterránea ácida transita por las zonas de debilidad de las rocas y a medida que transcurre el tiempo, el proceso de disolución crea cavidades lentamente, que aumentan gradualmente de tamaño hasta convertirse en grutas. El material disuelto por el agua es transportado por las corrientes hasta los océanos.

De todas las rocas más frecuentes, la caliza es la única que es ligeramente soluble en aguas atmosféricas. Esto hace que el agua que se precipita sobre áreas con rocas calizas penetra en el subsuelo y sigue su labor de disolución. En estas áreas kársticas, casi no existen ríos o arroyos ya que toda el agua se hunde en las profundidades, contrariamente a otras regiones donde la red fluvial se encuentra organizada. Por lo tanto, el proceso fundamental de desgaste de estas áreas kársticas es el de disolución tanto en superficie como en profundidad, y el resultado es muy diferente al que producen los ríos, glaciares o el mar.

La disolución es mayor en ciertos puntos, donde llegan a formarse sumideros o pozos llamados **dolinas**, que alcanzan el nivel freático, capturando la mayor parte del agua del paisaje local. Si la caliza posee un espesor importante, el agua de la freática fluye rápidamente, renovando el agua y formando un nivel de cavernas. Si por alguna razón el nivel de agua dulce se modifica, disminuye o aumenta, se forma un segundo nivel de cavernas, y así sucesivamente.



La mayoría de las cavernas tiene origen en el nivel freático o justo por debajo de él. El agua subterránea ácida transita por las zonas de debilidad de las rocas y a medida que transcurre el tiempo, el proceso de disolución crea cavidades lentamente, que aumentan gradualmente de tamaño hasta convertirse en grutas.



## Ingredientes para hacer una caverna

Se necesitan cuatro ingredientes básicos para hacer una caverna. Si falta uno, la receta falla.

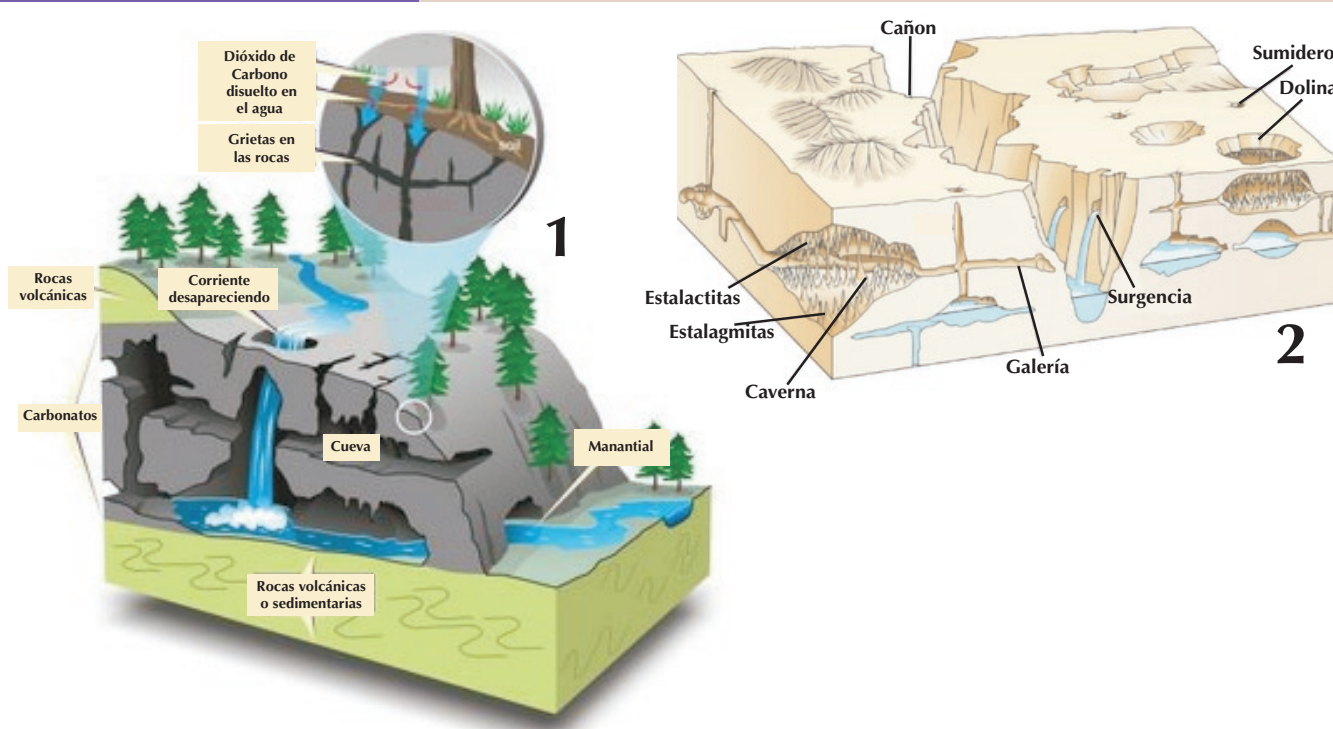
En primer lugar que existan rocas favorables, lo que se traduce como la presencia de rocas solubles, aquella que puede ser disuelta químicamente por el agua. Principalmente son calizas, dolomías, yesos, anhidritas, conglomerados, areniscas y sal gema. De todas ellas, las más abundantes son las rocas carbonatadas: calizas y dolomías.

Las calizas son rocas de precipitación química, compuestas en su mayoría por esqueletos y valvas de organismos marinos y por barros calcáreos precipitados directamente del agua del mar. Después de sufrir diversos procesos, estos sedimentos se convierten en una roca compacta, de grano muy fino. Desde el punto de vista químico, la caliza está compuesta principalmente por carbonato cálcico,  $\text{CaCO}_3$ , y por restos de sedimentos, arenas y arcillas. Cuanto más elevado sea el contenido en carbonato cálcico, más pura será la caliza y por lo tanto mayor posibilidad de karstificación tendrá. Este es un rasgo limitante, ya que si el contenido en  $\text{CaCO}_3$  es inferior al 60 %, no se podrán generar cavidades.

En segundo lugar, la estructura geológica debe ser la adecuada. La tectónica de placas juega un papel primordial en la formación del relieve. Esto hace que las capas de rocas sedimentarias, que originalmente se depositaron horizontalmente, sufran plegamientos o fracturas. La tectónica genera fallas que observamos en los ambientes kársticos.



### Desarrollo de una caverna.



Los procesos de tensión y descompresión producen fracturas en las rocas, que luego serán aprovechadas por las aguas superficiales, para introducirse en el subsuelo.

En tercer lugar, el clima. Las precipitaciones y los aportes de agua son indispensables. En el mundo existen estos ambientes en todas las latitudes, desde los círculos polares hasta las regiones tropicales, sin embargo su desarrollo y magnitud varía.

Un rasgo fundamental para la disolución de los carbonatos, es la disponibilidad de agua, y que ésta sea suficientemente agresiva para la roca, o lo que es lo mismo, que contenga anhídrido carbónico  $\text{CO}_2$ . Estas dos condiciones son claramente influenciadas por el clima: debido a la cantidad de precipitaciones y a la temperatura, puede incrementar el poder de disolución del agua, y por otra parte favorecer la presencia de una cobertera vegetal. ¿Por que la cobertura vegetal es importante? Al introducirse el agua en un suelo rico en materia orgánica producto de la actividad vegetal, su contenido en  $\text{CO}_2$  aumenta, lo que le permitirá disolver una mayor cantidad de carbonatos.

La temperatura juega un papel similar. Cuanta más alta sea, el agua podrá movilizar más  $\text{CO}_2$ , incrementando el contenido en éste gas y por lo tanto aumentando su poder de disolución frente a los carbonatos.

Por esta razón los karsts más desarrollados se encuentran situados en zonas tropicales húmedas, donde existen grandes selvas y las precipitaciones superan los 4.000 mm/año, o en regiones donde en tiempos pasados se dieron ambientes similares.

Por último, el tiempo. Para la formación de cualquier relieve debemos tener en cuenta el paso del tiempo que hará evolucionar la estructura.

La primera fase de formación de una caverna sería la generación de una red de drenaje a través de microfracturas. Esta etapa es larga, y lleva de 10.000 a 100.000 años. Progresivamente, algunas de las microfracturas conseguirán conectar con el nivel freático, favoreciendo a través de ellas el flujo del agua, y sufriendo un notable ensanchamiento. Esta segunda etapa, más rápida puede durar entre 1.000 y 10.000 años. A partir de aquí la formación de cavidades ya es relativamente rápida.

### Estalactitas y estalagmitas

No podíamos dejar de hablar de ellas. Los rasgos que despiertan más curiosidad en las cavernas, no son los fenómenos erosivos que producen la cueva, sino los rasgos producto de la depositación, creados por el goteo intermitente de agua a lo largo de grandes periodos de tiempo. Estas rocas se conocen en sentido general como **espeleotemas**. Las **estalactitas**, son estructuras que cuelgan del techo de las grutas





**Estalactitas y estalagmitas.**



y se forman donde el agua se filtra a través de las grietas situadas por encima. Cuando el agua alcanza el aire de la cueva, algo de dióxido de carbono disuelto se escapa de la gota, el agua pierde acidez y la calcita precipita. El depósito se produce en forma de un anillo muy fino alrededor del borde de la gota de agua.

A medida que una gota sigue a otra gota el agua se mueve por adentro de un pequeño tubo, permaneciendo suspendida transitoriamente al final del mismo, aportando un nuevo anillo de calcita diminuto y otra parte cayendo al piso.

Estas gotas caen al piso y la calcita que aportan se va acumulando en sentido ascendente hacia el techo de la caverna, son las **estalagmitas**. El agua que suministra la calcita para el crecimiento de las estalagmitas cae del techo y salpica sobre la superficie. Por lo tanto, no tiene

un tubo central y suelen ser de aspecto más masivo y redondeado que las estalactitas. Con el tiempo pueden juntarse ambas estructuras, estalactitas y estalagmita, formando una columna.

**Las Brujas y el León**

La reserva provincial caverna de las Brujas se ubica a unos 1.800 msnm en la cordillera principal andina al extremo sur de la provincia de Mendoza. Fue creada reserva en el año 1990 y comprende 128 hectáreas. Es la cavidad de roca caliza de mayor extensión conocida hasta el presente en la Argentina.

Es un área de gran belleza, donde el agua ha cavado profundas galerías subterráneas, tallando diversas formas muy singulares y creando estalactitas, estalagmitas, velos, columnas, formaciones coralinas, etc.

En el desarrollo de la caverna de las Brujas es posible diferenciar una etapa de circulación freática inicial. Durante esta etapa se desarrollan galerías con secciones circulares y cúpulas en los techos. Estas se desarrollaron en calizas de edad jurásica, y constituyen un acuífero encerrado por materiales más impermeables y evaporíticos.



La reserva provincial caverna de las Brujas se ubica a unos 1.800 msnm en la cordillera principal andina al extremo sur de la provincia de Mendoza.





Posteriormente se produce una fase deposicional. Los primeros depósitos, de 76.500 años de antigüedad, están representados por costras de yeso bien desarrolladas en algunas salas inferiores, como la sala Madre y Libro. El mecanismo de precipitación es la evaporación, con humedad relativa baja en el interior de la caverna, y condiciones generales externas áridas y frías.

En una etapa con clima más húmedo y cálido, sobre el material calcáreo en la superficie, se produce el desarrollo de suelos que soportan una vegetación herbácea. El  $\text{CO}_2$  aportado por la materia orgánica, incrementa la agresividad del agua infiltrada y como consecuencia desencadena en salas y galerías el desarrollo de diferentes tipos de espeleotemas, estalagmitas y estalactitas principalmente. Éste, es el estadio más importante y se prolonga desde 67.000 a 35.000 años antes del presente.

A escala global, este período coincide con características cálidas y húmedas y a escala regional este período fue correlacionado con el último período interglaciar. La interrupción de estos procesos tiene lugar cuando las condiciones climáticas son más frías en relación con el Último Estadio Glaciar hace 30.000 a 14.000 años.

Más tarde, se desarrolla una nueva etapa, menos importante, durante las primeras fases del Holoceno, bajo condiciones cálidas y algo húmedas. Durante este momento el depósito de los espeleotemas está influenciado fuertemente por la evaporación. Durante etapas de ma-



**Caverna de las Brujas,  
en la provincia de  
Mendoza.**





yor aridez del Holoceno tiene lugar el desarrollo de las bolas de yeso en paredes y techos de salas y galerías. Esta agua accede al ambiente subaéreo seco de las galerías y deposita por evaporación el yeso.

En la actualidad, bajo condiciones de aridez y sequedad de esta región del sur de la provincia de Mendoza, la actividad hidrológica dentro de cueva es muy limitada, la circulación de agua cargada de solutos se restringe sobre todo, a las épocas de fusión de nieve.

La cueva del León se encuentra en Las Lajas, provincia de Neuquén, y en realidad no es cueva sino una caverna ya que cuenta con salas y galerías. En realidad las cuevas cuentan únicamente con una cavidad. La altitud sobre el nivel del mar es de 1.310 metros y a diferencia de la caverna de las Brujas está formada en yeso del Jurásico Superior.

La longitud aproximada es de 631 metros. El techo máximo es de 24,31 metros. Antiguamente presentaba concreciones, específicamente estalactitas, las que han sido depredadas por la acción de turistas que se llevaron recuerdos.

Esta caverna posee dos salas: la Gran Sala y la Sala del Lago, en la Sala del Lago se podía apreciar un espejo de agua de aproximadamente 50 metros de diámetro y con una profundidad aproximada a los 40 metros.

En el año 1998 un derrumbe tapó la boca de acceso al lago de la cueva del León impidiendo de esta forma el acceso a la misma. En esta, caverna formada por yeso, los derrumbes son frecuentes debido a la fragilidad del mineral; además es afectado por las variaciones ambientales. De esta forma la denominada Sala del Lago ha quedado aislada siendo imposible el acceso al lago que es único por sus características.

### ¿Las Grutas?

Antes de finalizar este capítulo, debiéramos hacer una aclaración respecto a uno de los sitios turísticos más importantes y renombrados de la provincia de Río Negro, el balneario **Las Grutas**. El rasgo característico de este lugar es la presencia de acantilados altamente erosionados por la acción marina.

Vulgarmente se los conoce como “grutas”, y dan nombre al lugar geográfico. Estos socavones sobre las paredes de los acantilados, pueden alcanzar una altura de 3 o 4 metros y un ancho de 20 metros. La erosión marina, por la constante investida del oleaje provocó la formación de estas estructuras. Este paisaje no corresponde a un proceso kárstico y por lo tanto no es una gruta, en el sentido técnico de la palabra. Para evitar confusiones debería usarse el término **socavón**, que se





**Acantilado de Las Grutas, San Antonio Oeste, provincia de Río Negro.**

refiere a una cueva excavada en los lados de un relieve y que a veces se prolonga a modo de una galería subterránea. Creemos que ningún intendente, por más correcto que sea, se anime a cambiar el nombre del balneario por “Los Socavones”.

## Morada de monstruos

En los libros de geología, algunos autores, no consideran relevante incluir en el texto los cuerpos de agua continentales, lagos y lagunas. Consideran que los mismos deben ser tratados por la ecología, por ser ecosistemas acuáticos. En ese sentido, lo mismo podríamos decir del río, el mar o las dunas.

Sin embargo, nosotros haremos una breve descripción de los lagos por el significado que tiene como niveles de base donde desaguan ríos y glaciares, y por la importancia de sus depósitos sedimentarios en la datación relativa. Además constituyen una buena reserva de agua dulce por lo que los seres humanos, desde los inicios de la civilización, han desarrollado sus asentamientos en sus cercanías.



## Un lago

Un **lago** es un cuerpo de agua dulce o salada, más o menos extensa, que se encuentra rodeado de tierra. Así de simple.

Los lagos son formas del paisaje que dependen de la región en que aparecen y que, a menudo, poseen una flora y fauna muy importantes. Si ocupan grandes extensiones de terreno son interpretados como mares interiores a pequeña escala, como Mar Chiquita, en la provincia de Córdoba. Esta visión, aunque simplista no es del todo equivocada.

Éstos pueden ser pequeños estanques hasta lagos muy grandes que cubren miles de kilómetros cuadrados. El comportamiento de los lagos, está determinado por el volumen de agua presente en el mismo, que puede ser proveída a partir de uno o más sistemas fluviales.

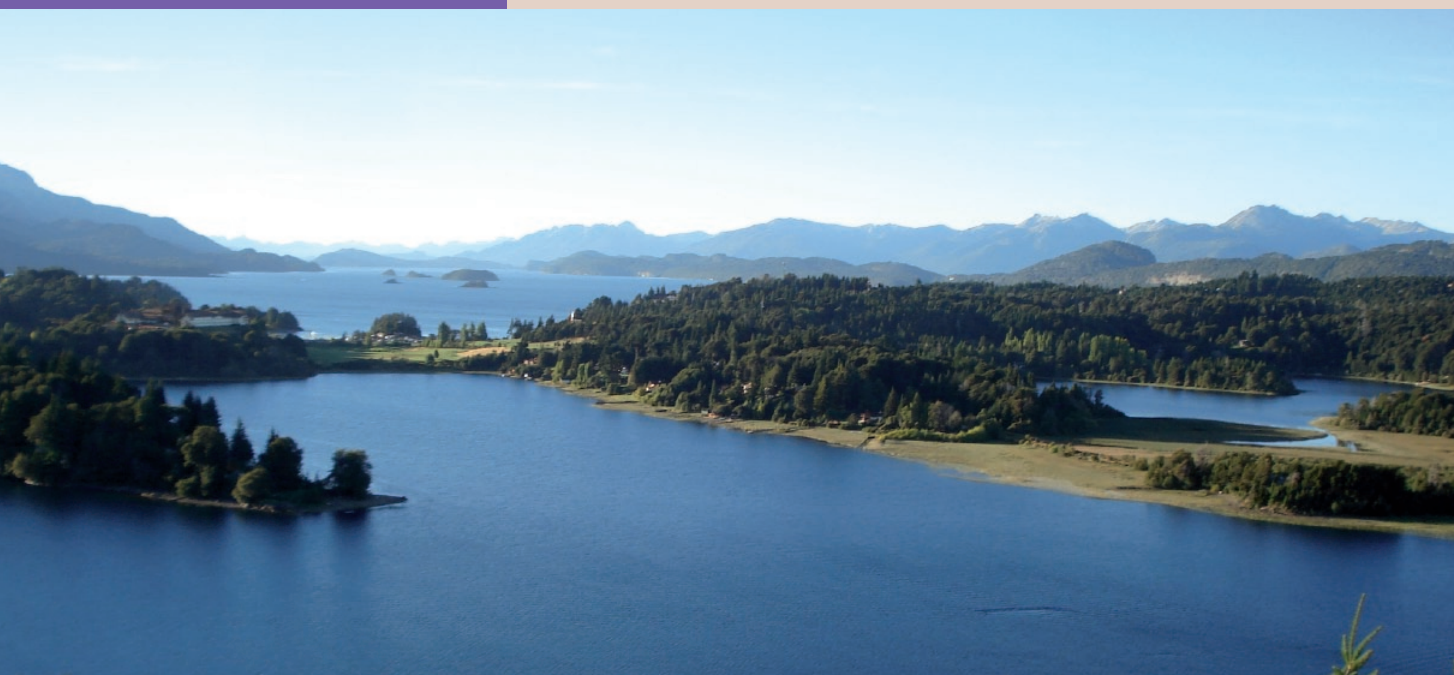
Por su parte, al río por donde desagua el lago se le llama emisario. Si carece de emisario, entonces tanto al lago como a su cuenca se le reconocen con el término endorreico. Los lagos no suelen ser estructuras estables y por ello tienden a desaparecer. Generalmente reciben alimentación de agua de las precipitaciones, manantiales o afluentes.

En las regiones áridas, donde las precipitaciones son insignificantes y la evaporación intensa, el nivel de agua de los lagos varía según las estaciones y éstos llegan a secarse durante largos periodos de tiempo.

Los lagos pueden formarse a cualquier altitud y están distribuidos por todo el mundo, son numerosos en latitudes altas, especialmente si se trata de zonas de montaña sujetas a la influencia de los glaciares.



**Lago Nahuel Huapi, en la provincia de Río Negro.**





## Clasificando lagos

### Los lagos se clasifican por su origen:

Los **tectónicos**, rellenan las depresiones originadas por fallas y plegamientos. Son lagos formados por un movimiento del suelo que impide el libre curso de un río. Un lago de este tipo es el lago Fagnano, que comparten la Argentina y Chile, y que se encuentra situado en el extremo sur, en el centro de la isla de Tierra del Fuego. Su particularidad es que se desplaza cinco milímetros cada año en dirección este-oeste. ¿Cuál es la causa de este movimiento? El desplazamiento es consecuencia de la cercanía a la falla geológica Magallanes-Fagnano, una falla de tipo transcurrente. O el imponente lago Titicaca que se encuentra entre Bolivia y Perú.

Los de **barrera** se forman cuando las morrenas glaciares u otras materias, como coladas volcánicas o desprendimientos de tierras, tapan los valles y permiten la acumulación de las aguas e impiden su desagüe. Como ejemplo de estos tipos podemos mencionar al lago Argentino, ya que en general los lagos en barrera se encuentran asociados directamente a glaciares activos, en nuestro ejemplo el Perito Moreno.

Los **lagos glaciares** se crean cuando los glaciares excavan amplias cuencas al pulir el lecho de roca y redistribuir los materiales arrancados. Un lago glaciar se forma cuando las aguas de deshielo ocupan las depresiones formadas por la erosión de masas glaciares. Por ejemplo, el lago Nahuel Huapi.

Los **lagos de cráter** se pueden dar tras la explosión del cráter de un volcán, el cual forma una caldera volcánica o un hundimiento circular que puede ser inundado tras la extinción formando un lago. Si el cráter no tiene fisuras y está formado por materiales de escasa porosidad, puede convertirse en un lago permanente si recibe suficiente agua de la lluvia. Un ejemplo argentino de este tipo se desarrolla en la cima del volcán Copahue, a 2.910 metros de altura, en la provincia de Neuquén.

Los **lagos de cuencas endorreicas** son depresiones en la corteza terrestre que no poseen salida hacia el mar. Contienen aguas generalmente algo saladas, debido a la progresiva concentración de sales por efecto de la evaporación. En la Argentina se encuentran en la provincia de Córdoba el Mar de Ansenusa o Mar Chiquita (que también es conocido con el nombre de "laguna de los Porongos") una de las mayores superficies lacustres del país. Aunque un poco más lejos y con mucho más frío, podemos encontrar en la Antártida uno de los pocos lagos endorreicos en zonas desérticas frías, el lago Vida, el cual permanece líquido a causa de que su extrema salinidad le impide congelarse.



Un lago es un cuerpo de agua dulce o salada, más o menos extensa, que se encuentra rodeado de tierra. Así de simple. Los lagos son formas del paisaje que dependen de la región en que aparecen y que, a menudo, poseen una flora y fauna muy importantes.



## Lagos argentinos

Todos los lagos argentinos se encuentran en la Patagonia, ya sea en la misma cordillera andina (de origen tectónico) o en la región extracordillerana (de origen erosivo). Algunos lagos cordilleranos son compartidos con Chile (de norte a sur: General Vintter, Buenos Aires, Pueyrredón, San Martín y Fagnano).

Algunos de los lagos de los Andes patagónicos más grandes e importantes son el lago Argentino (1.415 km<sup>2</sup>); Viedma (1.088 km<sup>2</sup>); y Nahuel Huapi (550 km<sup>2</sup>). Los lagos más importantes de la Patagonia extraandina son el lago Colhué Huapi (803 km<sup>2</sup>) y el Musters (434 km<sup>2</sup>), ambos en la provincia de Chubut.

## Registro ambiental

Los sedimentos que se acumulan en un lago, reflejan las condiciones ambientales que rodean al mismo y por lo tanto brindan información sobre los cambios ocurridos durante su historia.

En los lagos pueden encontrarse cualquier tipo de sedimentos: detríticos, químicos, bioquímicos y orgánicos. El tamaño del material detrítico es muy variado, desde gravas a arcillas; no obstante, predominan los limos y arcillas, en las zonas más profundas, quedando los clastos más gruesos restringidos al litoral. La procedencia puede ser de origen diverso: aportes que viajan con las corrientes fluviales, productos de erosión de la costa o incluso productos de la acción del viento.

Los depósitos **evaporíticos**, es decir, los precipitados químicos que resultan en regiones áridas por la evaporación de las aguas, pueden ser muy importantes como indicadores paleoclimáticos. Por ejemplo, los depósitos lacustres de arcillitas del Paleoceno del noroeste argentino, que intercalan con depósitos evaporíticos, nos permiten durante la realización de reconstrucciones ambientales utilizarlos como indicadores de climas cálidos y áridos.

Los **varves** o **ritmitas**, son un tipo de depósito característico de clima frío, que se encuentran en los lagos glaciares. Cada varve consta de dos capas de sedimentos, una capa inferior de material de arena de color claro y una capa superior de limo oscuro.

En la primavera y a principios del verano, cuando ocurre el deshielo, aumenta el caudal de los ríos y los arroyos llevando más sedimentos. El material fino se mantiene en suspensión en el lago mientras se deposita el material más pesado. Durante los meses de invierno, el aporte sedimentario disminuye, permitiendo la depositación de limos y arcillas junto con materiales orgánicos, así año tras año, se acumulan estas varves. Contando el número de varves en el lago es







**Ritmitas: son depósitos glaciares que ocurren en los grandes lagos glaciares.**



posible establecer su edad. Las variaciones en los grosores de las varves proporcionan información acerca de las condiciones climáticas, y la presencia de restos orgánicos pueden indicar una mayor o menor estacionalidad del clima.

Este método, se conoce como datación semi-cuantitativa y es incluido dentro de la datación relativa, como una variante. Esta técnica proporciona una oportunidad de adquirir información cronológica detallada sobre la composición, desplazamiento y clima de una región, para un momento determinado. El problema de esta técnica es que está cargada de mucha subjetividad a la hora de interpretar los límites de los estratos y sus espesores.





# Capítulo 5.

# Un poco de todo



## Salinas, salares y salitrales

La sal por ser un elemento fundamental para la vida de los organismos, se convirtió en un recurso indispensable para el ser humano desde la prehistoria.

Un salar es una depresión en el paisaje en la cual dominan las condiciones de clima árido y se generan depósitos de origen evaporíticos. Las aguas cargadas de sales (cloruros, sulfatos, nitratos, boratos, etc.) se evaporan a causa de las altas temperaturas o por el mínimo ingreso de agua en la cuenca, siempre relacionado a las bajas precipitaciones.

Los salares pueden estar vinculados a regiones costeras marinas, manantiales o fuentes surgentes continentales que atraviesan rocas con alto contenido de sales. En algunos casos, como en los salares andinos, el aporte mineral proviene del vulcanismo intenso, que ocurrió durante el Cenozoico; las cenizas poseen un alto contenido de sales y son fácilmente degradadas por la meteorización.

Algunos autores, se refieren a salinas, salares y salitrales de acuerdo con las dimensiones y a las concentraciones variables de las distintas sales. Aquí haremos una breve referencia, enfocándonos en los salares más importantes de la Argentina, que están estrechamente asociados a cuerpos de aguas temporarias como lagos y lagunas.

En la región pampeana, hacia el sur de la provincia de La Pampa y en parte en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, podemos mencionar la salina La Colorada Grande, donde predominan los paisajes de mesetas planas y onduladas con pendientes de baja inclinación.



Vista de un salar.



La vegetación de la zona, es escasa y está representada por arbustos y pastizales bajos. Son un conjunto de pequeñas depresiones, resultado de hundimientos tectónicos. En tales depresiones se originaron lagunas temporarias que al desecarse, formaron depósitos de sal. Estos depósitos, de cierta importancia, fueron explotados intensivamente durante el siglo XIX.

En la región cuyana, en la provincia de San Luis nos encontramos con un importante yacimiento de cloruro de sodio (sal de cocina) con 6.500 hectáreas y su explotación minera se remonta a 1900 cuando la laguna del Bebedero evidenciaba ya una fuerte desecación. Son conocidas como las salinas del río Bebedero, del que toman nombre. Su origen tuvo lugar durante el Cenozoico tardío cuando hubo una intensa desertificación luego de la elevación de la cordillera de los Andes. La región fue afectada por sismos y se generaron unos grupos de fallas asociados rodeando bloques que se hundieron. Era una zona con abundante acción fluvial, los cursos fueron desviados hacia las depresiones, resultando en la formación de lagunas temporarias.

En el noroeste argentino, hay incontables regiones, propias de un ambiente desértico en los cuales existen depósitos de sal o yeso. Algunas de las que podemos mencionar son las Salinas Grandes de Salta y Jujuy, que abarcan más de 200 km<sup>2</sup> de superficie y que se encuentran a una altitud promedio de 3.450 msnm. El origen de estas salinas data de un extenso período ubicado entre 10 y 5 millones de años antes del presente. En dicha etapa, la cuenca de este salar se cubrió de aguas ricas en sales provenientes de la actividad volcánica. La evaporación gradual de sus aguas continentales dio origen a este salar que posee una costra de 30 centímetros de espesor.

En el sudeste de la provincia de Santiago del Estero, en los departamentos de Ojo de Agua y Choya, y en el norte de la provincia de Córdoba, en el departamento de Tulumba, también encontramos depósitos evaporíticos. Ahí se encuentran las salinas de Ambargasta, marcando el límite entre las regiones del Chaco y las sierras pampeanas, ubicadas sobre una depresión al sur del río Dulce.

### El salar de Arizaro

Es el salar más grande de la Puna argentina y el tercero en tamaño de los presentes en la cordillera de los Andes, luego del salar de Uyuni en Bolivia y el de Atacama en Chile. Cubre una superficie de 1.500 km<sup>2</sup>. Es una zona rica en sal, hierro, mármol, ónix y cobre. Se ubica entre las localidades de Tolar Grande (al este) y Caipe (al oeste). Aquí se realiza explotación minera metalífera y no metalífera.

En el salar, se encuentra una estructura piramidal de consistencia rocosa, que sobresale de la llanura: el cono de Arita, ubicado en



**Un salar es una depresión en el paisaje en la cual dominan las condiciones de clima árido y se generan depósitos de origen evaporíticos. Las aguas cargadas de sales (cloruros, sulfatos, nitratos, boratos, etc.) se evaporan a causa de las altas temperaturas o por el mínimo ingreso de agua en la cuenca, siempre relacionado a las bajas precipitaciones.**





la provincia de Salta. Es una pirámide natural considerada como la más perfecta del mundo y se eleva del salar alcanzando hasta los 3.689 metros de altura. Fue interpretado como un posible centro ceremonial del imperio incaico.

Los distintos grupos originarios de la región, se han referido al salar con diferentes nombres. Para nombrar al salar salteño, se utiliza el término que posee el significado atacameño de “dormidero del buitre”. También fue utilizada la palabra quichua “ari-saru” que equivale a “huellas hirientes” para referirse a él.

Dueños de una larga historia geológica y portadores de valiosos tesoros minerales, los salares aparecieron en el Mioceno Superior (Periodo Terciario). Los expertos aseguran que el agua subterránea de los salares posee concentraciones salinas muy superiores a la del agua marina, además de llevar toda clase de elementos químicos como litio, potasio, magnesio y boro, entre otros, que actualmente se extraen con modernas técnicas de destilación y cristalización fraccionada.

Abundan las teorías sobre la procedencia de los salares norteños. Entre ellas sobresale la que afirma que son restos de aguas de mar resacas. Sin embargo, estudios realizados permitieron comprobar que todo ocurrió durante el nacimiento y evolución de la Cordillera de los Andes. Se trata de una región montañosa con depósitos de sal que representan los relictos de lagos salados hoy desaparecidos y son el producto de la evaporación de aguas saladas continentales de origen volcánico.

## Viento

Los procesos eólicos, son los derivados de la actividad del viento y dan lugar a la erosión, transporte y sedimentación de partículas finas: arena, limo y arcilla.

Presentan, sin lugar a dudas, su mayor desarrollo en los ambientes desérticos, pero además, los sedimentos formados por el viento pueden encontrarse en otras regiones áridas y semiáridas, como en abanicos aluviales, planicies de inundación fluviales, en asociación con depósitos glaciares y fluvio-glaciares, y por supuesto, los encontramos en íntima relación con los sedimentos litorales, conformando los médanos de las playas.

Haremos referencia principalmente a los desiertos por ser las áreas clásicas de estudio para comprender los ambientes eólicos y sus depósitos.



## Así en África como en Marte

Un **desierto** es una superficie terrestre en la cual las precipitaciones casi nunca superan los 250 milímetros al año y el terreno es árido, con cubierta vegetal escasa o ausente.

En las regiones áridas no domina un sólo proceso geológico, actúan tanto los procesos tectónicos, como los agentes erosivos como el viento y el agua. Sin embargo, en estas regiones los procesos eólicos actúan con mayor intensidad que en otras, principalmente en el transporte y la sedimentación de arena.

Para que un desierto se forme son necesarios tres elementos. En primer lugar que haya un suministro de arena, el cual proviene de otro sistema por la erosión de un río o por la acción erosiva del mar como en las playas bonaerenses. Ese material tiene que estar disponible para poder ser transportado, por ejemplo, si la arena se humedece por acción de las lluvias, aumenta la adhesión entre los granos y al viento se le dificulta movilizarla. Además de la humedad, la vegetación también puede disminuir la capacidad de transporte.

La segunda condición, es que el agente de transporte, es decir, el viento tenga cierta intensidad y actividad constante. Por último, es necesario que el material pueda acumularse, es decir que una vez depositado, no actúen sobre él otros mecanismos de transporte.

Antiguamente, se consideraba al viento como un agente de transporte de escasa importancia, en comparación con el trabajo que realiza el agua, pero esta concepción se ha invertido, y las nuevas investigaciones sostienen que en los desiertos la erosión eólica es la que prevalece.

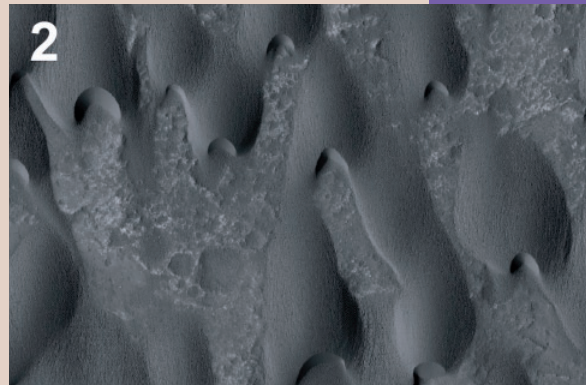
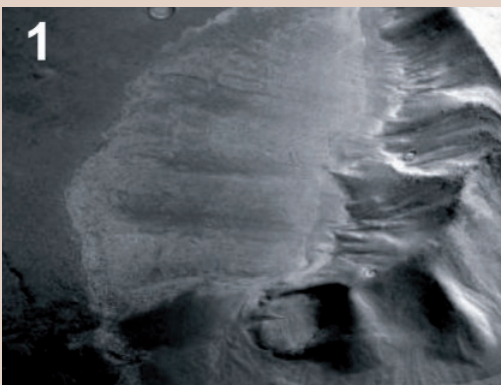
Los ambientes desérticos no son exclusivos de nuestro planeta, los estudios a partir de imágenes obtenidas mediante fotografías satelitales de Marte y Venus sostienen la importancia de los procesos eólicos en estos planetas. Las imágenes de la superficie marciana muestran claramente el desarrollo de acumulaciones de arenas, dunas particularmente de tipo barjanoides.



**Un desierto es una superficie terrestre en la cual las precipitaciones casi nunca superan los 250 milímetros al año y el terreno es árido, con cubierta vegetal escasa o ausente.**



**Dunas en Marte (1)  
y la Luna (2).**





Cuando llueve en el desierto, el agua infiltra debido a la alta permeabilidad y desciende hasta toparse con materiales menos permeables. Comienza a fluir, lentamente en dirección horizontal. Si toma contacto con la superficie formará un oasis.

En el planeta Tierra, estos ambientes son el resultado de la acción de varios factores meteorológicos y geológicos. Dado que estos procesos se combinan de formas diferentes, el aspecto de sus paisajes es muy variable.

La circulación global del aire y la presión determinan la presencia de franjas de alta presión atmosférica y baja humedad en ambos trópicos y una franja ecuatorial de baja presión y alta humedad. En la región ecuatorial, donde las temperaturas son altas, el aire asciende y se expande. Así se forman nubes y las precipitaciones aquí son abundantes.

Los desiertos **tropicales** o **de latitudes bajas**, situados entre los 20° y 30° de latitud, están asociados a las franjas de alta presión y baja humedad. En estas zonas el aire se hunde y se comprime, generando las condiciones opuestas necesarias para la formación de nubes y lluvia. En el hemisferio Sur podemos destacar el desierto de Atacama en Chile, el Kalahari en África y el Gran Desierto Australiano.

Los desiertos **de latitudes medias** tienen origen **orográfico** están situados detrás de las altas montañas. Éstas detienen la humedad que los vientos transportan desde el océano. Al atravesar las montañas, el viento se ve obligado a elevarse; entonces se enfría y el agua que contiene condensa en forma de lluvia.

Esa masa de aire, va perdiendo la humedad y al continuar su recorrido las lluvias se vuelven cada vez más escasas, dando origen a condiciones desérticas. Esto ocurre en el sur argentino, en el desierto patagónico y en la región cuyana. La estepa patagónica es una variante marginal y más húmeda del desierto, es una zona de transición que rodea el desierto y lo separa de los climas húmedos que caracterizan las regiones chaqueña y pampeana.

Pero ambos tipos de desiertos comparten ciertas características: las lluvias que caen esporádicamente son torrenciales y su frecuencia es muy irregular; la arena cubre un área reducida de los grandes desiertos: no más del 15 % de la superficie total; dicha arena tiene origen en las montañas y es transportada hacia las planicies por los cursos de agua intermitentes y efímeros; el viento, remodela los depósitos y transporta el material a distancias cortas.

Cuando llueve en el desierto, el agua infiltra debido a la alta permeabilidad y desciende hasta toparse con materiales menos permeables. Comienza a fluir, lentamente en dirección horizontal. Si toma contacto con la superficie formará un oasis, como en el sur de San Luis, en la cañada de Ranquel-Có. Otro tipo de oasis están representados por las hoyas y bajos en los que la erosión ha socavado hasta en nivel de las aguas subterráneas. Ejemplos de este tipo de oasis se encuentran en el sudoeste de la provincia de Córdoba, cerca del río Quinto, en medio de campos de arena.





## Algo de agua

El viento es una masa de aire en movimiento, capaz de elevar partículas sueltas y transportarlas a otros lugares. A diferencia del agua, su densidad es menor y llevará partículas más finas y además, como no viaja encauzado, sus depósitos cubren superficies amplias.

Al igual que el agua, el viento es también considerado un fluido. Por esto, tiene la capacidad de transportar partículas finas en suspensión, mientras que las más pesadas son llevadas como carga de fondo, rodando y saltando sobre la superficie del suelo. Si bien, su acción erosiva en comparación con la acción del agua, no parece tan importante, su papel principal es el de transportar y formar cúmulos de arena.

Al hablar de ambientes eólicos o desérticos, hay un término que no puede dejar de mencionarse y es el de deflación. La **deflación** es el proceso por el cual el viento levanta, arrastra y dispersa los fragmentos de rocas meteorizadas del suelo.

Dichos fragmentos, además de producir corrosión sobre otras rocas desgastándolas, se imprimen abrasión a sí mismos en su desplazamiento cuando chocan con la superficie de otras rocas.

Muchos de los fragmentos meteorizados en los desiertos consisten en minerales inalterados. Esto se debe a que predomina la meteorización mecánica. En las regiones secas, la meteorización química se ve reducida por la falta de humedad y por la escasez de los componen-



Valle de Talampaya, en la provincia de La Rioja.



tes orgánicos en descomposición. Aún así, las pequeñas partículas de agua oxidan los minerales ricos en hierro, dando el color rojizo u ocre característico de los desiertos como los del valle de Talampaya, en la provincia de La Rioja o del Sahara.

Por el contrario, los depósitos de coloración oscura, son vinculados a condiciones climáticas más húmedas, en ellos la materia orgánica es abundante y su descomposición le da el color grisáceo característico.

Pero, la acción del agua no está ausente por completo: cuando precipita, los suelos arcillosos impiden la infiltración inmediata del agua y se forman ríos efímeros. Las corrientes de agua son típicamente momentáneas en las regiones áridas, ya que se encuentran secas la mayor parte del tiempo. Estas corrientes, aunque esporádicas, son importantes modeladoras del relieve dado que, la mayor parte del sustrato no está anclado por vegetación, la fuerza erosiva ejercida durante una breve precipitación es notable. Hacemos referencia a esto para erradicar la idea errónea que el viento es el único agente erosivo que esculpe los paisajes desérticos.



Al sur de la provincia de Mendoza, se esconden las dunas del Nihuil. Este enorme espacio natural nace en la parte superior del macizo de San Rafael y ocupa unas 30 mil hectáreas donde se esconden numerosas dunas, algunas de ellas de unos 200 metros de altura.

### Médanos

Las acumulaciones de sedimento transportado por el viento son bien conocidas en todo el mundo y a lo largo de muchas costas arenosas. Los depósitos eólicos pueden ser de dos tipos: las **dunas, médanos** o **colinas de arena** y los extensos depósitos de limo, llamados **loess**. Ambos están muy bien representados en nuestro país.

Al sur de la provincia de Mendoza, se esconden las dunas del Nihuil. Este enorme espacio natural nace en la parte superior del macizo de San Rafael y ocupa unas 30 mil hectáreas donde se esconden numerosas dunas, algunas de ellas de unos 200 metros de altura.

Estas estructuras se generan por la disminución de energía del agente de transporte y la arena comienza a acumularse formando montículos o crestas. Cuando el viento se encuentra con un objeto que le obstruye el paso, como una mata de vegetación o una roca, detrás de éste se genera una brusca disminución de energía por lo que pueden caer las partículas arrastradas. Si esto continúa, la propia acumulación de arena se convertirá en una barrera más importante y por lo tanto en una trampa más eficaz para la acumulación del material.

Muchas dunas tienen perfil asimétrico, con una pendiente más empinada y una más suave. La arena asciende por la pendiente más débil (barlovento) y se acumula por delante de la cara protegida (de sotavento) donde la velocidad del viento es menor. Esto provoca, con el pasar del tiempo una migración lenta de la duna en la dirección del movimiento del aire.





A medida que la arena se deposita en la cara de deslizamiento, se forman estratos inclinados en la dirección que sopla el viento. Estas capas en pendiente se denominan estratos entrecruzados. En el registro fósil, es muy común la aparición de **estructuras entrecruzadas**, y por la orientación de las mismas, podemos determinar las paleocorrientes, las cuales son muy importantes a la hora de realizar reconstrucciones ambientales.

Si bien, no suelen conservarse las dunas como tal, existen algunas excepciones como las paleodunas conservadas del Mesozoico de Neuquén. Éstas tienen importancia económica, debido a que pueden convertirse en reservorios de agua ó de petróleo por la alta permeabilidad de la roca.

### Tipos de dunas

Existe una clasificación del tipo de dunas debido a la gran variabilidad. Los barjanes son dunas solitarias con forma de media luna y alcanzan hasta 30 metros de altura; las dunas transversas forman cadenas de crestas separadas por depresiones, son perpendiculares al viento y pueden alcanzar los 200 metros, son el tipo de dunas que encontramos en nuestro litoral Atlántico.



**Dunas de la costa atlántica.**



Las dunas longitudinales están formadas por crestas largas de arena más o menos paralelas al flujo del viento, son en general pequeñas y alcanzan 3 o 4 metros de altura; las dunas parabólicas, a diferencia del resto, se forman donde la vegetación cubre parcialmente la tierra; la forma es de medialuna y son frecuentes en las costas, donde hay fuertes vientos. En la región pampeana han sido identificadas paleodunas parabólicas y longitudinales por medio de imágenes satelitales.

### Loess

En algunas partes del mundo, como Europa, Estados Unidos, China y la Argentina, la superficie de la Tierra está cubierta por depósitos de limo que han sido transportados por el viento, durante períodos de miles de años, las tormentas de polvo depositaron y acumularon este material.

El término loess, que significa suelto o libre, en alemán, fue utilizado originalmente para designar los sedimentos muy finos de origen eólico depositados en Europa y relacionados con los diversos avances de los glaciares. Son depósitos de materiales muy finos, con distintas proporciones de limo, arena y arcilla. Los loess presentan estructura masiva, son generalmente de colores claros (blancos, amarillentos, castaños) y pueden observarse en paredes verticales, como por ejemplo en las barrancas de I río Salado de la provincia de Buenos Aires.



Depósitos de loess.





La formación de los depósitos de loess puede ser simple o bastante compleja. El loess puede generarse por la meteorización de las rocas en un área y posteriormente el viento levanta y deposita los sedimentos finos en otra región. También las partículas iniciales, pueden haber surgido por la meteorización o erosión glaciaria, luego sufrir un transporte y sedimentación por parte del glaciar y ríos, para finalmente ser movilizadas por el viento.

En la provincia de Buenos Aires hay importantes depósitos de loess que fueron acumulados durante el Cuaternario, por fuertes vientos que traían los materiales más finos provenientes del oeste, estos depósitos fueron nominados y definidos como el **sistema eólico pampeano**.

El sistema eólico pampeano, dio origen a una cubierta sedimentaria formada por un mar de arena y un borde periférico de loess. Los depósitos cubren unos 150.000 km<sup>2</sup>, formando la mitad sur de La Pampa, en el centro de la Argentina Este sistema se desarrolló hace 120.000 a 8.500 años durante la última glaciación.

Los sedimentos que forman estos loess, incluyen arena fina o muy fina y limo, y se originaron en las sierras pampeanas y en la alta cordillera cuyana. Fueron formados por procesos glaciales y transportados por aguas de deshielo hacia el sur por el sistema fluvial del río Desaguadero. Finalmente, quedaron bajo la acción de un fuerte sistema de vientos, que los transportó cientos de kilómetros hacia el noreste y el norte, en un clima muy seco. Los paisajes de esa época han sido interpretados en ocasiones como sabanas o pastizales de clima seco y frío.

## Hijos del río

En los extremos opuestos de un río, en su cabecera y en su desembocadura, se desarrollan ambientes íntimamente ligados al sistema fluvial, los ambientes **aluvial** y **deltaico**.

El aluvial es un ambiente netamente continental, mientras que el deltaico es un ambiente de transición entre el continente y el mar.

Los ambientes aluviales se forman en las zonas de cabecera de los ríos y se depositan en tierra firme, por el contrario los deltas están asociados a las zonas de desembocadura y se depositan en un cuerpo de agua. ¿Qué los une, además de ser ambos hijos del río?

No los une la desgracia sino su mecanismo de formación, la pérdida abrupta de la capacidad de carga y la competencia.

La **capacidad de carga** se define como la cantidad de sedimento que puede transportar un agente como el hielo, agua o viento. Mientras



En los extremos opuestos de un río, en su cabecera y en su desembocadura, se desarrollan ambientes íntimamente ligados al sistema fluvial, los ambientes aluvial y deltaico.



que la **competencia** es el tamaño de grano más grande que un agente puede transportar.

Esta capacidad y competencia dependen del tamaño del sedimento, la velocidad del agente transportador, la densidad del mismo, la pendiente del terreno, etc. Cuando alguno de estos factores se modifica, se alteran también estas variables.

Los ambientes aluviales y deltaicos se forman cuando un río sufre una pérdida brusca de la capacidad de carga y competencia.

### Al pie del cerro

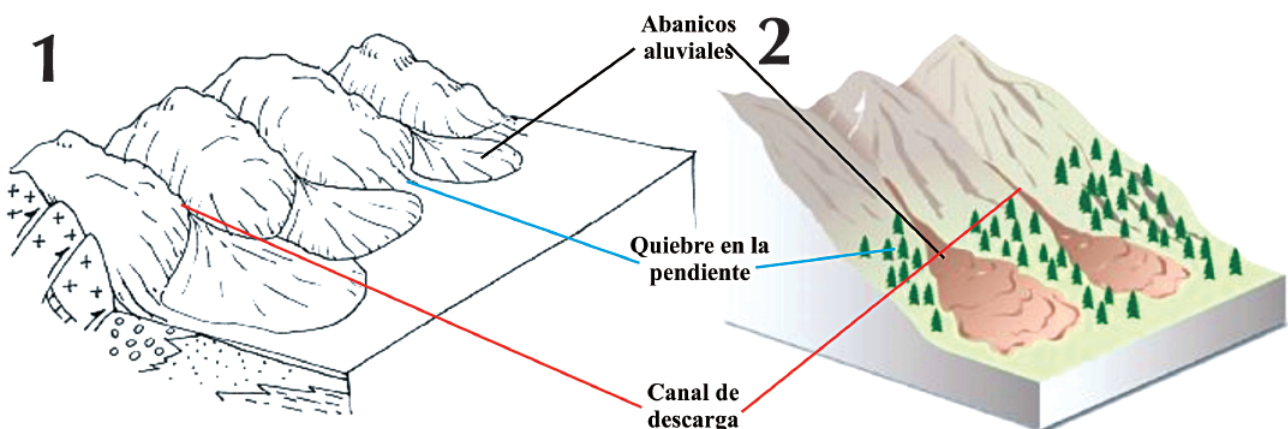
Los abanicos aluviales se forman donde una corriente fluvial, que viene bajando por un terreno montañoso y empinado, rápidamente se encuentra con una llanura amplia y llana, el pie del cerro. El cambio repentino de la pendiente, de la ladera al valle, produce una caída brusca en la velocidad de la corriente del río. El río pierde la capacidad de transportar todo el material que traía y deposita todo el sedimento en una acumulación que tiene forma de cono o abanico. Las dimensiones de estos abanicos pueden variar de métricas a kilométricas.

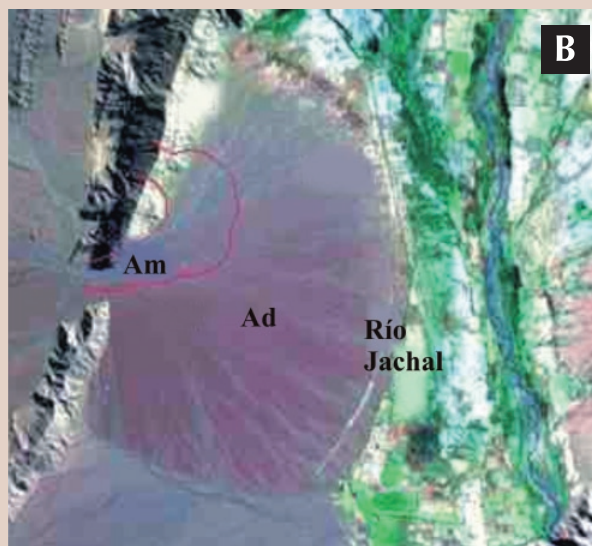
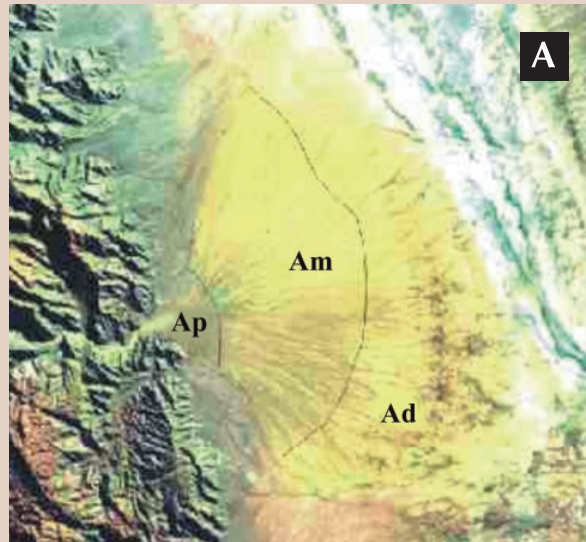
Estos ambientes son importantes por que son potenciales depósitos de minerales pesados y almacenes de hidrocarburos. Además, su estudio ayuda al conocimiento de la evolución tectónica, los cambios en la dinámica interna del planeta, en la zona donde se forman.

Los principales elementos que componen un **abanico aluvial** son: la **cuenca de recepción**, que es la zona donde el agua se carga de sedimentos; el **canal de descarga** que realiza el transporte de agua y sedimento hasta la punta del abanico o cono y los **lóbulos** formados por el material depositado.



Esquema que muestra las partes de un abanico aluvial.





**A:** El abanico aluvial de Catinzaco, uno de los más extensos de la vertiente oriental de la Sierra de Sañogasta (Sistema del Famatina, provincia de La Rioja). **B:** Un pequeño abanico aluvial en las proximidades de Jachal (provincia de San Juan). Referencias: Ap abanico proximal, Am abanico medio y Ad abanico distal.

Los abanicos aluviales normalmente son más comunes en regiones montañosas áridas o semiáridas en donde la vegetación es escasa y el transporte de sedimentos ocurre esporádicamente pero con gran violencia durante las tormentas o el deshielo. También llegan a desarrollarse en las regiones húmedas, incluyendo en zonas de glaciales, en donde los procesos de canalización de agua durante las épocas de deshielo son más importantes.

La región noreste mendocina está estrechamente vinculada a la evolución de los ríos Mendoza y Tunuyán, que al salir del ambiente cordillerano, pierden su capacidad de carga, originando amplios abanicos aluviales, los que se continúan en una llanura hasta alcanzar los depósitos lacustres del río Desagüadero. Es una extensa región con pendiente hacia el este y características similares a la del sureste sanjuanino.

Los abanicos de los ríos Diamante y Atuel, son muy similares a los del sureste sanjuanino y noreste mendocino. Los sedimentos son en parte eólicos y constituyen un reservorio de agua subterránea.







El río Paraná es uno de los más caudalosos del mundo y transporta enormes cantidades de sedimentos. Al desembocar en el río de la Plata, que actúa como un amplio estuario, se forma un ambiente único, el delta del río Paraná.

## Letra griega

El río Paraná es uno de los más caudalosos del mundo y transporta enormes cantidades de sedimentos. Al desembocar en el río de la Plata, que actúa como un amplio estuario, se forma un ambiente único, el delta del río Paraná.

Este delta tiene una superficie de aproximadamente 14.500 km<sup>2</sup>, nace a la altura del puerto y ciudad de Diamante, en la provincia de Entre Ríos. Allí se inicia el delta superior hasta Villa Constitución, provincia de Santa Fe; luego, el delta medio, hasta Puerto Ibicuy, provincia de Entre Ríos y, el delta inferior, hasta la desembocadura en el estuario del río de la Plata.

Los principales ríos del delta del Paraná son el Gutiérrez, el Paraná Bravo, el Paraná de las Palmas, y el Paraná Guazú, que es el más caudaloso y el límite político entre las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos. El delta del Paraná es, en sentido geográfico, una transición entre la Mesopotamia y la llanura Pampeana, propiamente dicha.

Las islas del delta del Paraná deben su existencia a la gran cantidad de sedimentos que acarrea el agua del Paraná. Estos sedimentos, que son transportados mayormente por el río Bermejo, afluente del río Paragua, son depositados en el estuario. Los bancos de sedimento son colonizados por juncos, ceibos, pajonales y otras especies que contribuyen con sus raíces a consolidar las islas que posteriormente son colonizadas por otras especies.

El delta del Paraná de este modo va avanzando, por colmatación, sobre el estuario del Río de la Plata; las islas que se forman son características: sus costas o riberas son más elevadas que sus centros, en los centros isleños suelen existir pantanos y pequeñas lagunas.

El frente del delta del Paraná ha venido avanzando continuamente, el ritmo de crecimiento actual, se determinó a partir de la comparación de cartografías a lo largo de un siglo. Este vertiginoso avance ha conducido, en particular, a la aparición durante ese siglo de todas las islas que actualmente enfrentan a la localidad de San Fernando.

## ¿Qué es y como se forma este gran delta?

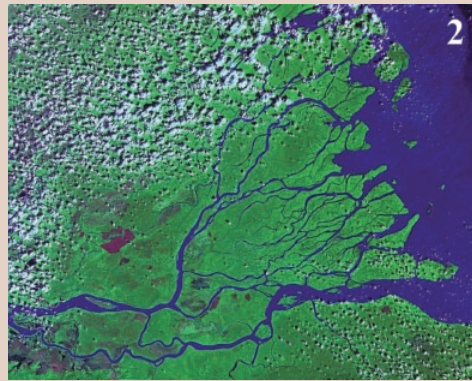
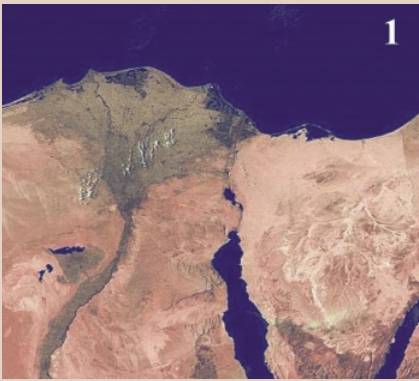
Un **delta** es una construcción hecha con los sedimentos que transporta un río y que se acumulan en su desembocadura sobre un mar o un lago debido a que el río pierde su capacidad de transporte.

La condición fundamental para que un delta pueda formarse es que el río proporcione más sedimento al cuerpo de agua (mar o lago) que la cantidad que puede ser removida por las corrientes. Como resultado de esta actividad, el delta progradado, avanza y crece.

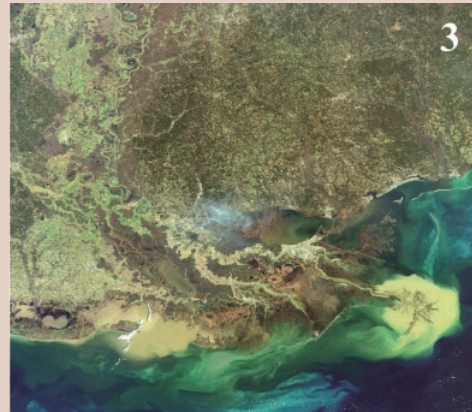




Distintas vistas del delta del río Mississippi, en los Estados Unidos.



La cuenca hidrográfica correspondiente al río Mississippi es una de las más grandes del mundo. El caudal del río es tan importante que arrastra grandes cantidades de sedimento hasta la costa, y por lo tanto, para ser retrabajado por el mar. En las fotografías aéreas se observa la forma de un triángulo, en tonos ocre y amarillo: no es más que el sedimento acumulado sobre la línea de costa.



Su nombre se debe a que muchos tienen la forma de la letra griega (delta). Los deltas subaéreos han tenido un papel socioeconómico muy importante, son zonas sumamente fértiles, por lo cual fueron el lugar elegido por algunas civilizaciones antiguas para establecerse.

Existen dos tipos de deltas: los **lacustres** y los **marinos**. Los deltas marinos son considerados los más importantes debido al volumen de materiales transportados y sedimentados. Los deltas lacustres pueden ocupar unos pocos kilómetros, mientras que los marinos presentan dimensiones mayores y variables en lo que área de sedimentación puede superar los 20.000 km<sup>2</sup>, como en el caso de los mayores deltas actuales conocidos asociados a los ríos Níger, Ganges, Mississippi, Nilo y Orinoco.

Si bien vamos a hacer referencias a los deltas marinos que presentan un mayor desarrollo no podemos dejar de citar un delta de origen continental, por ejemplo el que se forma cuando un canal desemboca en un cuerpo de agua, como el que se encuentra en las inmediaciones del Chaltén, provincia de Santa Cruz.

### Por encima y bajo el agua

Un delta tiene áreas tanto por debajo como por encima de la línea de marea. Podemos reconocer tres partes desde la más cercana al río o más proximal, a la más distal o más cercana al mar.



La **llanura deltaica** corresponde a la parte más continental del delta. En ella existe un claro predominio de fenómenos fluviales representados, en un momento determinado por una serie de canales. El transporte de los sedimentos en los deltas se efectúa por canales activos. Estos pueden ser únicos o hallarse subdivididos, dando lugar a canales distributarios.

Cuando el río abandona uno de estos canales, éste se rellena paulatinamente. En un principio, este relleno se realiza con los sedimentos transportados por el mismo río. Estos canales pueden hacerse meandriformes, característicos de la parte baja de un curso fluvial, que delimitan zonas casi llanas o pequeñas depresiones. Las zonas bajas dan lugar a **pantanos** y **marismas**.

En los pantanos existe una sedimentación orgánica, producto de la descomposición de los vegetales, muy intensa. En la mayor parte de los deltas, esta zona posee un gran interés económico, ya que sus suelos son ricos en nutrientes y son intensamente explotados agrícolamente. Algunas de estas zonas pantanosas pueden tener comunicación con el mar, de forma permanente o esporádicamente, dando lugar a lagos salobres. En todos ellos se depositan sedimentos finos y muy finos con abundante materia orgánica.

Los sedimentos más finos siguen adelante en forma de un plumaje turbio y son transportados más adentro de la cuenca, a las zonas del **frente deltaico** y del **prodelta**.

En toda batalla el frente es el lugar donde se desarrolla la lucha. El frente deltaico es un ambiente donde se establece la lucha entre el continente y el mar. Puede ocurrir que sea el continente el que gane la batalla avanzando sobre el mar. En otras palabras, el delta progresa, avanza producto de una sedimentación intensa.

Si el mar triunfa, son las arenas marinas las que cubren uniformemente la superficie frontal del delta. Las estructuras que se forman, van a depender de cual sea el ambiente dominante.

El prodelta se desarrolla bajo las aguas y corresponde a la parte más distal de un aparato deltaico. Los materiales que en el prodelta se depositan son una mezcla de continentales y marinos y son los materiales más finos que podemos encontrar en un delta. Estos sedimentos finos son muy inestables y suelen sufrir desplomes.

Evidentemente, no hay que considerar al delta como un ente estático, sino que se halla en continua evolución, avanzando sobre el mar en determinados períodos o retrocediendo hacia la tierra por la destrucción marina. El crecimiento de los deltas no es homogéneo, hay cursos de agua activos en un sector, y abandonados en otros, por lo tanto los dos procesos pueden actuar en el mismo delta al mismo tiempo,

pero siempre uno predomina, existiendo entonces deltas constructivos y destructivos.

A los deltas que avanzan se los denomina constructivos. Visto desde arriba presentan un diseño que recuerda a la pata de un ave, elongados o lobulados. En ellos hay un predominio marcado del ambiente fluvial, el cual presenta un diseño de tipo meandroso y que transporta continuamente una gran cantidad de material fino a muy fino que provocan la progradación. Un ejemplo actual de delta constructivo lo constituye el del río Mississippi y el delta del Paraná que mencionamos al principio.

En los deltas destructivos la mayor parte del material aportado por los ríos es retrabajado por la acción de corrientes y mareas. El área de aporte es local y responde a un diseño meandroso y anastomosado. El aporte de sedimento más grueso es moderado y esporádico, y el material más fino se encuentra en menor proporción. A este tipo pertenecen los deltas de los ríos Níger, Po, Danubio y Rin.

Los ambientes deltaicos son estructura dinámicas, que varían de tamaño y forma dependiendo de varios factores:

- Cantidad y tipo de sedimentos aportados por el sistema fluvial.
- Relación entre material y suspensión transportados por las corrientes.
- Extensión y velocidad de la red de drenaje.
- El clima dominante en la región.
- Naturaleza (si es mar abierto, golfo o lago) y profundidad de las aguas que van a recibir los aportes.
- La energía y efectos de las olas y corrientes que afectan a los sedimentos acumulados.
- Las características de la plataforma continental, si presenta baja pendiente la sedimentación y acumulación se ven favorecidas.

Por todos los factores que acabamos de listar, podemos concluir que el ambiente deltaico es uno de los más complejos no sólo en estructura sino debido a que se encuentra influenciado por numerosas variables que condicionan su desarrollo.

### No sólo el del río de la Plata

El delta de río Colorado actúa como límite entre las provincias de Mendoza y Neuquén, La Pampa y Río Negro. La cuenca del río Colorado se puede dividir en dos subcuencas: la superior, con la unión de los ríos Grande y Barrancas, y la cuenca media e inferior desde Buta Ranquil hasta su desembocadura en el océano Atlántico. Desde la localidad de Buta Ranquil corre por un valle limitado por barrancas que se ensancha progresivamente hacia la desembocadura, considerada



**A los deltas que avanzan se los denomina constructivos. Visto desde arriba presentan un diseño que recuerda a la pata de un ave, elongados o lobulados.**





por sus rasgos morfológicos como un delta de unos 800 km<sup>2</sup> de superficie, por la presencia de los brazos Colorado Viejo, Nuevo, Zanjón Chico y Grande, y Riacho Azul.

En el registro fósil, las secuencias que corresponden a paleodeltas han sido muy bien estudiadas, fundamentalmente en la cuenca Neuquina, ya que han formado depósitos de los cuales hoy se extraen hidrocarburos, como el petróleo y el gas.

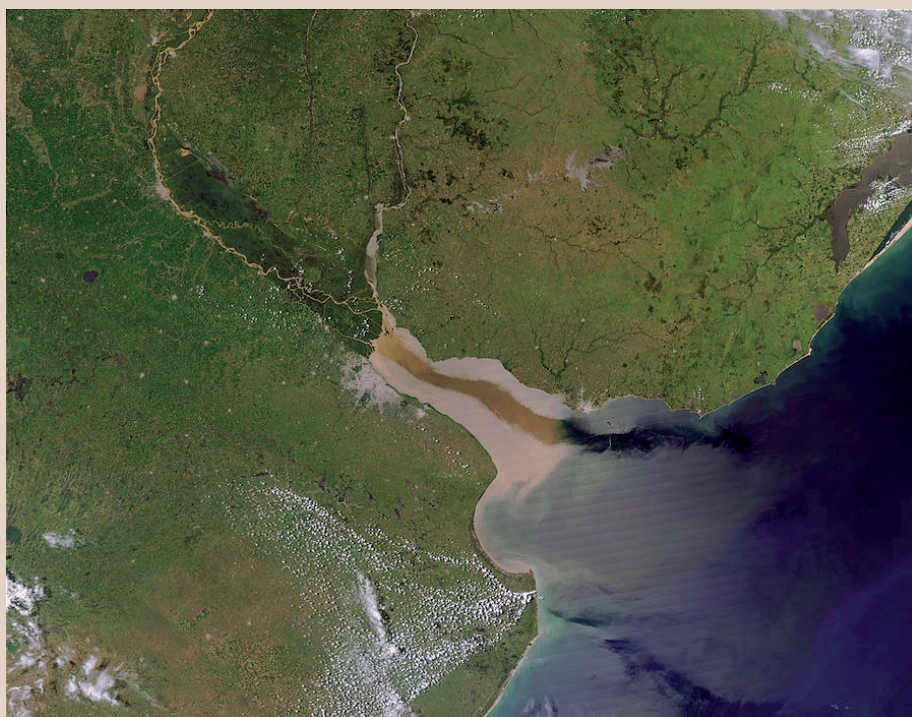
### Estuarios

Se definen como la desembocadura de un río caudaloso que desagua en el mar y que se caracteriza por tener forma de embudo. Presentan caracteres ligados a la inundación de un curso fluvial. Su forma depende de la dinámica de las aguas corrientes y su interacción con las mareas. Está muy asociada a las costas de marismas y de islas barrera. Es un ambiente de tipo transicional. Un ejemplo es el río de la Plata, formado en la desembocadura de los ríos Paraná y Uruguay, que actúa de frontera en todo su recorrido entre la Argentina y Uruguay.

El río de la Plata tiene un enorme caudal: vierte al Atlántico un promedio de 22.000 m<sup>3</sup> de agua por segundo, aportando nutrientes y detritos orgánicos al océano adyacente. Su influencia se detecta a centenares de kilómetros de su desembocadura. Esta estructura tiene una suave pendiente en la plataforma continental, por lo que forma un estuario poco profundo y de enorme superficie. Es una zona de encuentro entre el río y el mar, conformando un gradiente entre dos masas de agua que no se mezclan espontáneamente. Se deslizan una sobre la otra: el



**Estuario del río de la Plata. Se ven en distintos colores los depósitos de diferente granulometría.**





agua dulce continúa su camino hacia el océano por la superficie, en tanto que el agua marina, más pesada debido a su carga de sales, se mueve en dirección opuesta sobre el lecho del estuario hasta que la detiene un escalón en el fondo de este.

Los estuarios son ambientes complejos, donde interactúan dos conjuntos fisicoquímicos y biológicos diferentes: las aguas dulces provenientes del continente y las aguas saladas de origen marino. Son, por lo general, ecosistemas biológicamente más productivos que el río y el mar, por las condiciones particulares de circulación de las aguas, que provocan la retención de nutrientes.





Capítulo 6.  
**Los olas y el  
viento**



## Costas

Cuando se habla de **costas**, nos referimos a la porción del continente o de una isla que está en contacto con el mar. También se lo denomina litoral, aunque algunos utilizan este término solo para las costas de los grandes ríos. Siempre ha sido un elemento de importancia, debido que históricamente ha representado el límite para el desarrollo de las actividades humanas.

Como hemos mencionado una y otra vez en otros ambientes, tanto el aspecto como la estructura de las costas son altamente cambiantes. Las características de la costa dependen del tipo de roca presente, de la energía de las corrientes y las olas y, sobre todo, de la estabilidad tectónica de la costa.

Además de los procesos de sedimentación y erosión, los paisajes costeros son influenciados por la posición relativa de la **línea de costa**. Su ubicación predetermina la intensidad de acción de los distintos factores como el clima, la actividad biológica y las actividades humanas. Existen un sinnúmero de subambientes o tipos de costas, y aquí intentaremos abarcar aquellos que son representativos en nuestro país.

### Línea de costa

La línea de costa es la línea en la superficie de la tierra que define el límite entre mar y tierra firme. Como podrán imaginarse, la línea de costa puede ser un concepto ambiguo, ya que experimenta continuas modificaciones. Además son varios los parámetros a tener en cuenta a la hora de definirla.

Por ejemplo, el mar cubre extensiones variables dependiendo de la altura de la marea y de la pendiente de la costa. Así es imprescindible conocer el **régimen de mareas** de la región, ya que el mar llega hasta un punto y dentro de seis horas puede estar a cientos de metros de distancia.

Otro problema que dificulta el establecimiento de su posición, es que los límites no siempre son netos; sobre todo en la desembocadura de los ríos, como en estuarios o deltas, donde son muy variables tanto la profundidad del lecho del río como la composición de sus aguas y donde hay una transición gradual.

### Entonces ¿dónde empieza el mar o termina el río?

Para cartografiar, si queremos representar en un mapa la línea de costa, el límite dependerá de la escala utilizada; a mayor escala, mayor será el detalle requerido.



También es importante conocer las variaciones eustáticas en escalas de tiempo geológicas del nivel de mar, es decir los movimientos de ascenso y descenso de los continentes, y su consecuente avance o retroceso del mar.

Así, durante el período Terciario la línea de costa del océano Atlántico se desplazó varios kilómetros al oeste de la observada actualmente. Evidencias de las modificaciones del nivel del mar, pueden ser observadas en la Patagonia, donde dejaron terrazas paralelas a la línea de costa. Cada una de las terrazas representa una línea de costa en el pasado durante el descenso paulatino del nivel del mar.

### Accidentes costeros

**Cabos:** Son partes de la costa que se adentran de forma aguda en el mar, como el cabo Corrientes, en la ciudad de Mar del Plata, provincia de Buenos Aires.

**Golfos:** Un golfo es una penetración de grandes dimensiones del mar en la costa formando una curva. En cada extremo suele tener un cabo. En la Patagonia son conocidos el golfo de San Matías en la provincia de Río Negro y el golfo de San Jorge entre las provincias de Chubut y Santa Cruz.

**Bahías:** Una bahía es como un golfo de dimensiones más reducidas y, en general, más abierto. Como por ejemplo la bahía de Samborombón, en provincia de Buenos Aires y bahía Grande en Santa Cruz.

**Ensenadas:** Se llama así a una bahía o un entrante de mar reducido y protegido, como por ejemplo la ensenada de Barragán en la provincia de Buenos Aires.

**Albuferas:** Cuando una bahía queda convertida en un lago, al ser cerrada su unión con el resto del mar por un cordón litoral, se forma una albufera.

**Estuarios:** Es la zona de la desembocadura de un río en la que penetra la erosión del mar.

**Deltas:** La zona amplia de la desembocadura de un río donde se depositan sedimentos por encima del nivel del agua. Estos materiales pueden proceder de la erosión fluvial, marina o de ambas.

**Rías:** Son las zonas de antiguos valles fluviales inundada por aguas marinas. La costa adquiere una morfología que puede llegar a ser muy abrupta debido a que su desembocadura esta formado por fallas, es decir que tiene origen estructural. Por ejemplo la que se observa en el río Deseado ubicado en las costas de la provincia de Santa Cruz.



**Durante el período Terciario la línea de costa del océano Atlántico se desplazó varios kilómetros al oeste de la observada actualmente.**





**Fiordos:** Es como una ría, excepto que en este caso el valle ocupado por las aguas marinas es de origen glaciar. Dado que los valles glaciares tienen forma de U, las paredes de los fiordos suelen ser muy inclinadas o verticales. Son característicos de la costa chilena.

## Playas

Sobre la línea de costa, la profundidad del mar disminuye y por lo tanto aumenta su poder de erosión. Sin embargo, como la cantidad de sedimento disponible es mayor a la velocidad de erosión, la línea de costa es una zona de acumulación.

Las playas están formadas por sedimentos sueltos que son transportados por arrastre del mar. La mayor parte de las playas del mundo están compuestas por arena aunque, en regiones de oleaje fuerte, es frecuente la presencia de gravas. La dinámica del oleaje provoca, en la faja litoral, un movimiento constante de los clastos. Estos chocan unos con otros y se van redondeando.

El tamaño de los clastos quedará determinado por el nivel de energía de los agentes erosivos que actúan en una determinada área, si el tamaño de los clastos es mayor indica claramente un ambiente de más energía.

Asimismo, en condiciones climáticas normales, las olas sólo movilizan arena; mientras que, los oleajes que actúan durante las tormentas movilizan gravas y hasta cantos rodados, que pueden modificar apreciablemente el aspecto de las playas. Los oleajes normales aportan material a la playa, engrosándola y levantándola, en tanto aquellos muy energéticos desalojan material, mar adentro. Por ejemplo durante las grandes sudestadas, tormentas con fuertes vientos del sudeste, en las costas de la provincia de Buenos Aires, el mar avanza violentamente sobre la playa. Este mar empujado y agitado por el viento erosiona la arena de la playa y cuando la violencia del viento cesa, el mar se retira arrastrando arena a zonas más profundas.

El equilibrio de las olas constructoras y destructoras depende del carácter del clima y sus variaciones estacionales.

### Formación y evolución de la playa

Los materiales de la playa son aportados por las corrientes fluviales a lo largo de la costa y son transportados por las olas y las corrientes marinas.

Una playa es producto de la acción de las mareas. ¿Cómo se forma una playa?



En un primer momento cuando las olas se acercan a la costa, avanzan rápidamente y rompen sobre el fondo con gran violencia, erosionándolo por el continuo movimiento de vaivén. Con el transcurso del tiempo, en el lugar donde rompen las olas, crece una **barra** o rompiente, que aumenta lentamente de tamaño hasta que emerge del mar.

Ahora, la acción de las olas se ve frenada por la acumulación de estas barras a cierta distancia de la costa. Es entonces cuando el oleaje ataca el depósito remodelando su configuración y desplazándolo hacia la costa y forma una playa.

Una vez formada la playa, se desarrollan nuevas barras subacuáticas que, si continúan su crecimiento serán nuevamente removidas y adosadas a la playa anterior.

Pero cada vez que el oleaje lleva material hacia la costa, el agua que retorna al mar, se lleva sedimentos de la misma. Si la fuerza del empuje de las olas, es mayor que el flujo de retorno o del agua que vuelve al mar, el depósito será desplazado en avances sucesivos hasta lograr un equilibrio. Esta playa depende de la fuerza de las olas y el calibre de las partículas, así que es muy inestable.

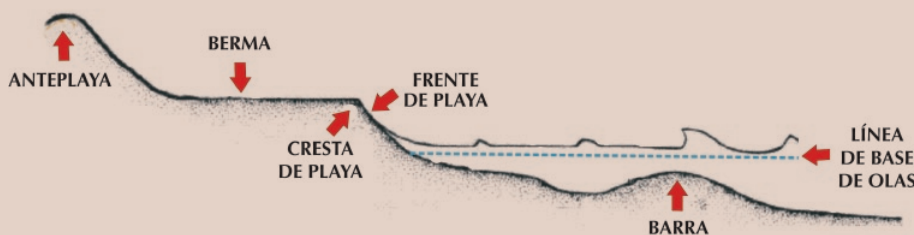
### Perfil de playa y elementos morfológicos

Trazando un corte transversal o perfil desde la tierra hacia el mar, podemos identificar tres sectores en la playa: el cordón litoral, el bajo de playa y la anteplaya.

La pendiente de todos estos sectores es muy parecida y varía en función de la topografía subyacente pero siempre es muy suave. En las playas de arenas la pendiente suele ser de unos 2°, y en las de gravas o cantos rodados puede llegar hasta los 20°.

El **cordón litoral** o **cresta de playa** es una barrera formada por la acumulación de arenas o grava situada por encima de la marea alta y paralela a la costa.

Se sitúa por encima de la marea alta que tiene lugar con el mar en calma. En su cara externa aparecen gradas de playa, escalonadas, que se corresponden con sucesivas crestas de playa formadas en diferentes momentos. En su base pueden existir surcos espaciados regularmente



Esquema de los principales elementos que se observan en un perfil de playa.





A la izquierda, playa de cantos rodados, en la provincia de Chubut. A la derecha, arriba, se muestran depósitos actuales de arenas finas con óndulas formándose en el litoral del río de la Plata. Abajo, vemos esta misma estructura con una excelente preservación del registro geológico.



y delimitados por lomas terminadas en punta, que forman crecientes de playa. Es la zona de la playa donde ponemos la sombrilla, la lona y las sillas.

Esta estructura puede haber quedado separada del litoral, en este caso suele encerrar un marisma, albufera o laguna. En la evolución de una costa, esto puede provocar la formación de una bahía.

El **bajo de playa** tiene una pendiente más suave que el cordón litoral. Es la parte de la playa que va desde el límite de la marea más alta al de la marea más baja. Es la parte de la playa en la que jugamos a la paleta, un partido de tejo o hacemos castillos de arena.

Si es arenoso o limoso se forman en su superficie surcos muy móviles llamados óndulas. Las óndulas son pequeñas elevaciones que se forman en depósitos de arenas y limos no consolidados que están sumergidos en agua en movimiento.

Se originan tanto por la acción de las aguas como por el viento, pero estas últimas son muy inestables. Las óndulas provocadas por las olas son simétricas entre sí, y nos ayudan a conocer la dirección de la corriente, mientras que las formadas por corrientes constantes o por el viento son asimétricas, y marcan no solo la dirección sino también el sentido de la corriente que la formó.





La **anteplaya** es la zona que está permanentemente sumergida. En ella aparecen barras y surcos o canaletas que se disponen en dirección más o menos oblicua a la costa. Los surcos son canales transversales por los cuales el agua vuelve mar adentro. Es el lugar de la playa donde nos bañamos.

### Playas con acantilados

En las costas que están expuestas a olas o vientos de mucha energía, domina la erosión la que da origen a acantilados. Las costas con acantilados son aquellas que terminan abruptamente en la línea de la costa, justamente por debajo del acantilado en sí mismo, y luego está la plataforma suavemente inclinada hacia el mar.

En general, los acantilados se encuentran rodeados por mares agitados donde rigen fuertes oleajes y con frecuencia aparecen vinculados a regiones montañosas, macizos antiguos o escudos precámbricos.

Inicialmente, la acción del oleaje y las corrientes marinas arranca material rocoso, lo acumula al pie del acantilado y forma un depósito. Al principio, este depósito queda bajo el agua, pero la meteorización de las olas y el posterior acarreo de los sedimentos puede ir formando una pequeña playa que puede ser arenosa, de cantos rodados o rocosa.

La acción de las mareas también es importante, ya que durante la marea alta se acumula el agua entre las rocas y durante la marea baja las deja a la intemperie y predominan los agentes atmosféricos que aceleran la meteorización química.



**Acantilado, costa de la provincia de Río Negro.**



El material que forma parte de este sistema, se encuentra en un continuo retrabajo por la erosión del oleaje, es distribuido a lo largo de las costas, donde forman playas, y más tarde es transportado por corrientes marinas hacia la plataforma continental y las partes más profundas del océano.

Los acantilados se desarrollan sobre rocas resistentes al desgaste y son lo suficientemente coherentes como para mantener la verticalidad. Habitualmente son rocas sedimentarias como calizas y cuarcitas o dolomías, aunque también pueden estar formados por rocas ígneas como basaltos o granitos.

## Albufera

La palabra albufera tiene origen en el idioma árabe y significa “pequeño mar”.

Una albufera es una laguna litoral de agua salada o ligeramente salobre, que queda separada del mar por una barra de arenas. Estas lagunas mantienen la comunicación con el océano por uno o más puntos.

Se forman por el cierre de una bahía por una gran cantidad de aporte sedimentario. Allí donde las mareas no son muy acusadas y la arena se deposita en una larga lengua próxima a la costa. De esta forma, se generan sistemas marinos semicerrados, largos y estrechos, separados del mar por una estrecha barra de arena o tierra paralela a la orilla. Poseen bajo flujo e intercambio de agua marina; el estancamiento y la alta evaporación en regiones cálidas ocasionan la precipitación de sales. Pueden ser ecosistemas complejos con abundante vegetación y fauna, en regiones templado-cálidas.

En la conocida localidad de Mar Chiquita, tenemos un importante sistema de albufera ubicada en la costa de la provincia de Buenos Aires. Alargada en sentido N-S, presenta una longitud máxima de 25 kilómetros, y no supera los 5 kilómetros de ancho. La superficie de esta laguna es de unos 46 km<sup>2</sup> pero debido a las características de costas bajas que la rodea, la fluctuación del nivel de las aguas se traduce en variaciones considerables del área de la misma; tiene una profundidad promedio de 80 centímetros con un máximo de 1,5 metros. Su origen se atribuye a las oscilaciones del nivel del mar durante los últimos 5.000 años.

La laguna de Mar Chiquita recibe el aporte de arroyos de aguas dulces, que nacen en el sistema serrano de Tandilia: los arroyos Vivoratá y Dulce. Además, cuenta con una estrecha conexión con el océano Atlántico, a través de una boca; como resultado del encuentro de agua





dulce y marina, sus aguas poseen una salinidad especial que la hace un ecosistema único. La albufera de Mar Chiquita es la única formación de su tipo en la Argentina y ello le confiere valores naturales y sociales significantes.

La zona del parque atlántico Mar Chiquita, constituye un área importante ya que presenta una gran diversidad de ambientes en una superficie relativamente reducida. Esta característica se hace evidente si realizamos un recorrido de diez kilómetros perpendicular al mar donde se pueden encontrar ambientes como: mar, playas, médanos, praderas húmedas, pastizales, albufera, marismas, bañados salobres, bañados de agua dulce, arroyos, pastizales pampeanos, talaes y lagunas de agua dulce.

## Mar adentro

Llamamos a nuestro planeta Tierra, solo por que somos organismos que evolucionamos y vivimos en ambientes continentales, en la tierra emergida. Pero visto desde el espacio, nuestro planeta sin dudas debería llamarse Agua.

Los océanos y mares ocupan casi el 75 % de la superficie de nuestro planeta y son el mayor reservorio de agua de la hidrósfera. La hidrósfera es la parte del planeta ocupada por agua líquida, océanos, mares, lagos, ríos y aguas subterráneas y agua sólida en forma de casquetes polares y glaciares.

El agua de la hidrósfera está en continuo movimiento: corrientes, olas y mareas agitan mares, lagos y ríos, los glaciares se deslizan por las montañas, los icebergs flotan a la deriva empujados por el viento y las corrientes, y miles de riachuelos atraviesan las rocas, horadan grutas y disuelven sales en su camino hacia el mar.

Así, la hidrósfera modela la litosfera, la erosiona, transporta los detritos y los acumula hasta formar nuevas estructuras geológicas. Además dado que el agua tiene un elevado calor específico, la hidrósfera constituye un enorme depósito de calor e influye de forma determinante en los climas y los vientos de las tierras emergidas.

## Mares y océanos

Los mares son grandes masas de agua salada delimitadas por archipiélagos, grandes islas o penínsulas, o por tierras relativamente cercanas entre sí. También hay grandes lagos de agua dulce que son muy extensos, profundos e importantes desde el punto de vista ambiental. Los océanos, mucho mayores, dividen los continentes y normalmen-



te alcanzan una profundidad superior a la de los mares, cubren las plataformas continentales, en otras palabras, son las zonas de fondos comprendidos entre el continente y la dorsal continental.

Aunque mares y océanos estén conectados no son homogéneos y pueden variar en cuanto a salinidad, densidad y temperatura, dependiendo fundamentalmente de la posición geográfica que ocupen en el planeta. Ya sea por la fuerte evaporación o porque las sales se disuelven más fácilmente en agua caliente, las aguas tropicales son más saladas que las de los mares fríos o de las zonas cercanas a la desembocadura de grandes ríos.

### Luz y profundidad

Los mares y océanos pueden subdividirse en función de la profundidad en zonas con características bastante homogéneas, y que determinan que flora y fauna podremos encontrar en cada región.

La **zona fótica** comprende la primera capa poco profunda, hasta 200 metros, donde llega la luz solar; aquí viven muchas algas y la oxigenación es máxima.

La **zona afótica** comprende el resto del agua. Aquí la oscuridad es parcial o total. No encontramos algas y la zona batipelágica, entre los 2.500 y 11.000 metros, es casi desierta.

Si bien la luz, es el factor principal que limita el desarrollo de la diversidad, hay que tener en cuenta que el incremento de presión del agua es proporcional a la profundidad. Cada 10 metros aumenta una atmósfera, por lo tanto a 200 metros bajo el nivel del mar, la presión es igual a 21 atmósferas, 20 por la profundidad más una de la atmósfera.

Del mismo modo, la temperatura decrece a medida que vamos hacia el fondo de forma irregular. Pero hay diferencias en distintos puntos del planeta. Por ejemplo en el la temperatura media superficial es de 30 °C, y baja a 15 °C a -250 metros, a 8 °C a -500 metros, a 5 °C a



Gráfico que ilustra las zona fótica y afótica del mar.



-1.000 metros, y se estabiliza alrededor de los 5-0 °C a 4.000 metros de profundidad. En el ecuador, la temperatura de la superficie polar, se registra a 4.000 metros de profundidad.

### Depósitos por excelencia

La mayor parte de los sedimentos que se forman como producto de la erosión y meteorización, producidos por cualquier agente tanto en la tierra como en los mismos océanos, tiene su lugar final de depositación en las regiones marinas y oceánicas. Si tenemos en cuenta que los fondos oceánicos ocupan aproximadamente el 71 % de la superficie terrestre, son las mayores cubetas de acumulación de sedimentos y por lo tanto con el mayor potencial para la formación de rocas sedimentarias como vimos en el ciclo de las rocas.

El transporte de sedimentos a estas enormes cuencas se debe principalmente a la acción de los ríos, que aporta los materiales más gruesos, y el sedimento más fino es transportado por acción del viento. Sin embargo cierta parte de los componentes de las rocas sedimentarias marinas se origina en la propia cuenca marina, por erosión de las regiones costeras o por la actividad de los organismos que viven en los océanos.

Los elementos más importantes que definen los ambientes sedimentarios marinos son: la forma de la cuenca, sus dimensiones, geometría y profundidad; la energía, corrientes, olas, mareas y tormentas; el clima, que condiciona el aporte externo y la producción de sedimentos propios; y los cambios relativos del nivel del mar

### Depósitos marinos

Los tipos de sedimentos que se encuentran en el fondo oceánico pueden clasificarse en tres tipos por su origen, pero hay que tener presente que en los fondos todos los materiales se mezclan y no son solo de un tipo.

Los sedimentos terrígenos son fundamentalmente granos de minerales que fueron meteorizados de en el continente y transportados al océano. El ritmo al cual se acumulan los sedimentos en los océanos es muy lento, ya que las partículas pueden permanecer mucho tiempo suspendidas en el agua antes de que decanten. Algunos cálculos realizados estiman que se necesitan de 5.000 a 50.000 años para que se forme una capa de 1 centímetro. Esto si que es lento.

Aunque esta tasa de sedimentación no es igual para todos los océanos, nos indica la lentitud de los procesos, que nos sirve para entender la importancia que tiene la magnitud del tiempo geológico.



Los sedimentos biogénicos están compuestos de diminutos caparzones y esqueletos de animales y algas marinas. Estos restos los producen principalmente los microorganismos que viven en la zona fótica, próximos a la superficie terrestre, y una vez muertos sus restos caen al fondo oceánico. En las zonas menos profundas, la composición de estos caparzones y esqueletos es fundamentalmente de material calcáreo, carbonato de calcio; pero a mayores profundidades y presiones, los carbonatos ya no son resistentes por lo tanto comienzan a dominar los de silicio.

Finalmente, los sedimentos hidrogénicos están formados por minerales que cristalizan directamente a partir del agua de mar a través de varias reacciones químicas.

### Un gran cuenco

El término de cuenca, en el sentido más amplio, se define como un área deprimida sin salidas en superficie. La cuenca marina representa el ambiente profundo que se desarrolla a continuación del margen continental. Si la cuenca se desarrolla sobre corteza oceánica entonces este ambiente marino también recibe el nombre de "llanura abisal". Son áreas relativamente planas, donde pueden llegar a prolongarse los valles submarinos desarrollados inicialmente en los márgenes continentales.

En el capítulo 1 habíamos diferenciado, dos tipos de márgenes continentales: activos y pasivos. La presencia de uno u otro tipo, condiciona que tipo de ambientes marinos se van a desarrollar. Los márgenes pasivos, como los que se encuentran a lo largo de las costas que rodean el océano Atlántico, experimentan poco volcanismo y terremotos. En estos tipos de márgenes, se produce la acumulación de grandes cantidades de materiales debido a que presentan una gran extensión.

Por el contrario los márgenes activos, como la costa chilena del Pacífico, son relativamente estrechos, constituidos por sedimentos muy deformados producto de la intensa actividad tectónica que allí se produce.

Los ambientes marinos que se desarrollan en márgenes continentales pasivos, se desarrollan en forma continua desde la plataforma continental hasta las profundidades del océano. En nuestro país estos ambientes se desarrollan a lo largo del margen continental argentino, que tiene una superficie de 2 millones de kilómetros, con una longitud de 2.500 kilómetros y un ancho entre 200 y 1.000 kilómetros.

### Subambiente de plataforma

Las plataformas continentales se desarrollan alrededor de las áreas continentales, y se extienden desde el ambiente de litoral hasta el



El término de cuenca, en el sentido más amplio, se define como un área deprimida sin salidas en superficie. La cuenca marina representa el ambiente profundo que se desarrolla a continuación del margen continental.



talud continental, es aquella zona relativamente poco profunda que desciende suavemente hasta su interrupción brusca. Está formada por corteza continental, por lo cual representa una extensión de los continentes que se encuentra sumergida.

La anchura de la plataforma varía considerablemente, desde unos pocos hasta más de 1.100 kilómetros y aunque el fin de la plataforma está a más o menos 200 metros de profundidad, puede variar de unos pocos metros a más de 300 metros.

Presenta pendientes suaves, salinidades normales y una de sus características principales es que los sedimentos están sometidos por la acción del oleaje, mareas, corrientes marinas y tormentas. El tipo de sedimentos es muy variable, predominando las arenas en las zonas más agitadas y próximas a las costas, y limos y arcillas finas en las zonas más alejadas y en calma. A lo largo del tiempo, la sedimentación está muy influenciada por cambios en el nivel relativo del mar, es decir procesos de transgresión y regresión.

En algunas plataformas, se han observado la presencia de valles corriéndolos por ellas. Estos valles, son continuaciones de los cursos fluviales mar adentro, los cuales se formaron cuando la plataforma estaba expuesta y no cubierta por el mar. Durante estos periodos, en las épocas glaciares, grandes volúmenes de agua se acumularon en forma de hielo, por lo cual extensos territorios de las plataformas continentales quedaron expuestas y los ríos alargaron su curso.

### Subambiente de talud

Se encuentra entre el borde de plataforma y el inicio de la cuenca de 1.400 a 3.200 metros de profundidad. Marcan el límite de la plataforma continental y por lo tanto el límite entre la corteza continental y la oceánica. Se caracteriza por presentar pendiente más alta y son zonas por lo general estrechas. En algunas regiones el talud pasa a una zona de menor pendiente, que se denomina pie de talud o elevación continental. Esta región está formada por acumulaciones de material muy grueso que se depositaron por flujos de gravedad, conocidos como corriente de turbidez, formando los abanicos submarinos. Tienen la misma forma y origen que los abanicos aluviales, es decir son depósitos gruesos que se depositan por el cambio brusco de pendiente que existe entre el talud y el pie de talud.

Los elementos más característicos de este ambiente son los valles submarinos, cañones, canales y cárcavas. Estas estructuras son las principales vías por las cuales los sedimentos llegan a los ambientes marinos más profundos. Estos cañones son abruptos, con paredes de gran pendiente, con un corte transversal en forma de "V" y "U".



**Las plataformas continentales se desarrollan alrededor de las áreas continentales, y se extienden desde el ambiente de litoral hasta el talud continental, es aquella zona relativamente poco profunda que desciende suavemente hasta su interrupción brusca.**





Los cañones se originan por la erosión producida por las masas de sedimentos que se desplazan, embebidos en agua, a altas velocidades hacia las zonas más profundas de las cuencas oceánicas.

El talud continental argentino está cortado por cañones submarinos profundos. Entre la altura de la ciudad de Buenos Aires hasta el límite entre la provincia de Río Negro y Chubut, se registran 12 cañones submarinos perpendiculares, con profundidades de 150 a 1.500 metros, entre ellos los denominados Río de La Plata, Mar del Plata y Bahía Blanca.

Frente a la Península Valdés en la provincia de Chubut, se citan cerca de 20 cañones submarinos del sistema Río Colorado-Río Negro, ubicados generalmente a partir de los 100 metros de profundidad y extendiéndose aproximadamente hasta los 4.000 metros mientras que frente al golfo de San Jorge, entre las provincias de Chubut y Santa Cruz, el sistema de cañones es más complejo, más de 30 de ellos atraviesan el talud, con profundidades entre 100 y 700 metros.

### **Subambiente abisal**

Este subambiente es el más profundo y está compuesto exclusivamente por corteza oceánica, generalmente sus pendientes son más suaves que las del talud continental y su límite externo es variable entre los 1.400 y los 4.000 metros de profundidad. Frente a nuestro país, este subambiente marino tiene un relieve muy llano y se extiende a más de 1.300 kilómetros de la costa.

Aquí la sedimentación es poco intensa y la mayor parte en los fondos oceánicos esta tapizado por material que estaba en suspensión y decantó así como restos de organismos.

Los elementos más importantes son las llanuras abisales, pero también se encuentran las cordilleras oceánicas y las fosas abisales, que interrumpen la llanura del paisaje.

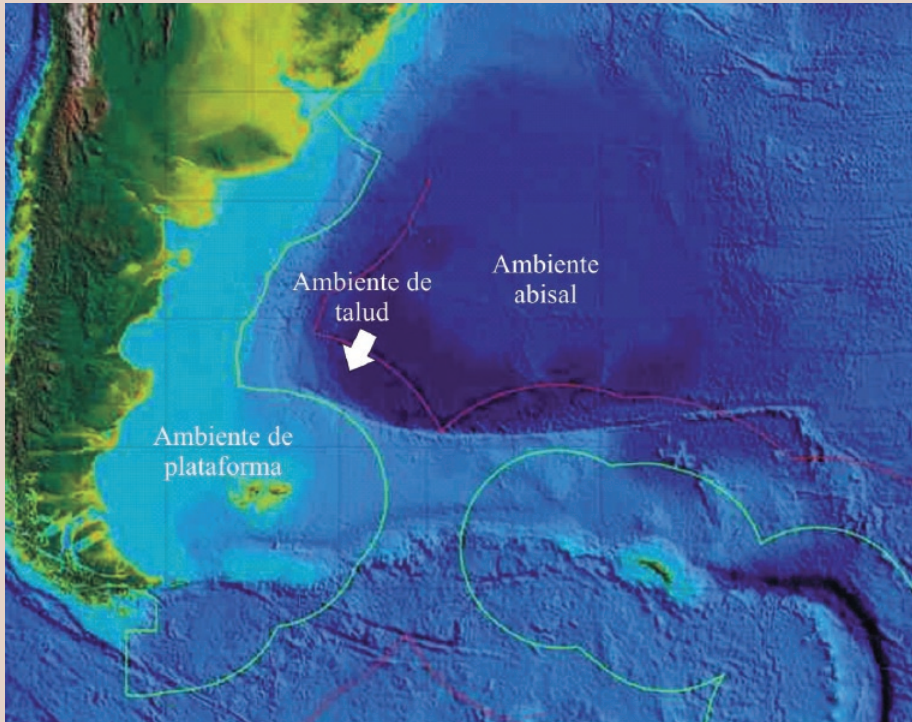
Las planicies abisales se encuentran más cerca de los continentes, mientras que los dorsales y fosas se encuentran respectivamente en los sectores en donde se produce corteza oceánica o donde se consume. En la imagen satelital se identifican los diferentes subambientes que pueden diferenciarse en el margen continental de la Argentina.

El maravilloso panorama de las profundidades oceánicas está formado por un variado terreno que presenta llanuras, elevaciones marinas, y profundos y empinados cañones.

A pesar de formarse en profundidad, los sedimentos de estos ambiente pueden, por fallas tectónicas o por un descenso muy brusco del ni-



vel del mar, aflorar y quedar expuestas. Es muy común encontrar en las laderas de una montaña, la presencia de organismos típicamente marinos, o encontrarlos en una zona, que hoy se encuentra separada del mar por miles de kilómetros o por una cordillera como la de los Andes de barrera. La presencia de estos depósitos, nos permiten estudiar no solo el fondo marino, sino también a las comunidades que lo habitaban.



**Imagen satelital que identifica los diferentes subambientes que pueden diferenciarse en el margen continental de la Argentina.**





# Capítulo 7.

# Cuestion de tiempo



## El registro geológico

Como resultado de los procesos geodinámicos externos e internos, se generan diversos relieves. En los bajos topográficos, que en geología se denominan **cuencas**, se depositan sedimentos. Estos sedimentos, se han ido acumulando con el transcurso del tiempo y han sufrido procesos físico-químicos, dando origen a las rocas sedimentarias.

Estas rocas sedimentarias conservan información sobre las áreas donde se generaron los sedimentos que las forman, el agente que transportó y sedimentó esos materiales, el tipo de clima y ambiente donde se formó y debido a la presencia de restos de organismos o signos de su actividad en las mismas, las rocas sedimentarias nos cuentan sobre la vida en los tiempos de su formación.

Si a estas le sumamos las rocas ígneas y metamórficas que dan cuenta de la actividad magmática y por lo tanto de la dinámica interna de la Tierra, el registro geológico es un gran libro, que si sabemos leerlo, nos cuenta la historia de nuestro planeta.



La primera interpretación cuidadosa y detallada de los fósiles, la aportó el genial Leonardo Da Vinci, un verdadero filósofo natural del Renacimiento.

### Da Vinci al rescate

La primera interpretación cuidadosa y detallada de los fósiles, la aportó el genial Leonardo Da Vinci, un verdadero filósofo natural del Renacimiento. Hacia el 1500, Leonardo reconoce que las valvas fósiles en las montañas del norte de Italia eran representantes de formas de vida marina antigua.

En oposición al pensamiento de la época de que las valvas habían sido dejadas allí durante el diluvio, primero concluyó, que no podían haber viajado cientos de kilómetros desde la costa en los 40 días que había durado el diluvio. Y debido a que muchas eran extremadamente frágiles y se conservaban intactas, tendrían que haberse roto durante su transporte.

Destacó que además de estar intactas, las valvas estaban agrupadas en comunidades similares a las formas actuales de las costas. Leonardo notó que existían distintas capas donde los fósiles eran abundantes, separadas por capas de rocas estériles sin fósiles. Así concluyó que varios eventos, como las inundaciones sucesivas de un río, habían dejado ese registro y no un único diluvio universal.

Un siglo más tarde, Nicolás Steno llegó a la conclusión que los fósiles se forman al mismo tiempo que las rocas sedimentarias donde ellos se encuentran. El aporte más importante de Steno fue el establecer que cada capa de roca se forma al mismo tiempo una sobre otra. Por lo tanto, si observamos una secuencia con varias capas, la capa inferior





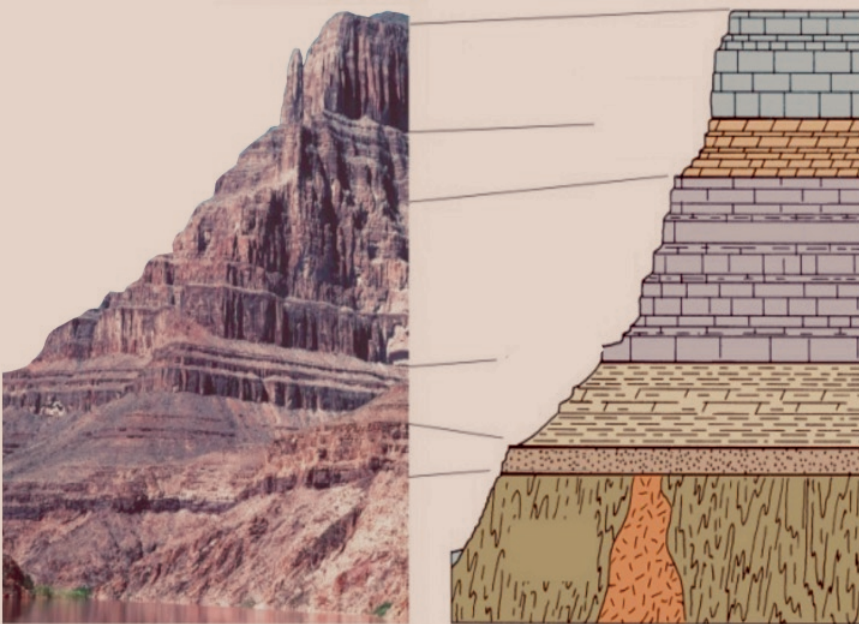
siempre es más antigua que la suprayacente. Así en 1669, Steno estableció los principios de la estratigrafía.

La estratigrafía, es una rama de la geología que estudia los cuerpos de rocas sedimentarias, reconociendo su forma, composición litológica, propiedades físicas y químicas, las relaciones de edad, la distribución geográfica y su contenido fosilífero. Todas estas características permiten reconocer y reconstruir en forma secuencial, eventos geológicos tales como el avance o retiro del mar, la aparición de plegamientos o la evolución de la vida en el transcurso del tiempo geológico.

Las unidades estratigráficas son cuerpos de roca de la corteza, individualizables y descriptos dentro de los estudios geológicos relativos a diversas regiones. Pueden ser rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas que luego son agrupadas con un propósito particular de estudio en unidades; esto significa dividir en partes el conjunto del registro estratigráfico. La clasificación estratigráfica consiste en la definición y el ordenamiento sistemático de los cuerpos de roca en unidades estratigráficas.

El registro geológico completo incluye todos los depósitos de rocas pertenecientes a todas las regiones geográficas. Como se podrán imaginar, no existe en el mundo un solo lugar donde observemos rocas de todas las edades. Por eso es imprescindible, la integración de distintas partes del registro, conocidas como columnas estratigráficas, para poder recopilar la historia completa.

Si quisiéramos construir una columna estratigráfica completa para nuestro país deberíamos, hacer uso de una de las herramientas más frecuentemente utilizadas en geología, el **principio de correlación**.



**Principio de correlación estratigráfica.**



Este principio fue propuesto por el padre de la estratigrafía: William Smith, y establece que “cualquier unidad estratigráfica, o cuerpo de rocas, puede ser comparada, estudiada y homologada con otras unidades estratigráficas, pertenezcan o no a la misma secuencia”. La correlación es el conjunto de procedimientos que nos permite establecer analogías y equivalencias entre unidades estratigráficas. En otras palabras, nos permite “atar” o vincular una columna estratigráfica con otra, aunque se encuentre en polos opuestos del globo terráqueo.

Para poder hacer una correlación estratigráfica nos valemos de distintos métodos. El método geológico intenta buscar similitudes que presentan las rocas de distintas regiones. Puede tenerse en cuenta la aparición de estratos o capas guías que son muy diferentes al resto de los estratos y que por lo tanto nos sirven de referencia, por ejemplo los depósitos de cenizas volcánicas. El método paleontológico, utiliza fósiles guías, restos de organismos que tuvieron una gran dispersión geográfica en un corto período. Los métodos geoquímicos se basan en la concentración de algún elemento químico que indica la procedencia de las rocas. Este método también permite calcular la edad de las rocas. Y hablando de edad de las rocas ¿cómo se sabe la edad de las mismas?

### El tiempo es viejo

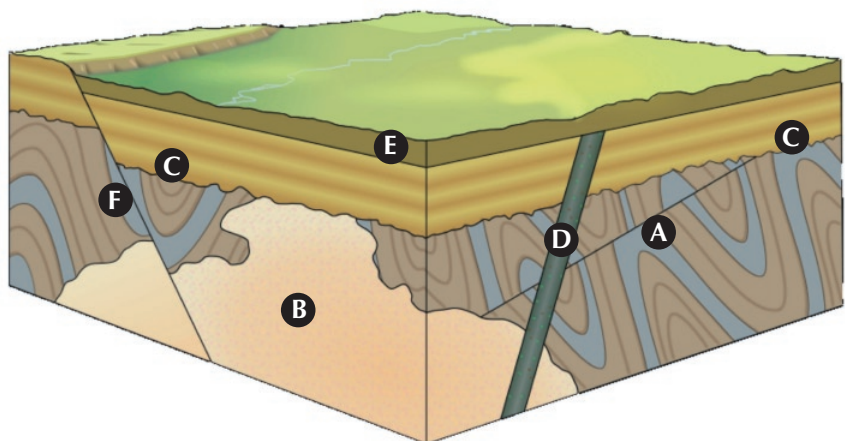
En geología existen 2 formas de enfrentar el análisis del tiempo. Una de ellas, es una aproximación en la que no hay precisión de cuándo o cuánto duraron diversos procesos geológicos, aunque si podemos saber cual fue anterior a cual y así ordenarlos. A este tipo de análisis se lo conoce como **datación relativa**.

Cuando se inicio la geología en los siglos XVII y XVIII, los naturalistas tenían escasas herramientas. Sin embargo, desarrollaron una serie de principios o reglas que les permitían ordenar los eventos geológicos que quedan registrados en las rocas. Dichos principios permiten



**Diagrama con los principios de datación relativa.**

En el block diagrama, con letras se han identificado diferentes estructuras geológicas. En este caso, aplicando el principio de relación de corte, podemos establecer el orden de los eventos tectónicos ocurridos en una región y así contar la historia geológica de la misma.



colocar los acontecimientos en su secuencia u orden apropiados sin conocer la edad absoluta en años.

Aún se utilizan en geología de campo durante las primeras fases de una investigación y son muy útiles. Algunos de estos principios son: **ley de superposición de estratos**, propuesta originalmente por Steno, que establece que en una secuencia no deformada de rocas sedimentarias o de coladas de lava, cada capa es más antigua que la que tiene encima y más joven que la que tiene debajo; el **principio de la sucesión de fauna y flora** el cual se basa en la sucesión continua e irreversible de la evolución. Ya que los organismos fósiles que se sucedieron unos a otros en un orden determinado, nos permiten tener una escala relativa; y el **principio de corte**, las fallas en un conjunto de rocas y las rocas ígneas metidas entre estas fallas son, obviamente, posteriores a las rocas que afectan.

### Padres e hijos

A comienzos del siglo XX, se descubre y da forma al concepto de radiactividad. Empieza con sus estudios Henry Bequerel y luego continúan Marie Curie y su esposo, Pierre Curie.

### ¿Qué es un elemento radiactivo?

Algunos de los elementos de la tabla periódica, como el plomo o el uranio, tienen variantes en la composición de su núcleo: tienen igual número de protones pero no de neutrones; a esas variantes del mismo elemento, se denominan **isótopos**. Los isótopos existen en la naturaleza, si bien pueden crearse artificialmente en un laboratorio.

Aquellos átomos que tienen grandes números atómicos son inestables y para permanecer en equilibrio emiten partículas de sus núcleos. Algunos pierden partículas más rápidamente que otros. Al emitirse las partículas se libera una cantidad de energía, esto se conoce como **radiactividad**.

A la pérdida de protones, neutrones o electrones de un grupo de átomos se le denomina: **decaimiento de los elementos**. Se ha logrado medir la velocidad de la emisión de dichas partículas y es característico para cada elemento de la tabla periódica. Cuando los átomos de un elemento pierden partículas de su núcleo, pueden transformarse en otro elemento. El elemento que pierde partículas se denomina elemento padre y decaen en un elemento hijo.

Si conocemos la velocidad de decaimiento y la proporción de los elementos padres e hijos que hay en las rocas, podremos conocer la **edad de cristalización** de la roca, es decir hace cuantos años se formó.

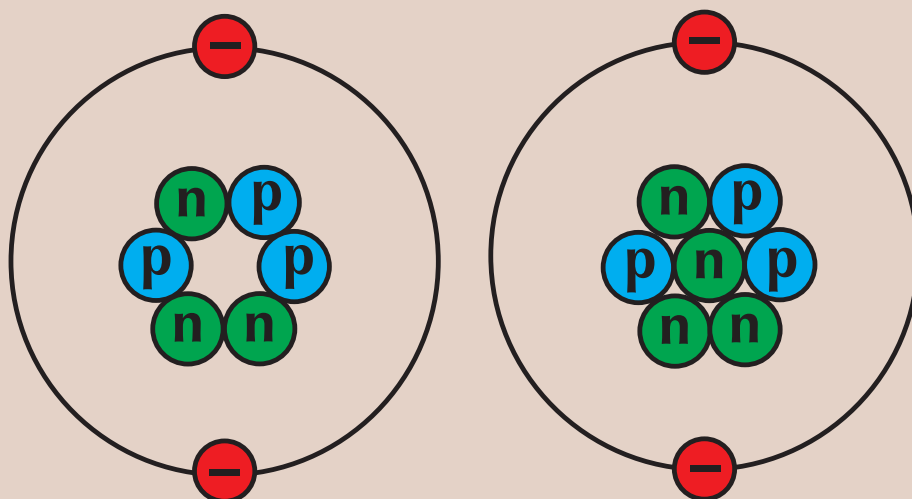


Aquellos átomos que tienen grandes números atómicos son inestables y para permanecer en equilibrio emiten partículas de sus núcleos. Algunos pierden partículas más rápidamente que otros. Al emitirse las partículas se libera una cantidad de energía, esto se conoce como radiactividad.





Isótopo de Carbono.



Los químicos y geoquímicos realizan cálculos con esta información y obtienen edades exactas. Estos métodos que se conocen como **datación absoluta**, nos dicen cuando exactamente tuvo lugar un determinado suceso geológico, pero no nos dan información respecto a otros.

Por ejemplo, las rocas volcánicas que representan erupciones volcánicas del pasado pueden ser ubicadas temporalmente, al menos se conoce el momento en que comenzó a enfriarse la lava. También se pueden analizar rocas ígneas que se cristalizaron bajo tierra y algunos minerales que están presentes en las rocas sedimentarias. Pero en el caso de las rocas sedimentarias, nos daría la edad de la roca que aportó, por meteorización, sus sedimentos y con respecto a la roca sedimentaria que los posee, sólo sabremos que tiene una edad menor.

Para estas dataciones de rocas de millones de años de antigüedad, se utilizan los pares  $^{238}\text{U}$  Uranio y su hijo el  $^{207}\text{Pb}$  Plomo y el  $^{40}\text{K}$  Potasio y su hijo el  $^{40}\text{Ar}$  Argón. Los números se refieren a la cantidad de protones y neutrones que poseen sus núcleos atómicos. ¿Y el Carbono 14?

El  $^{14}\text{C}$  es una de las variedades que se presenta del carbono en la atmósfera. Recibe este nombre por su número másico, que es 14 (la suma de 6 protones y 8 neutrones). Aparece en menor cantidad que otros isótopos del carbono como el  $^{13}\text{C}$  y el  $^{12}\text{C}$ .

El  $^{14}\text{C}$  es radiactivo y por lo tanto, inestable. Se produce en forma constante en la atmósfera cuando la radiación bombardea de átomos de nitrógeno y los transforma en  $^{14}\text{C}$ . En la atmósfera, espontáneamente se vuelve a transformar en nitrógeno.

El  $^{14}\text{C}$  está presente en el dióxido de carbono que incorporan las plantas durante la fotosíntesis, y los animales lo adquieren al alimentarse de las plantas. De esta forma todos los seres vivos tenemos una cantidad de  $^{14}\text{C}$  en nuestro cuerpo y esta cantidad se encuentra en **equilibrio** con el que existe en la atmósfera.



Desde la muerte, el  $^{14}\text{C}$  que queda en el cuerpo comienza a disminuir porque se desintegra radiactivamente. 5.370 años después de la muerte, la cantidad de  $^{14}\text{C}$  habrá disminuido a la mitad en los restos orgánicos, mientras que a los 53.700 años quedaría solamente el 0,1.



Al morir los seres vivos, dejan de intercambiar  $^{14}\text{C}$  con la atmósfera y se pierde el equilibrio. Desde la muerte, el  $^{14}\text{C}$  que quedó en el cuerpo comienza a disminuir por que se desintegra radiactivamente. 5.370 años después de la muerte, la cantidad de  $^{14}\text{C}$  habrá disminuido a la mitad en los restos orgánicos, mientras que a los 53.700 años quedaría solamente el 0,1 % del que tenía cuando estaba vivo. Si sabemos la cantidad de  $^{14}\text{C}$  presente en los restos fósiles podremos conocer cuánto tiempo lleva sin vida un organismo que estamos analizando.

En 60.000 años, no queda ni rastro del  $^{14}\text{C}$  y por lo tanto esta es la antigüedad máxima que se puede calcular con este isótopo.

Sin embargo, las concentraciones de este componente varían en la atmósfera de un lugar a otro, de un organismo a otro y de un año al otro. Los resultados obtenidos serán una aproximación del contenido promedio en una atmósfera hipotética, y a partir de ahí se calcula la edad del resto.

No solamente se pueden fechar las concentraciones de  $^{14}\text{C}$  en los anillos del tronco de un árbol o en restos arqueológicos. Con este método se pueden calcular edades de los restos de partes duras de distintos animales desde huesos hasta conchillas, inclusive se han fechado las concentraciones de  $^{14}\text{C}$  en rocas carbonáticas como aquellas presentes en los ambientes kársticas, en cuevas y cavernas.

El método del  $^{14}\text{C}$  también permite realizar estimaciones paleoclimáticas, estudios sobre sedimentos marinos y es utilizado frecuentemente para la datación de acuíferos y la obtención de condiciones meteorológicas.

## Edad de la Tierra

Desde la antigüedad hasta hoy, se ha intentado explicar qué es el tiempo; a pesar de que se percibe intuitivamente es muy difícil de explicar, porque es un concepto abstracto. Lo que sabemos es que el tiempo transcurre, que existen eventos importantes en la evolución terrestre y que podemos ordenarlos. Para los geólogos y paleontólogos, es un parámetro esencial a tener en cuenta en sus estudios.

Otra pregunta muy relacionada, que también trajo inquietud en diferentes ocasiones a lo largo de la historia, fue cuánto tiempo ha transcurrido desde la formación de la Tierra.

Las primeras aproximaciones sobre la edad de la Tierra fueron realizadas por un religioso, el Obispo Usher, en la Edad Media. A partir de la recopilación de las fechas de la Biblia, y siguiendo las generaciones



**Si sabemos la cantidad de  $^{14}\text{C}$  presente en los restos fósiles podremos conocer cuánto tiempo lleva sin vida un organismo que estamos estudiando.**





de las dinastías que se mencionan en ellas, Usher concluyó que la Tierra había sido creada hace 5.658 años.

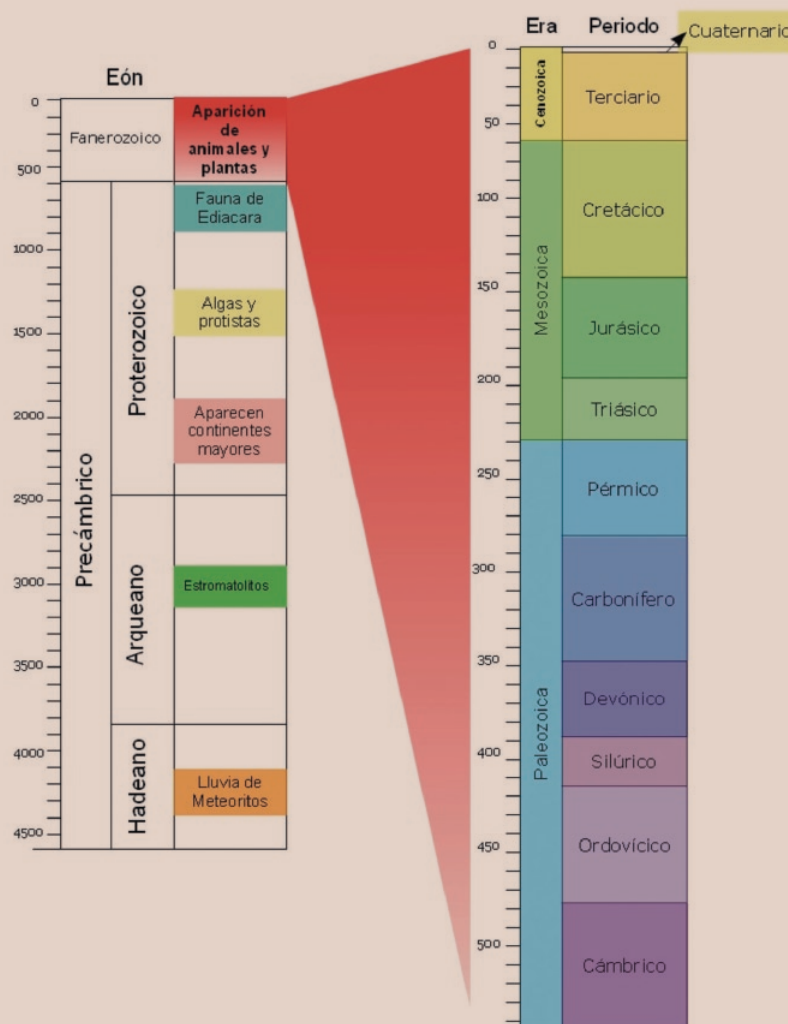
Según esta visión, la Tierra había sido un paraíso con un clima uniforme y agradable y la superficie de la misma plana. Posteriormente, el Diluvio Universal había apilado los sedimentos y rocas formando las montañas que impedían la circulación del aire y dando lugar a los climas más diversos. Luego del diluvio, la erosión permanente de la Tierra generaba la decadencia de la misma la cual culminaría en el fin del mundo. En este contexto, Martín Lutero predijo que la última catástrofe que terminaría con la Tierra ocurriría en 1560. Por suerte se equivocó.

En el siglo XVIII, James Hutton, introdujo la teoría del **uniformitarismo** y vislumbró que el tiempo geológico debía ser mucho mayor a 6.000 años. Para algunos naturalistas que intentaban dar explicaciones de la diversidad biológica, ese no era tiempo suficiente.

En el siglo XIX, un físico llamado Lord Kelvin, realizó cálculos muy precisos de la edad del sol y del enfriamiento progresivo de la Tierra. Kelvin



Gráfico que ilustra los tiempos geológicos de la Tierra.



consideraba que en sus comienzos la Tierra estaba completamente fundida y que con el paso del tiempo, la temperatura en la superficie terrestre iba disminuyendo. A partir de esas presunciones y los datos, halló una edad de entre 30 y 100 millones de años. Los geólogos estaban en desacuerdo ya que estimaban un tiempo mucho mayor.

Otros científicos estudiaron el aumento de la salinidad marina. Tengamos en cuenta el ciclo de sedimentación: la erosión de las rocas produce sedimentos que son trasladados por medio de los ríos a las costas marinas y luego depositados en las profundidades. Algunos investigadores pensaban que durante la evolución de la Tierra hubo un aumento paulatino de la concentración de sales en el agua marina. A partir de una fuente de agua dulce y de la velocidad de meteorización de las rocas por año, estimaron el tiempo en que el mar alcanzaría la salinidad actual: un valor de 90 millones de años. Pronto, esta idea fue descartada, dado que la velocidad de meteorización es variable y que se considera que la salinidad marina se ha mantenido estable desde la formación de los mares.

Con el descubrimiento de la **radiactividad**, no quedó duda que esos resultados no eran precisos. La utilización de métodos de datación radiactivos proveyó una herramienta que permite a los geólogos asignar fechas exactas, o casi exactas, y específicas a los acontecimientos de la historia de la Tierra. Las fechas obtenidas para la formación de la Tierra son de 4.500 millones de años. Algunos autores, con todo, insisten que la edad podría ser de hasta 6.000 millones de años. Las diferencias entre los fechados resultan de la utilización de distintas técnicas, del tipo de muestras empleadas en el estudio y del uso de distintos elementos radiactivos. Actualmente, se ha llegado a un consenso de 4.600 millones de años.

## El gran año geológico

Decir 4.600 millones de años es fácil, pero imaginárselos es otra cosa. Para facilitar la comprensión de lo que en realidad significan 4.600 millones de años, vamos a utilizar una analogía, comparando los 4.600 millones de años con un año, el gran año geológico (ver página siguiente).

La escala del tiempo geológico se divide en distintas unidades. El **eón** es el mayor intervalo en la escala. Se distinguen: el eón Hadeano, Arqueano, Proterozoico o de los animales iniciales y Fanerozoico o de los animales visibles.

En general, los 3 primeros se agrupan bajo el nombre de tiempos precámbricos. Los eones, a su vez, se dividen en **eras**, definidas a partir de grandes discordancias geológicas que señalan el inicio de distintos



ciclos orogénicos (formación de grandes cadenas montañosas), y que coinciden con gigantescas extinciones biológicas.

Así el eón Fanerozoico, está integrado por 3 eras: Paleozoica o de los animales antiguos, Mesozoica o de los animales medios y Cenozoica o de los animales modernos. Estas eras, están divididas en intervalos de tiempo cada vez más pequeños como los **períodos** y las **épocas**.

## EL GRAN AÑO GEOLÓGICO

1° de Enero	Se forma el sistema solar y la Tierra.
6 de Marzo	Se forman las rocas más antiguas conocidas.
4 de Mayo	Aparecen los primeros organismos fotosintetizadores.
22 de Julio	Se desarrolla una atmósfera rica en oxígeno.
7 de Noviembre	Comienzo de la era paleozoica.
16 de Noviembre	Aparecen los peces.
27 de Noviembre	Las plantas y los animales conquistaron el ambiente terrestre. Se formaron importantes depósitos de carbón.
13 de Diciembre	Los Dinosaurios poblaron la superficie de la Tierra.
15 de Diciembre	Los primeros mamíferos.
18 de Diciembre	Aparecen las primeras aves.
26 de Diciembre	Se extinguen los dinosaurios.
30 de Diciembre	Aparece nuestra familia, la de los simios antropoides
31 de Diciembre	22h 29', una especie humana aprende a usar el fuego. 23h 55'45'', surge nuestra especie, <i>Homo sapiens</i> y los grandes glaciares se retiran 23h 58'52'', se inventa la agricultura y la ganadería. 23h 59'45'', El imperio romano llega su máxima expansión. 23h 59' 57" Europa "descubre" América 23h 59' 59" Nace la geología

### Tiempos precámbricos

Se extienden desde la formación de la Tierra, hace 4.600 millones de años hasta 542 millones de años. En el año geológico, es el período más largo, casi todo el año desde el primero de enero hasta el 7 de no-



viembre. Se desconoce con exactitud la dinámica interna de la Tierra y la posición de las masas continentales para ese momento, ¿Por qué? Sencillamente por que han transcurridos muchos millones de años desde entonces y la dinámica de la Tierra ha remodelado la superficie una y otra vez en sucesivos ciclos las rocas de estos períodos, quedando muy pocas piezas dispersas por todo el mundo, que no nos permite vislumbrar como era el rompecabezas completo.

En estos tiempos se formaron los continentes, probablemente como producto de reiterados episodios de choques de masas continentales. Con la estabilización de la corteza, a fines del Proterozoico, se constituyen los primeros continentes.

A partir de este momento, los geólogos verifican procesos semejantes a los que predominan actualmente como la erosión, meteorización, depósitos de rocas sedimentarias, etc.

Han sido descriptas rocas precámbricas en todos los continentes, que por su antigüedad están muy metamorfozadas. A estas rocas muy antiguas se las denomina **cratones** o **macizos**. Los macizos son los restos de los primeros continentes que formaban la superficie terrestre. En aquellos tiempos, estas zonas eran sistemas montañosos de gran envergadura.

Las rocas y relieves más antiguos que se pueden encontrar en el actual territorio sudamericano son los que forman los macizos de Brasilia y el macizo Patagónico. En la Argentina reconocemos 3 cratones precámbricos: el cratón del Río de La Plata, el cratón Pampeano y el macizo Norpatagónico.

Como resultado de diversos ciclos orogénicos ocurridos durante el período Precámbrico, podemos encontrar rocas y estructuras montañosas, por ejemplo, en el Sistema de Tandilia con una antigüedad de 2.100 a 1.900 millones de años.

La colisión de varias microplacas generó durante el Precámbrico un supercontinente llamado Rodinia. Estaba ubicado sobre el Ecuador, es decir que en todo el continente los climas eran cálidos. Luego este supercontinente Rodinia, hacia los 1.000 millones de años, se formaron varios continentes mayores: Americano, Laurentico, Báltico y Groenlandia.

Sin embargo, no siempre fue cálido el clima. Durante el final del Precámbrico existieron glaciaciones y algunos especulan que pudieron ser las más grandes en la historia de la Tierra.

En las rocas precámbricas hay abundantes **estromatolitos**. Los estromatolitos son depósitos calcáreos que se forman por la actividad fotosintética en ambientes marinos costeros; entonces podemos afirmar



que eran muy abundantes los organismos fotosintéticos, como las cianobacterias. Los estromatolitos son comunes en muchos lugares del mundo, por ejemplo, en la provincia de Buenos Aires se los puede encontrar en las sierras Bayas, cerca de la ciudad de Olavarría, con una antigüedad de 800 a 900 millones de años, asignados al Precámbrico Superior.

En nuestro país están bien preservadas también las trazas fósiles de edad precámbrica. Las trazas fósiles son las marcas que dejan los invertebrados al alimentarse o desplazarse por el sustrato, por ejemplo *Cruziana*. Estas trazas fósiles son muy conocidas, en los sedimentos Ordovícicos de la provincia de Buenos, en las localidades de Balcarce y Punta Mogotes (cerca de Mar del Plata) y se encuentran asociadas con otras trazas, el conjunto indica que los sedimentos se depositaron en un ambiente marino de poca profundidad.

### Grandes cambios

Del 7 de noviembre al 13 de diciembre, apenas un poco más de un mes del año geológico, dura la era Paleozoica. Es la primera etapa del eón Fanerozoico y tiene lugar entre 542 y 230 millones de años. Clásicamente se divide en Paleozoico Inferior y Superior; el primero abarca los períodos Cámbrico, Ordovícico, Silúrico y Devónico; el segundo integrado por los períodos Carbonífero y Pérmico.

Los sedimentos marinos y terrestres acumulados desde fines de la era Precámbrica en el borde occidental de la placa Sudamericana, son plegados y elevados al inicio de la era Paleozoica.

Como resultado de ese movimiento, se forman la precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza; el sistema de Famatina, en la provincia de La Rioja y las sierras pampeanas que se extiende por las provincias de Córdoba, San Luis, San Juan, La Rioja, Catamarca, Tucumán y Salta. Hacia fines de la era Paleozoica se produce una nueva orogenia, que forma la cordillera Oriental (a lo largo de las provincias de Jujuy, Salta y un sector al noroeste de la de Tucumán) y la cordillera Frontal (que forma parte de los Andes centrales; desde la provincia de La Rioja hasta el lago Aluminé, en la provincia de Neuquén), y que también afecta a la precordillera y Famatina.

Durante el paleozoico, los continentes se van reuniendo y al final de esta era, dan lugar a un nuevo supercontinente, Pangea o la tierra única. Durante toda esta era también se producen movimientos epirogénicos, sobre todo de descenso del continente, lo que favorecerá la intrusión en repetidas oportunidades del mar sobre los continentes.

El clima pasó por periodos de efecto invernadero, con climas calidos, a glaciaciones. La formación de Pangea al final de esta era generó el





cambio climático más extremo conocido, un supercalentamiento global. Este calentamiento surgió como producto de la supercontinenta- lización, el freno de corrientes marinas y vientos y la enorme emisión de gases a la atmósfera por parte de los volcanes. La casi totalidad de las formas de vida desapareció dando lugar a la extinción masiva más grande de la historia del planeta.

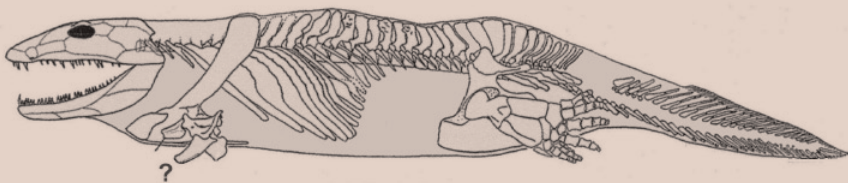
Durante el Paleozoico se desarrollaron numerosas comunidades ma- rinas, existió la transición de la vida hacia los ambientes terrestres y posteriormente la conquista de este ambiente.

En el Paleozoico Inferior, los representantes más característicos del ambiente marino son aquellos que presentan un exoes- queleto duro como los trilobites, los braquiópodos, las esponjas y también tenemos numero- sos representantes de cuerpo blando: los corales y los anélidos, entre otros. Entre los vertebrados encontramos una amplia variedad de peces que dominan los ambientes marinos costeros y profundos.



**Los trilobites, con un exoesqueleto duro, eran los representantes más característicos del ambiente marino en el Paleozoico Inferior.**

El ambiente terrestre en el Devóni- co es invadido por las plantas (que son las pioneras en este ambiente). En el Silúrico Temprano hay registro de fósiles muy importantes de plantas no vasculares terrestres en Sudamérica. Luego de la conquista por las plantas, aparecen los insectos y tetrápodos anfibios que invaden los continentes, como por ejem- plo *Icthyostega*.



**En el Silúrico Temprano aparecen los insectos y tetrápodos anfibios que invaden los continentes, como por ejemplo *Icthyostega*.**

Durante el Paleozoico Superior, si bien las comunidades marinas si- guen bien representadas con numerosos braquiópodos, se diversifica- ron los moluscos y comienzan a predominar los bivalvos, cefalópodos y gasterópodos principalmente. En el ambiente terrestre aparecen los primeros reptiles. La flora queda constituida principalmente por hele- chos con semillas y gimnospermas.



## Jurassic Park

La era Mesozoica se desarrolla entre el 13 y el 26 de diciembre, un día después de la Navidad geológica. Se desarrolla entre 250 y 65 millones de años. Es la segunda etapa de eón Fanerozoico.

La dinámica interna del planeta, fractura al supercontinente de Pangea en dos grandes masas: Laurentia al norte y Gondwana al sur. Laurentia estaba constituida por las futuras América del Norte, Groenlandia y Eurasia; mientras que Gondwana, estaba formada por las tierras que hoy forman los continentes de África, Australia, Antártida, Sudamérica e India.

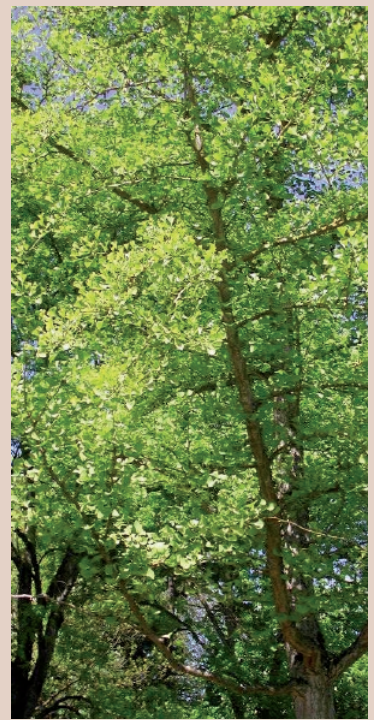
En la era Mesozoica predominan, por sobre la orogénesis o formación de montañas, los procesos de erosión y sedimentación y los procesos epirogénicos. Estos últimos son muy importantes. Por ejemplo, el mar penetra sobre las partes hundidas del macizo de Brasilia, aportando sedimentos que luego formarán parte del sustrato de las llanuras del este del territorio. También se producen intrusiones marinas por descensos epirogénicos en la Patagonia.

Si bien se trata de una era de relativa calma en lo que respecta a movimientos orogénicos, se forman por plegamiento el sistema de sierra de la Ventana y asciende el macizo patagónico.

A nivel climático, el Mesozoico es un paraíso, con un clima cálido tropical a subtropical en todo el globo. Entre algunos, podemos mencionar los depósitos de evaporitas y las areniscas rojizas, como las sedimentitas del Triásico de San Juan y La Rioja.



**El Mesozoico, con su clima cálido en todo el planeta, es conocido como la era de los dinosaurios y las gimnospermas, las coníferas, cycas (izquierda) y ginkos (derecha).**







En la Argentina hay importantes yacimientos fosilíferos, como por ejemplo en la cuenca triásica de Talampaya-Ischigualasto (fotografía), en las provincias de La Rioja y San Juan respectivamente.



El Mesozoico es conocido como la era de los dinosaurios y las gimnospermas, las coníferas, cycas y ginkos. Durante esta era aparecen las aves y también los mamíferos. A finales del Mesozoico aparecen los primeros representantes de las plantas con flor.

En la Argentina hay importantes yacimientos fosilíferos, muy bien conservados, como por ejemplo, en la cuenca triásica de Talampaya-Ischigualasto, en la provincia de La Rioja y San Juan ó en el Triásico continental de la cuenca neuquina.

En el ambiente marino, entre los invertebrados dominaban los moluscos: los amonites (cefalópodos; sus conchillas alcanzaban tamaños de hasta 2 metros de diámetro) y los bivalvos. También otro grupo importante dentro de los cefalópodos eran los belemnites. Los corales se hacen muy abundantes y aparecen los arrecifes coralinos tal cual los conocemos hoy en día. Los reptiles marinos más importantes, eran los plesiosaurios y los ictiosaurios.



Un amonite, molusco marino del Mesozoico.



En la Argentina, podemos destacar los fósiles provenientes de las cuencas Neuquina y Austral, con preservación excepcional en muchos casos.

### Tiempos modernos

Los últimos 5 días del año geológico corresponde a la última era, llamada Cenozoica. Comienza a los 65 millones de años, con la extinción de los dinosaurios y continúa hasta la actualidad. Comprende dos períodos: Terciario y Cuaternario.

Durante el Mesozoico los continentes actuales se han separado y comienzan a chocar entre si. La nueva distribución de los continentes genera nuevas corrientes oceánicas y atmosféricas y el clima se torna más diverso. Esto da lugar a una gran actividad tectónica y cambios climáticos pronunciados. Si bien, la distribución de los continentes, era muy similar a la actual, podemos mencionar 3 eventos importantes. Hace 40 millones de años, la India colisiona con Asia formando la cadena montañosa de los Himalayas que continúan su ascenso durante 20 millones de años.

A comienzos del Mioceno, 23 millones de años atrás, se produjo el levantamiento de la cordillera de los Andes, cambiando notablemente el relieve y por supuesto el clima de Sudamérica. Es el último proceso orogénico de gran magnitud que afecta al actual territorio argentino y que aún persiste; de hecho, la cordillera continúa ascendiendo, en promedio, un centímetro por año.

Esta orogenia también provoca el levantamiento de América Central, que conecta Sudamérica con Norteamérica, modificando la circulación de las corrientes oceánicas. Sin embargo la presencia de América Central es esporádica y Sudamérica evoluciona como una isla.

También transformó la mayoría de los relieves que ya existían en nuestro territorio. Por ejemplo, fractura y levanta la Puna, las cordilleras Oriental y Frontal, la precordillera, las sierras pampeanas y hasta impacta sistemas tan alejados como Tandilia. Otros bloques se hundieron y fueron cubiertos por capas de sedimentos, lo que favoreció la formación de relieves de planicies y llanuras.

A lo largo de la historia geológica del actual territorio argentino se producen diversas glaciaciones, es decir, procesos de aumento del área cubierta por hielos a causa de un descenso en la temperatura media del planeta. La alternancia de periodos fríos y secos (glaciares) con periodos cálidos y húmedos (interglaciares) se repite al menos 10 veces a lo largo de esta era.

El último gran período de glaciaciones comenzó hace 1.800.000 años



y finalizó hace 12.000 años, aproximadamente. Se pueden reconocer cuatro glaciaciones en las cuales se formaron mantos de hielo de varios kilómetros de espesor que se extendieron, en algunos casos, hasta el sur de la actual provincia de Buenos Aires. El área más afectada por estos procesos han sido los Andes patagónico-fueguinos y la zona de islas entre las que se destaca la isla Grande de Tierra del Fuego. En las zonas afectadas por la glaciación, el peso y el roce de los hielos modificaron relieves preexistentes, originaron por ejemplo, cuencas y valles anchos y dieron lugar a los lagos patagónicos.

En esta era, los mamíferos y las plantas con flor (angiospermas) dominaron los continentes. Las aves también se diversificaron a partir de unas pocas formas que sobrevivieron la extinción del límite Cretácico-Terciario.

## Un poco de historia argentina

En los inicios de la historia latinoamericana, con la conquista española, surgen los primeros cronistas del territorio sudamericano. Estos fueron exploradores españoles, que intentaban obtener nuevas rutas en los extensos territorios, desconocidos por ellos. Contribuyeron principalmente con la construcción del conocimiento geográfico, haciendo las bases de una cartografía que resultó imprescindible para asentar también sobre ella, los primeros intentos del saber geológico.

El interés sobre la naturaleza de estos territorios, se promovió únicamente por razones políticas y económicas que rigieron a la conquista y colonización americana. De este modo, el norte, el noroeste y el sector centro-oeste, poseedores de ricas minas de plata, se conocieron más rápidamente y mejor que las áreas orientales y australes, que fueron exploradas más tardíamente, hacia fines del siglo XVIII.

Pueden destacarse entre los aportes iniciales, referencias casuales de carácter geológico y paleontológico, como el hallazgo de depósitos de carbón, sal y petróleo, y otros yacimientos minerales.

Durante los procesos de independencia de las colonias sudamericanas queda postergada la realización de estudios de ésta índole, hasta las primeras décadas del siglo XIX. En la Argentina, las bases de la geología quedan fundadas por aquellos naturalistas europeos, que con una mayor madurez en el campo geológico, les tocó iniciar la labor como **precursores**.

## Francia contra Inglaterra

En 1827, enviado por el Museo de Historia Natural de Paris en viaje de exploración científica, llega Alcides D'Orbigny, un naturalista



A lo largo de la historia geológica del actual territorio argentino se producen diversas glaciaciones, es decir, procesos de aumento del área cubierta por hielos a causa de un descenso en la temperatura media del planeta.







Primer mapa de Sudamérica, data del siglo XVII.



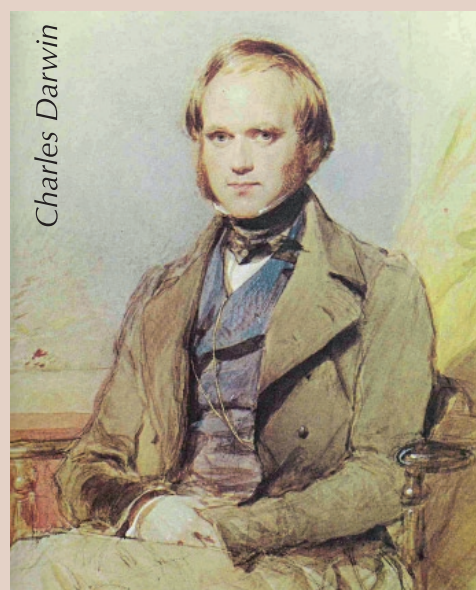
En la Argentina, las bases de la geología quedan fundadas por aquellos naturalistas europeos, que con una mayor madurez en el campo geológico, les tocó iniciar la labor como precursores.

francés, a Buenos Aires. Remontó el río Paraná, pasando casi un año en Corrientes, escribiendo un ensayo sobre las secuencias cenozoicas. Luego visitó las regiones de Tandil y Bahía Blanca, y regresó a Buenos Aires en 1829.

En su concepción catastrofista, que defendía junto a Cuvier, escribe una obra muy extensa (publicada en 1842) en la que, clasifica una importante colección de fósiles marinos, ámbito en el cual ya había adquirido prestigio en Europa. No sólo quedó impresionado por la variabilidad de las faunas fósiles sudamericanas sino que, incluye en su obra, un relato histórico referido a Brasil, Paraguay, Argentina, Chile, Perú y Bolivia.

En 1831, como parte de la tripulación del navío Beagle, al mando del capitán Fitz Roy, llega a la Argentina Charles Darwin: un joven de 22 años y ferviente defensor de las ideas gradualistas publicadas en *Los Principios de la Geología*, por Charles Lyell.

En Buenos Aires, Darwin recorrió la costa e hizo observaciones en Tandil y en Sierra de la Ventana, confirmando y ampliando los conocimientos de



D'Orbigny, reconoció la similitud de las rocas de Tandil con las observadas en Uruguay y destacó las características estructurales de las mismas. Reconoció las secuencias terciarias presentes a lo largo de las costas patagónicas así como los afloramientos devónicos de las islas Malvinas. Sus descripciones incluyen Tierra del Fuego, donde estudió la litología y estructura de los depósitos, dando cuenta de la presencia de estratos arcillosos cretácicos.

Luego de recorrer la costa chilena, Darwin decidió cruzar la cordillera a la altura del Valle de Uco y así llegó a la ciudad de Mendoza, donde permaneció sólo por un día. El regreso a Chile lo hizo por el camino de Villavicencio, paso obligado al país vecino por aquellas épocas. Realizó el trazado de la geología del lugar, donde descubrió un yacimiento de árboles petrificados que es el primero descubierto en Sudamérica: el bosque petrificado del Triásico de Paramillos. Es por la potencia de las secuencias presentes en el cruce de Uspallata, de miles de metros, que queda impresionado. Éste viaje provocó en Darwin un cambio de concepción sobre el tiempo geológico y la evolución. Volvió a Inglaterra en 1835 y años después escribió un tratado postulando su *Teoría del origen de las especies* (publicado en 1859), base de la biología actual.

Para 1863 llega al país August Bravard, un ingeniero francés que se había dedicado a la explotación de minas de plomo. Llegado a la Argentina, la Confederación le ofreció el puesto de la dirección del Museo Público de Buenos Aires (actual Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia), cargo que no aceptó y que luego tomaría Burmeister. Bravard, fue asignado en 1857, como director del Museo Nacional de Paraná, debido a sus destacados antecedentes: realizó trabajos de investigación en la boca del Riachuelo, en Recoleta y en los alrededores de Bahía Blanca, produciendo el primer mapa geológico de la región. Así mismo, estudió los depósitos de loess de la llanura pampeana y les asignó un origen eólico. En el transcurso de su trabajo, logró hacer una importante colección de fósiles que luego vendió al Museo de Londres. Murió en el terremoto de Mendoza en 1861.

Contemporáneamente, en 1860, se acelera el movimiento científico argentino, por la activa presencia del naturalista Germán Burmeister (director del Museo Público de Buenos Aires por más de 30 años). Cabe señalar, varias obras de su autoría y de las contribuciones a la mejor organización de las instituciones existentes. Fue uno de los ideólogos, junto al presidente Domingo F. Sarmiento, en la creación de la Academia Nacional de Ciencias, con sede en la provincia de Córdoba.

La Academia Nacional de Ciencias fue fundada en 1869, como un importante centro de investigación y estudios. El fin principal, era que pudieran prepararse los profesionales argentinos con criterio propio,



**En Buenos Aires, Darwin recorrió la costa e hizo observaciones en Tandil y en Sierra de la Ventana, confirmando y ampliando los conocimientos de D'Orbigny, reconoció la similitud de las rocas de Tandil con las observadas en Uruguay y destacó las características estructurales de las mismas.**



que les permitiera conocer el potencial de los recursos naturales disponibles. Sarmiento, autorizó la contratación de unos veinte científicos europeos que cubrieran las áreas de ciencias exactas y naturales: química, botánica, zoología, física, matemática y geología.

### Nace la geología argentina

Al hablar del verdadero fundador de la geología argentina, nos referimos al Dr. Alfredo Stelzner, quien llegó a Córdoba en 1871 contratado por la Academia de Ciencias. Con una sólida formación en mineralogía y geología, inició los estudios sistemáticos del suelo en nuestro país e introdujo el uso del microscopio petrológico. Entre sus actividades, se cuenta la fundación del Museo de Mineralogía de Córdoba, que contiene una colección importante de muestras preparadas por él mismo. También la realización de 2 extensos viajes abarcando parte de Córdoba, Tucumán, La Rioja, Catamarca, San Juan y Mendoza, cruzando a Chile. Regresó a Alemania en 1874, para publicar gran parte de su obra.

Los hermanos Ameghino, para 1875, comenzaron a producir gran parte de sus trabajos geológicos, paleontológicos y antropológicos. Florentino Ameghino, con unas 20.000 páginas publicadas, fue el responsable de la introducción en la ciencia argentina de las ideas evolucionistas promulgadas por Darwin y Wallace. Carlos Ameghino, colaborador permanente, fue autor de los esquemas estratigráficos que sirvieron como base de estudios posteriores. La labor de este equipo fue destacada en numerosas oportunidades por investigadores de renombre mundial. Según George S. Simpson (1954) la excelencia y contundencia de sus aportes, contribuyeron a la consolidación de un ámbito científico en nuestro país.

En 1872 se funda la Sociedad Científica Argentina. Fue el fruto de un pequeño grupo de profesionales y estudiantes argentinos, entre los que figuraban Estanislao Zeballos y el ingeniero Huergo.



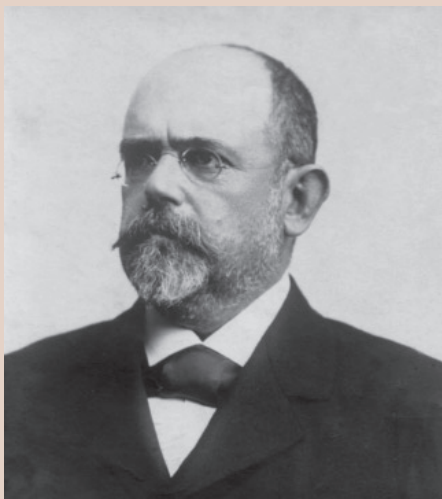
Carlos Ameghino



Florentino Ameghino



Mediante una ley provincial promulgada en 1877 en la ciudad de Buenos Aires, entonces capital de la provincia, se fundó el Museo Antropológico y Arqueológico de Buenos Aires, gracias a las colecciones donadas por Francisco P. Moreno. Estas colecciones luego serían trasladadas a la nueva capital de la provincia y se convertirían en el núcleo del Museo de La Plata en 1884. Moreno, fue un autodidacta y un hombre muy activo, que intervino como perito en los conflictos limítrofes con



*Francisco P. Moreno*

Chile estableciendo como frontera las cumbres que fueran divisorias de aguas. Además, llevó a cabo expediciones a la cordillera de los Andes desde Cuyo hasta la Puna para observar las fronteras, y realizó también un relevamiento topográfico y geológico de la provincia de Buenos Aires.

Impulsado por los trabajos de Ameghino, cuyas colecciones se expusieron en Europa, se despertó un interés, sobre la riqueza de nuestro patrimonio a nivel mundial. Se suceden entonces, una serie de exploraciones internacionales lideradas por científicos de renombre, como: Santiago Bove y Carlos Spegazzini, ambos de origen italiano; o los suizos Carl Burckhardt y Leo Werhli, que en 1897, realizan expediciones para el Museo de La Plata.

A pesar de la entusiasta influencia de personalidades importantes, como Burmeister, se reveló poco interés en la incorporación de futuros investigadores al ámbito universitario propiamente argentino. Los mencionados hasta ahora (Muñiz, Ameghino, Zeballos y Moreno), son autodidactas sin formación académica específica (al menos en las ciencias naturales), que sobresalen por su talento e ímpetu vocacional. Ellos fueron los responsables de emprender exploraciones y trabajos científicos con apoyo, en muchas ocasiones, de instituciones como la Sociedad Argentina Científica y el Instituto Geográfico Argentino.

### **Exploración y estudio**

A comienzos del siglo XX, se descubrieron varios puntos de importancia económica como los pozos de petróleo en Comodoro Rivadavia (1907) ó la explotación de las minas de carbón de Río Turbio. En función del activo desarrollo de la actividad minera y petrolera en el país se fundan dos instituciones estatales para asegurar la regulación de nuestros recursos: Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) y Yacimientos Carboníferos Fiscales (YCF), empresas activas hasta su privatización



durante la década de 1990, que sirvieron de gran impulso a la hora de financiar nuevos proyectos de investigación e ingeniería.

Uno de los geólogos argentinos más destacados, en nuestro país, fue el Dr. Pablo Groeber, quien a pedido del Servicio Geológico Nacional, llega a la Argentina en 1911.

Ahí se inicia su gigantesca obra. Fue maestro de varias generaciones, dado que enseñó geografía física en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires entre 1935 y 1952, y casi simultáneamente geología general y geología histórica en el Museo de La Plata entre 1933 y 1952. Osvaldo Bracaccini, Emilio Aparicio, Horacio Camacho, Juan Carlos Turner, Pedro Stipanovic, Armando Leanza, Edgardo Roller, entre otros, fueron alumnos y discípulos que junto a él, sentaron las bases de nuestro conocimiento actual.



*Pablo Groeber*

Hoy nuestro país cuenta con una gran cantidad de geólogos, profesionales e investigadores de nivel internacional.

Existen en nuestro país numerosas instituciones donde se dicta la carrera de geólogo o de Licenciado en Geología: Universidad Nacional de la Patagonia, Salta, Tucumán, La Pampa, San Juan, Jujuy, Córdoba, Buenos Aires, Catamarca, La Plata y Río Cuarto. A partir de las universidades y su articulación con el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) se han desarrollado números institutos abocados al estudio de la geología en sus distintas aplicaciones.



## Bibliografía

- Caminos, R. 1999. Geología argentina. Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales (SEGEMAR) y Servicio Geológico Minero Argentino. 810 páginas.
- Iriondo, M. 2007. Introducción a la geología. Editorial Brujas, 3ª Edición. 236 páginas.
- Tarbuck E. J. y F. K. Lutgens. 2005. Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física. Madrid: Pearson Prentice Hall, 8ª Edición. 736 páginas.
- Sánchez, T. M. 2006. Historia de la vida en pocas palabras. Córdoba: Universidad Nacional. 203 páginas.

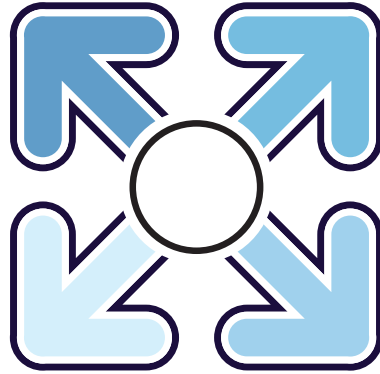
### Portales de Internet recomendados

- Fundación de Historia Natural "Félix de Azara": [www.fundacionazara.org.ar](http://www.fundacionazara.org.ar)
- Instituto Nacional del Agua (INA): [www.ina.gov.ar](http://www.ina.gov.ar)
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar)
- Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO):  
[www.dgisrv15.unt.edu.ar/fcsnat/insugeo](http://www.dgisrv15.unt.edu.ar/fcsnat/insugeo)
- Museo Argentino de Ciencias Naturales (MACN): [www.macn.secyt.gov.ar](http://www.macn.secyt.gov.ar)
- Museo de La Plata: [www.fcnym.unlp.edu.ar](http://www.fcnym.unlp.edu.ar)
- Proyecto Paleomap, mapas y reconstrucciones 3D de la Tierra: [www.scotese.com](http://www.scotese.com)
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación: [www.ambiente.gov.ar](http://www.ambiente.gov.ar)
- Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR): [www.segemar.gov.ar](http://www.segemar.gov.ar)





# MIRADAS



## DE LA ARGENTINA

Descubriendo el patrimonio  
natural y cultural del país

Los cuadernos “**Miradas de la Argentina**” producidos por el Ministerio de Educación de la Nación y la Fundación de Historia Natural Félix de Azara son un complemento de las lecturas que docentes y estudiantes necesitan en la actualidad, ya que las temáticas que se han seleccionado, están directamente vinculadas con los programas curriculares de enseñanza de los distintos niveles, cubriendo varios aspectos de interés general para la sociedad.

Sugerentes títulos forman la serie: **La historia de la Tierra contada desde el sur del mundo.** Geología argentina; **Los que aquí vivieron.** Paleontología argentina; **La naturaleza de la patria.** Valor y cuidado de la biodiversidad argentina; **Desde adentro.** Las comunidades originarias de la Argentina; **Casas de cosas.** Museos, monumentos y sitios históricos de la Argentina; **De pinceles y acuarelas.** Patrimonio artístico argentino; y **Aunque no la veamos, la cultura está.** Patrimonio intangible de la Argentina.

En el caso de **La historia de la Tierra contada desde el sur del mundo**, se presenta –a cargo de las biólogas y paleontólogas María Florencia Pisano y Karen Halpern, con la coordinación de Tristán Simanauskas– a nuestro planeta como una unidad dinámica que se encuentra en constante cambio; para que el lector conozca y comprenda cómo ha variado la configuración interna y externa de la Tierra a lo largo de su historia, y cómo esos procesos que la han modelado a lo largo de miles de millones de años, continúan su trabajo, actuando hoy a la vista de todos.