

# **GEOLOGÍA**

## **IMPRESINDIBLE**

# **GEOLOGÍA**

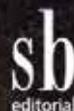
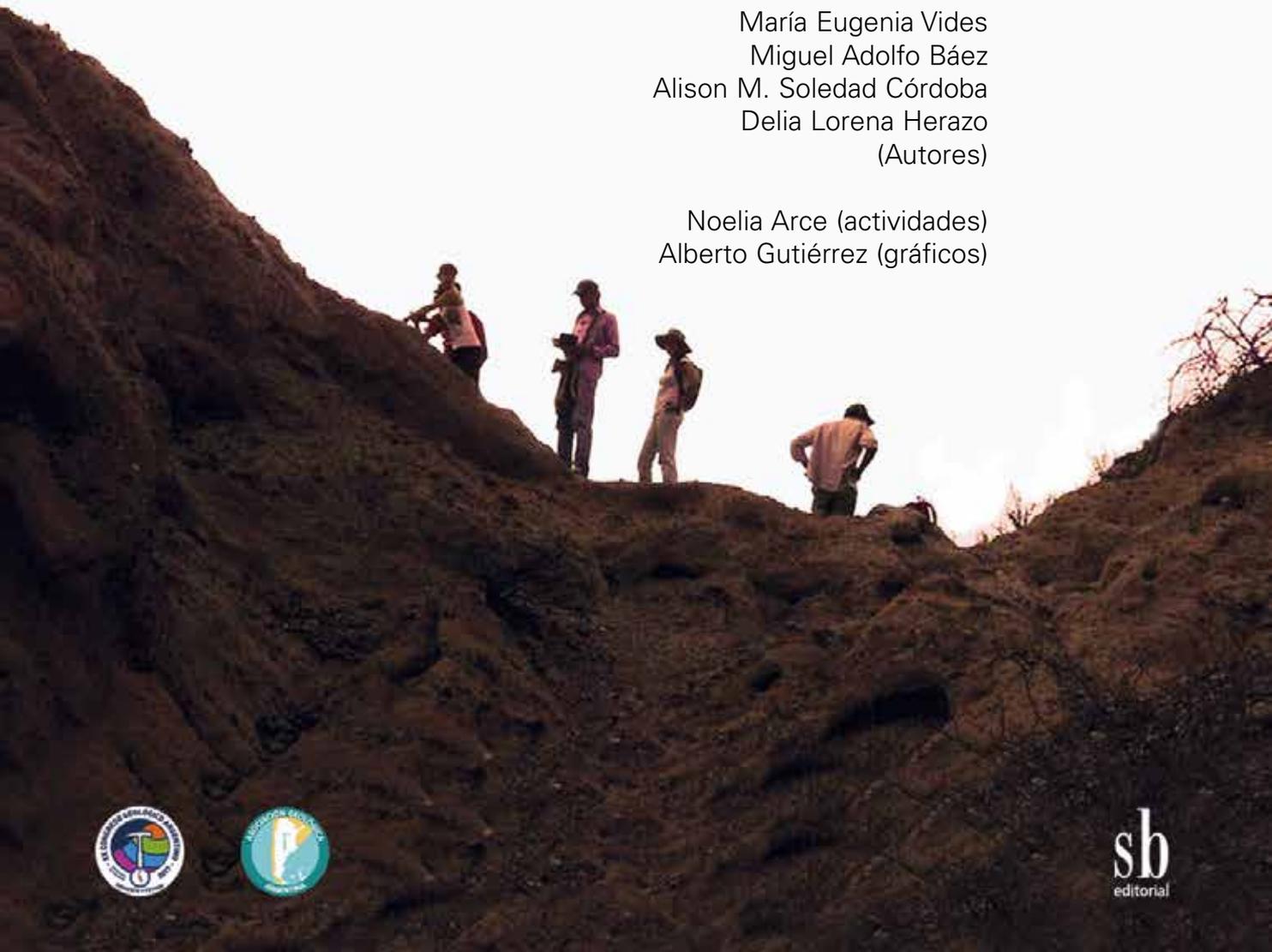
## **IMPRESINDIBLE**

**Contenidos para enseñar las  
Ciencias de la Tierra en la escuela secundaria**

José Pablo López  
(Editor)

Sergio Nieva  
Verónica Rosas  
Carlos Bazán  
María Eugenia Vides  
Miguel Adolfo Báez  
Alison M. Soledad Córdoba  
Delia Lorena Herazo  
(Autores)

Noelia Arce (actividades)  
Alberto Gutiérrez (gráficos)



# índice

## Capítulo 1

### Conociendo nuestro hogar

#### 1.1. La Geología como Ciencia de la Naturaleza 14

¿Qué es la Geología? . . . . .	14
¿Cómo se estudia la Geología? . . . . .	15
Relación de la Geología con otras Ciencias .	16
Algunos Principios Básicos de la Geología . .	16
El Marco Espacio-temporal de los Procesos Geológicos . . . . .	17
Relojes geológicos: dataciones relativas y dataciones absolutas . . . . .	17
Actividades • Glosario. . . . .	19

#### 1.2. Las esferas de la Vida 20

Las esferas de la vida . . . . .	20
Geósfera . . . . .	20
Suelo . . . . .	24
Hidrosfera. . . . .	27
Atmósfera. . . . .	28
Actividades • Glosario. . . . .	30

#### 1.3. Minerales y rocas 31

Minerales . . . . .	31
Formación de los minerales. . . . .	32
Clasificación de los minerales . . . . .	33
Propiedades Físicas de los Minerales . . . . .	35
Las rocas: ¿qué son y cómo se forman?. . . . .	38
Concepto de Roca. . . . .	38
Clasificación de Rocas . . . . .	38
Rocas Ígneas: un origen incandescente . . . . .	39
Clasificación de Rocas Ígneas . . . . .	40
Formas de yacer . . . . .	41
Rocas Sedimentarias: de polvo a roca . . . . .	42
Clasificación de Rocas Sedimentarias . . . . .	42

Procesos Sedimentarios. . . . .	44
Ambientes Sedimentarios . . . . .	45
Rocas Metamórficas: todo cambia, todo se transforma . . . . .	47
Metamorfismo regional dinamotérmico. . . . .	49
Metamorfismo de contacto. . . . .	49
Metamorfismo de soterramiento. . . . .	50
El ciclo de las rocas: una historia continua .	51
Actividades • Glosario. . . . .	52

## Capítulo 2

### La tierra se transforma

#### 2.1. Geodinámica externa 54

¿Qué es la Geodinámica? . . . . .	54
Geodinámica externa . . . . .	55
Meteorización. . . . .	56
Erosión . . . . .	57
Actividades • Glosario. . . . .	64

#### 2.2. Geodinámica interna 65

¿Qué es la geodinámica interna y qué procesos incluye? . . . . .	65
Pliegues . . . . .	66
Fracturas: Fallas y Diaclasas . . . . .	67

#### 2.3. Tectónica de Placas 69

Teoría de Tectónica de Placas . . . . .	69
Deriva Continental . . . . .	69
Límites de Placas . . . . .	71
La evolución de los Supercontinentes . . . . .	74
Teoría de Convección del Manto . . . . .	75

## **2.4. Volcanes y terremotos 77**

La actividad volcánica, partes de un volcán	77
Estilos eruptivos	78
¿Qué son los Terremotos?	80
Ondas sísmicas	81
Magnitud e Intensidad	83
Actividades • Glosario	86

## **Capítulo 3**

### **El hombre necesita de la tierra**

#### **3.1 Recursos Minerales 88**

Los minerales a lo largo de la civilización	88
Recursos Naturales	90
Recursos Minerales y su uso racional	91
Minerales estratégicos del siglo XXI	92
Tierras Raras	93
Litio	93
Leyes que regulan la Actividad Minera	94
Actividades • Glosario	96

#### **3.2 Minería 97**

Minería metalífera y no metalífera	97
Rocas de aplicación y piedras preciosas y semipreciosas	100
Minería y Ambiente	101
Impactos en el ambiente	102
Evaluación de Impacto Ambiental	105
La minería en nuestra vida	106
Actividades • Glosario	108

#### **3.3. El agua 109**

Agua y sociedad	109
El origen del agua en el planeta	109
El Ciclo Hidrológico	110
El Agua Superficial y el Agua Subterránea	111
Pozos para extracción de aguas subterráneas	114
Aguas termales	116
Actividades • Glosario	117

#### **3.4. Fuentes de Energía 118**

Energías renovables y no renovables	118
Combustibles fósiles	121
Origen y yacimiento de los combustibles sólidos	121
Energía Nuclear	125
El camino del Uranio	126
Centrales nucleares en Argentina	127
Actividades • Glosario	128

#### **3.5. Los riesgos geológicos 129**

Conceptos básicos	129
Componentes del riesgo geológico	130
Sismos	130
Volcanes	131
Inundaciones	133
Tipos de los procesos geológicos	134
Actividades • Glosario	135



# Punto de partida

Quienes hicimos de la Geología nuestro medio de vida, quienes encontramos en ella el punto ideal en el que converge la responsabilidad del trabajo y el disfrute de conocer su naturaleza, nos sentimos agradecidos por compartir diariamente la posibilidad de aprender, enseñar y sorprendernos del universo de las Ciencias de la Tierra.

Así surgió, hace ya muchos años, el anhelo personal de compartir esta pasión, de invitar a la aventura de conocer nuestro planeta a todo espíritu inquieto y ávido de nuevos conocimientos.

Y esta idea esperó pacientemente hasta encontrar las condiciones adecuadas para transformarse de deseo personal a un logro en conjunto. Este anhelo contó, desde el minuto cero, con el apoyo absoluto y la fuerza necesaria de mis compañeros de la Junta Ejecutiva del XX Congreso Geológico Argentino, quienes desde que escucharon la propuesta sólo tuvieron palabras de aliento y no escatimaron esfuerzos para que hoy este libro sea una realidad.

Por supuesto que finalmente esta quimera prosperó gracias a los colegas dispuestos a comprometerse y participar que se sumaron inmediatamente al Proyecto.

A poco de andar, tuvimos el valiosísimo apoyo de reconocidos especialistas que no sólo nos alentaron con entusiasmo, sino que también trabajaron duro haciendo una lectura crítica del manuscrito y sin cuyas sugerencias y correcciones nunca habiéramos llegado a un producto final del cual nos sentimos orgullosos. Me refiero al Dr. Héctor Lacreu, a quien además agradezco profundamente por su prólogo y al Dr. José Selles Martínez. Una mención muy especial y agradecida a los colegas de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán que también realizaron sus aportes significativos para alcanzar la meta.



Y el objetivo planteado con este libro fue el de dar un paso más, en hacer un pequeño aporte para la divulgación de nuestra querida Geología. Está muy claro que la comunidad en general sabe muy poco del significado de la geología en la vida cotidiana y mucho menos de lo que hace un geólogo.

Nuestra ciencia sólo cobra alguna relevancia cuando acontece un desastre natural y poco más; en las escuelas muchas veces se enseñan conceptos errados (ríos subterráneos o el interior del planeta líquido). A partir de este desconocimiento y de la mala información es lógico que surjan los prejuicios, que en el caso de la actividad minera alcanza su punto más crítico.

Este libro está destinado, en parte, para que los docentes de las escuelas medias dispongan de una herramienta útil y accesible, que les permita acercar la geología a sus alumnos, desde la perspectiva de su propia especialidad. Profesores de materias directamente relacionadas con las Ciencias de la Tierra, como geografía y biología; de disciplinas auxiliares, como física o química; hasta otras, en principio menos relacionadas, como historia, ética o artes plásticas, que encontrarán en este libro material de apoyo y de trabajo. Una serie de actividades les permitirá un aprendizaje mucho más allá de estas páginas y un glosario de palabras técnicas facilitará una comprensión más fácil de los conceptos y procesos tratados.

Quienes participamos de este proyecto tenemos la esperanza de haber alcanzado el objetivo propuesto, en el que la rigurosidad científica se entrelaza con un estilo llano y ameno para permitir a cualquier lector interesado y curioso conocer y aprender un poco más sobre los misterios que guarda celosamente nuestro planeta.

José Pablo López  
Tucumán, abril 2017



# Prólogo

Se trata de un libro introductorio a las Ciencias de la Tierra, pensado y elaborado de manera accesible para docentes y para un público adulto que se sienta atraído por conocer cómo funciona el Planeta Tierra, de qué manera se estudia su evolución y cuáles son las razones por las cuales la geología es la única ciencia capaz de reconstruir la historia de la Tierra.

El libro contiene una selección de temas geológicos que responden a los diseños curriculares de la educación primaria y secundaria vigentes en la Argentina. A diferencia de los tradicionales que circulan en el mercado, los ejemplos y fotografías tanto como sus autores son de nuestro país. Por tales motivos, destaco la importancia de contar con un texto que refleje las necesidades del contexto en el que va a ser utilizado.

El presente libro viene a cubrir un vacío en la bibliografía destinada a los docentes que necesitan recurrir a una fuente de formación e información confiable sobre diferentes temas de las Ciencias de la Tierra y también como soporte para los cursos de capacitación/actualización que habitualmente se ofrecen desde los programas de articulación entre las Universidades y las Provincias.

Sus autores son egresados de la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo de la Universidad Nacional de Tucumán a quienes agradezco su confianza para permitirme una lectura previa de los originales y el aporte de algunas sugerencias. Ello, me permitió reconocer la voluntad para encarar un complejo proceso de transposición didáctica que requirió selección de temas, secuenciación y empleo de un lenguaje accesible, evitando la terminología erudita y abstrusa para el público al que está dirigido el texto. El resultado de este esfuerzo se ve concretado en el volumen que el lector/alumno/curioso tiene en sus manos y que sin duda es perfectible. Sin embargo, las nuevas revisiones y su eventual mejoramiento, solo será posible gracias a esta fundamental primera versión y a su utilización crítica y reflexiva durante los cursos de capacitación/actualización de docentes para el que fue concebido.



### Conociendo nuestro Hogar

Es el primer capítulo que ofrece aspectos introductorios y fundamentales que permiten comprender que es la Geología, así como su importancia como uno de los pilares de las Ciencias Naturales. También explica cuáles son sus aportes al conocimiento de la Tierra y a las metodologías que utilizan los geólogos para la construcción de conocimientos en esta disciplina científica. Se completa el Capítulo con la presentación de los rasgos generales de la estructura del planeta, para finalizar con la presentación de conceptos y ejemplos sobre los diferentes materiales sólidos (minerales, rocas y suelos, presentes en la Geósfera).

### La Tierra se transforma

Es el segundo capítulo en el que se da cuenta de la dinámica terrestre y, contrariamente a la inmutabilidad del paisaje que sugiere la intuición, se pone en evidencia que muy lejos de ello, lo único que es continuo y permanente en el Planeta son los cambios. Se analizan los procesos de la geodinámica externa e interna y sus principales efectos reflejados en la Tectónica de Placas, así como en el volcanismo y sismicidad asociados.

### El hombre necesita a la Tierra

Es el tercer y último capítulo. En él se presentan los recursos naturales y los riesgos de origen geológico que, por un lado, satisfacen las necesidades del hombre y, por otro, amenazan su existencia. Sobre la base de los conceptos presentados en los dos capítulos anteriores, se desarrollan los principales contenidos curriculares que deberán tenerse en consideración cada vez que se analicen problemáticas ambientales. Por otro lado, se destaca la incorporación de aspectos mineros legales propios de la Argentina e importantes consideraciones ambientales y ejemplos de nuestro país.

Se destaca el buen criterio de concluir cada tópico con actividades y un glosario que serán de utilidad para alcanzar una mejor comprensión del texto. Algunas de las actividades proponen la reflexión sobre el tema desarrollado, otras sugieren la profundización utilizando nuevos recursos y, en conjunto, constituyen una fuente de inspiración para que los docentes, a partir de sus conocimientos didácticos, puedan diseñar actividades adecuadas al nivel de sus alumnos.

El último capítulo introduce un enfoque innovador ya que propone una instancia superadora de la mera enunciación, habitual en los textos de las ciencias sociales.



En efecto, desarrolla y explica con claridad los procesos geológicos que permiten comprender el origen y evolución de cada uno de los recursos y riesgos de tal manera que los docentes podrán utilizarlos para encontrar el sentido de sus propios aprendizajes y transmitirlo en la posterior enseñanza destinada a la alfabetización geológica de los futuros ciudadanos.

Cabe agregar que la mayoría de los conflictos ambientales emergen de emprendimientos insustentables derivados tanto de la manera en que se plantean algunas intervenciones privadas o estatales en relación con los recursos naturales, como de ocasionales actos de mala praxis técnico-profesional y/o del déficit en los controles de las autoridades jurisdiccionales.

Así, suele suceder que los perjuicios resultantes sean presentados como daños colaterales que "deben" ser naturalizados/tolerados por la sociedad que demanda dichos recursos. Lejos de ello, la alfabetización geológica debe procurar la desnaturalización de los conflictos y junto con otras disciplinas, ayudar a deconstruir las verdaderas raíces de dichos problemas.

Una de las estrategias para evitar y/o minimizar los problemas ambientales es la activa participación de los ciudadanos en las Audiencias Públicas que prevé la legislación ambiental. Sin embargo, dicha participación para que sea conducente requiere de ciudadanos geológicamente alfabetizados. De esta manera podrán percibir la razonabilidad científica, económica y política, de emprendimientos que pretenden utilizar a los recursos y al territorio violando los principios del desarrollo sustentable y actuar en consecuencia.

Para concluir, debo destacar el trabajo de equipo que posibilitó la elaboración de este libro, felicitar a sus autores, al coordinador, Dr. José Pablo López y a la Asociación Geológica Argentina por el apoyo brindado para su publicación, que constituye un eslabón fundamental dentro del programa institucional para la capacitación de docentes que enseñan Ciencias de la Tierra.

En fin, se trata de un libro pionero y una hipótesis de trabajo pensada para resolver las demandas de apoyo bibliográfico por parte de los docentes que desean capacitarse para enseñar unas Ciencias de la Tierra que tengan sentido y sean útiles para la formación de ciudadanos.

[Dr. Héctor Luis Lacreu - Universidad Nacional de San Luis.  
Doctor en Ciencias Geológicas - Especialista en docencia univesitaria]



# Conociendo nuestro hogar

“Vi el ángel en el  
mármol y tallé  
hasta que lo puse  
en libertad.”

(Miguel Ángel)

## capítulo 1

Autores:  
José Pablo López  
Sergio Nieva  
Verónica Rosas

## 1.1. La Geología como Ciencia de la Naturaleza

> ¿Qué es la Geología? > ¿Cómo se estudia la Geología? > Relación de la Geología con otras Ciencias > Algunos principios básicos de la Geología > El Marco Espacio > Tiempo de los Procesos Geológicos > El Marco Espacio-Temporal de los procesos geológicos > Relojes geológicos: dataciones relativas y dataciones absolutas.

### ¿Qué es la Geología?

Nuestro planeta es un sistema complejo y dinámico en el que interactúan numerosos fenómenos tanto a nivel de su superficie como en profundidad y en constante **cambio**. Comprender la naturaleza y el funcionamiento de tales procesos, es uno de los mayores retos a los que se ha enfrentado el Hombre y la **Geología** nos muestra el camino para conseguirlo.

La Geología es una ciencia que, fundamentalmente, estudia nuestro planeta desde el punto de vista de su composición, origen y evolución a lo largo del tiempo.

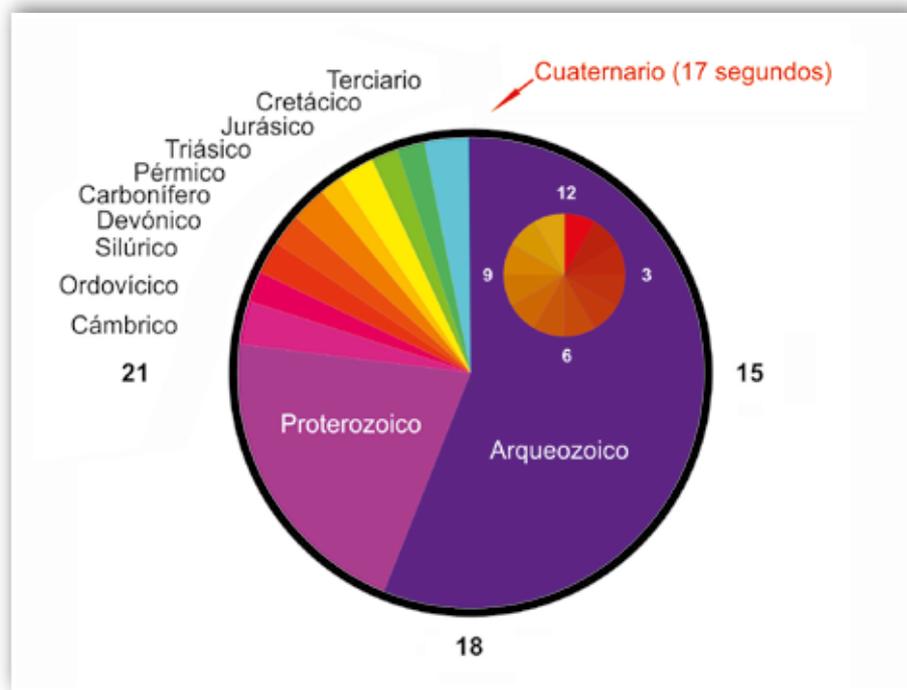
Geología (geo: Tierra; y logos: estudio) tradicionalmente puede abordarse desde dos puntos de vista que, en conjunto, permiten obtener una visión más amplia y general:

- ◆ la **Geología Física**, que se enfoca en el estudio de los materiales que componen nuestro planeta y los procesos físico-químicos que actúan sobre ellos.



Materiales de nuestro planeta

- ♦ la **Geología Histórica**, que procura ordenar cronológicamente los múltiples cambios físicos y biológicos que han ocurrido a lo largo de la historia de nuestro planeta. Se trata de un aspecto estrechamente ligado al marco espacio-temporal en el cual tiene lugar la evolución de la Tierra y de la vida.



El tiempo geológico

En nuestro planeta se producen múltiples **cambios rápidos y violentos**, como una erupción volcánica o grandes deslizamiento de tierra y, a la vez, hay otros más significativos, que tienen lugar durante enormes lapsos y que no podemos ver por lo breve de nuestras vidas; tal el caso de desplazamiento de áreas continentales, la apertura o cierre de océanos.

Si bien la Geología analiza y estudia exhaustivamente a la Tierra como un cuerpo planetario individual, no se puede ignorar su contexto cósmico. Ligados a los avances tecnológicos, los estudios geológicos han sido relacionados con la exploración planetaria y de diversos cuerpos celestes, dando lugar a lo que se conoce como **Geología Planetaria o Astrogeología**, encargada del estudio a diversas escalas del origen, evolución y distribución de la materia condensada en el Universo, en forma de planetas, satélites, cometas, asteroides y partículas.

## ¿Cómo se estudia la Geología?

El estudio de la Geología requiere del mayor laboratorio del mundo: el propio planeta. Para adentrarnos en el mundo de la geología es necesario que nos alejemos de las ciudades y nos internemos en lugares donde la naturaleza aún guarda celosamente sus secretos. Es allí, en ese terreno, donde se inicia el viaje del descubrimiento y donde echamos mano a nuestra primera herramienta: la **observación**.

## Actividades

1. Realizar un cuadro comparativo entre los modelos estático y dinámico de la geósfera.
2. Investigar las principales discontinuidades de la geósfera y cuáles son sus características.
3. Buscar en internet videos o animaciones que muestren la interacción entre las capas mencionadas en el texto. ¿Cómo se manifiestan, en la superficie terrestre, las mencionadas interacciones?
4. Construir un muro de imágenes titulado "la falta de agua en el mundo". El muro debe dejar en claro cómo influye en la sociedad la escasez de agua.
5. Investigar cuáles son los principales reservorios de agua dulce del planeta. Mencione al menos tres.
6. ¿A qué se denomina agujero de ozono? ¿Qué podemos hacer para evitar el crecimiento de los mismos? ¿Sobre qué regiones del planeta se ubican? Marque en un mapa.
7. Investigar sobre la constitución de la radiación cósmica y las reacciones químicas que se producen al interaccionar con la atmósfera.

## Glosario

**Biósfera:** Delgada zona de la superficie de la Tierra en la que se desarrollan todos sus organismos vivos.

**Condensación:** Se denomina al proceso en el cual se produce el cambio de estado de la materia que se encuentra en estado gaseoso y pasa a estado líquido.

**Convección:** Fluctuación, transferencia o circulación de energía, controlada por la densidad y el calor, a través de la cual el material inicialmente se calienta y se vuelve relativamente menos denso, luego se eleva, se enfría y se vuelve relativamente más denso, hasta que finalmente se hunde. En la Tierra, el calentamiento radiogénico hace que la convección aparezca en el manto y podría controlar los movimientos de las placas tectónicas.

**Discontinuidad de Mohorovicic (Moho o M):** Discontinuidad que marca la separación entre corteza y manto. Las ondas sísmicas por encima de ella tienen una velocidad de 2,7 km/s, mientras que por debajo saltan bruscamente pasan a 8,1 km/s.

**Fotosíntesis:** Procesos por los cuales los organismos, tales como plantas y algas, usan la energía solar para convertir agua y CO<sub>2</sub> en carbohidratos y oxígeno.

**Placa litosférica:** Segmento rígidos de la litósfera que puede moverse independientemente de los otros.

**Precipitación:** Proceso que permite obtener un sólido a partir de un líquido.

**Sistema estabilizado:** Sistema en el que si un miembro del mismo tiene pérdidas, se compensa con adiciones en los demás.

## 1.3. Minerales y rocas

> **Minerales: definición, formación, clasificación, propiedades físicas**  
> **Las rocas: ¿qué son y cómo se forman?** > **Concepto de roca** > **Clasificación de rocas** > **Rocas Ígneas: un origen incandescente** > **Clasificación. Formas de yacer** > **Rocas Sedimentarias: de polvo a roca**  
> **Clasificación. Procesos sedimentarios** > **Ambientes sedimentarios** > **Rocas Metamórficas: todo cambia, todo se transforma** > **Metamorfismo Regional** > **Metamorfismo de Contacto** > **Metamorfismo de Soterramiento** > **Ciclo de las rocas: una historia continua.**

En este Capítulo nos centraremos en el estudio de los minerales y las rocas: los primeros son los elementos constitutivos de las rocas las que, a su vez, conforman los registros de la historia de nuestro planeta. Ambos ayudan a determinar la composición y estructura de la Tierra.

En primer lugar definiremos **minerales**, veremos cómo se forman y cómo se clasifican, para luego volcar nuestra atención a los principales tipos de **rocas**, modeladas a partir de esos minerales y que reflejan el entorno geológico en el que se forman.

### Minerales

Los geólogos definen un mineral como una sustancia homogénea, cristalina, sólida, natural, generalmente inorgánica y con una composición química definida.

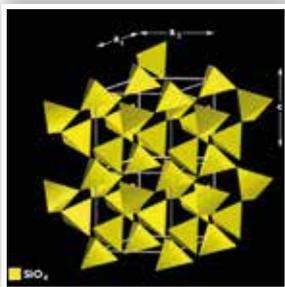
Examinemos ahora, cada parte de esta definición:

Que sean *homogéneos* se refiere a que cuando un mineral es dividido mecánicamente, sus fragmentos son idénticos entre sí y al sólido original. *Naturalmente* indica que, para calificar como mineral, una sustancia debe haberse formado en la naturaleza, sin intervención humana. Los minerales no son líquidos ni gases, es decir, son *sustancias sólidas* y *cristalinas*, o lo que es igual, significa que las diminutas partículas de materia o átomos que lo componen están dispuestos de manera ordenada, repetitiva y conformando una matriz tridimensional. *Generalmente inorgánicos* se refiere a que se excluye a las sustancias orgánicas producidas por plantas y cuerpos de animales, aunque existen excepciones.

*Con una composición química específica:* la clave para entender la composición de los materiales de la Tierra yace en conocer cómo se organizan los elementos químicos en la constitución de los minerales. Lo que hace único a cada mineral es su composición química y la disposición de sus átomos en una estructura interna.

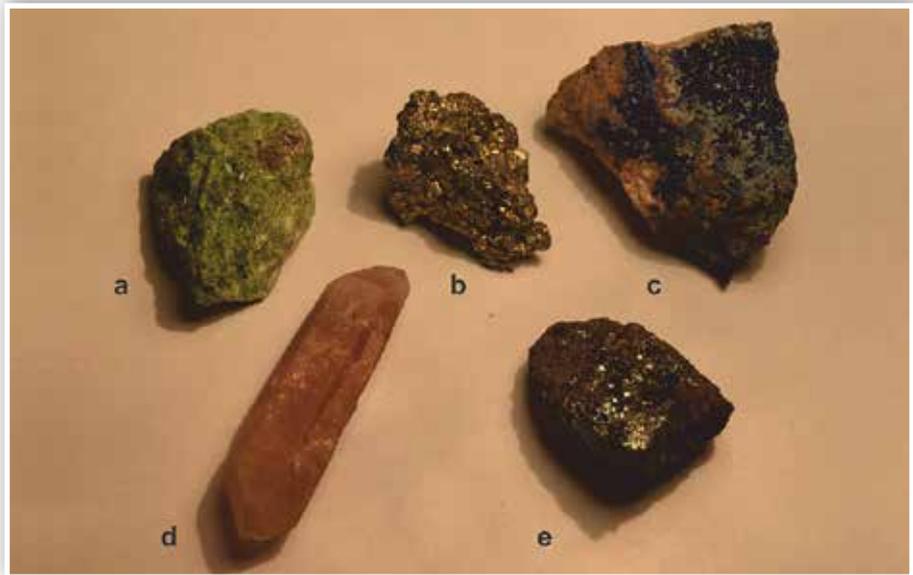


- Los diamantes extraídos en el sur África, por ejemplo, son minerales. Mientras que los producidos en laboratorios industriales (mediante el proceso de síntesis) no son minerales.
- Materiales sólidos que no tienen una disposición ordenada se denominan vidrios o amorfos (sin forma) y no son considerados, convencionalmente, minerales.
- La materia orgánica se compone de Carbono orgánico, la forma de carbono que se encuentra en todos los organismos, vivos o muertos. La vegetación descompuesta en ambientes húmedos puede transformarse geológicamente en carbón, pero aunque puede encontrarse en depósitos naturales, el carbón no se considera un mineral. Sin embargo, muchos minerales son secretados por organismos. Uno de estos minerales es la calcita, que forma las conchas de las ostras y muchos otros organismos marinos contienen carbono inorgánico.



Estructura cristalina del feldespato en el que átomos de Si se unen a átomos de O en tetraedros tridimensionales

La composición química de un mineral es fija o varía dentro de límites definidos. El cuarzo, por ejemplo, tiene una relación fija de dos átomos de oxígeno a uno de silicio. Esta relación nunca varía, aunque el cuarzo se encuentra en muchos tipos diferentes de rocas. Asimismo, los elementos químicos que componen el mineral olivino (Fe, Mg, O y Si) siempre tienen la misma relación. Aunque el número de átomos de hierro y magnesio puede variar, la suma de esos dos átomos en relación con el número de átomos de silicio siempre se mantiene igual.



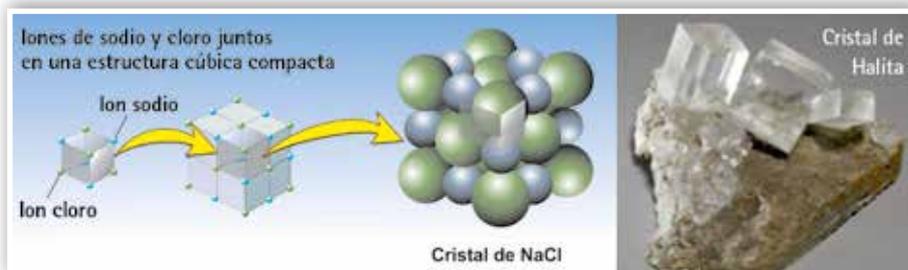
Minerales. a) Actinolita, b) Pirita, c) Azurita, d) Cuarzo hematítico f) Hematita

## Formación de los minerales

Al bajar la temperatura de un líquido por debajo de su punto de congelación se inicia el proceso de *cristalización*. En el agua, por ejemplo, 0°C es la temperatura por debajo de la cual comienzan a formarse cristales de hielo. Del mismo modo, un **magma**, que se define como una masa de roca caliente y fundida, cristaliza en minerales sólidos cuando se enfría. Cuando la temperatura de un magma desciende por debajo de su **punto de fusión\*** –que puede ser mayor a 1000°C, dependiendo de los elementos que contiene– comienzan a formarse cristales de minerales. Bajo las presiones y temperaturas del interior de la Tierra, los átomos de silicio, se unen en tetraedros, y cada tetraedro se conecta a otro, construyendo una estructura tridimensional regular.

La cristalización también puede ocurrir cuando líquidos se evaporan a partir de una solución, en cuyo caso se habla más bien de **precipitación**. Es lo que ocurre cuando el agua se evapora de una solución salina y se va provocando una sobresaturación salina, hasta que la solución ya no puede contener más sal disuelta. Si continúa la evaporación, la sal comienza a precipitar como cristales. Depósitos de sal de mesa (halita) se forma cuando agua de mar se evapora hasta alcanzar el punto de saturación.

Los iones sodio y cloruro también cristalizan en una matriz tridimensional ordenada que forman cristales cúbicos de Cloruro de Sodio. La geometría de su disposición iónica permite que cada ion de un tipo se encuentre rodeado por seis iones de la otra clase, en una serie de estructuras cúbicas que se extiende en tres direcciones.



Estructura cristalina de la sal común de mesa (halita)

Finalmente, un tercer concepto relacionado con la formación de cristales es el de **sublimación**: aunque la formación de un mineral a partir de un vapor es menos común que de una disolución o de un fundido, los principios básicos son muy parecidos para ambos. A medida que el vapor se enfría los átomos o moléculas separadas se van aproximando entre sí hasta formar eventualmente un sólido. El ejemplo más común es la formación de cristales de azufre a partir de **fumarolas\*** volcánicas.

## Clasificación de los minerales

Aunque se conocen muchos miles de minerales, sólo 30 son los más comunes, los que a su vez contribuyen a la conformación de la mayoría de las rocas de la corteza terrestre. Por ello se conocen como **minerales formadores de rocas**. Su número relativamente pequeño está en relación directa con el pequeño grupo de elementos químicos más abundantes en la capa externa de la geósfera.

Todas las sustancias minerales en la Tierra pueden ser agrupadas en 12 diferentes Clases Minerales en base a su composición química y estructura interna.

Estas Clases Minerales son:

1. Elementos Nativos	7. Nitratos
2. Sulfuros	8. Boratos
3. Sulfosales	9. Fosfatos
4. Óxidos	10. Sulfatos
5. Haluros	11. Tungstos
6. Carbonatos	12. Silicatos



Algunos minerales, como el cobre, ocurren naturalmente como elementos puros no ionizados que se clasifican como *elementos nativos*. Sin embargo, la mayoría de los minerales se clasifica teniendo en cuenta sus aniones. Por ejemplo, el *Olivino* se clasifica como un silicato por su anión silicato,  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  o la *Halita*, se clasifica como haluro debido al anión  $\text{Cl}^-$ .

A continuación se describen brevemente algunas de las clases más comunes de minerales:

**Elementos nativos:** Cerca de 20 elementos ocurren naturalmente como minerales en Estado Nativo. Menos de diez, sin embargo, son lo bastante común como para ser de importancia económica. Oro, plata, platino y cobre, entre ellos.

**Sulfuros:** En este grupo, es el azufre (S) el que se combina con uno o más metales y muchos son minerales muy importantes económicamente. Constituyen las fuentes principales de cobre, plomo, zinc, molibdeno, plata y cobalto, entre los más importantes.

**Óxidos:** Los óxidos forman un numeroso grupo de minerales en el que el oxígeno se combina con uno o más metales. Los principales minerales de hierro, manganeso, estaño, cromo, uranio, titanio, entre otros, son óxidos. Un ejemplo es *Hematita* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) se encuentra en muchos tipos de rocas y es el mineral más abundante del hierro.

**Carbonatos:** Son minerales compuestos por el complejo aniónico carbonato  $(\text{CO}_3)^{-2}$  y son la base de dos minerales, calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  que son los principales constituyentes de piedra caliza y dolomita, de gran importancia en la industria de la construcción.

**Fosfatos:** Contienen el anión complejo  $(\text{PO}_4)^{-3}$  y el principal mineral de este grupo es el *Apatito*,  $\text{Ca}_5(\text{F,Cl,OH})(\text{PO}_4)_3$ , constituyente de los huesos y dientes y un fertilizante esencial en la agricultura moderna.

**Sulfatos:** Son minerales que contienen el anión complejo sulfato  $(\text{SO}_4)^{-2}$  unidos a cationes metálicos. Ejemplo, *Yeso* ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y *Anhidrita* ( $\text{CaSO}_4$ ) que son dos minerales industriales importantes y se forman por la evaporación de agua salada de mares o lagos.

**Silicatos:** Son el grupo de minerales más abundante en la corteza terrestre, constituyendo el 95% de su composición. Ello se debe a que están compuestos por el complejo aniónico  $(\text{SiO}_4)^{-4}$ , que incluye a los dos elementos más abundantes de la capa externa de la Tierra, principalmente en combinación con cationes de otros elementos.

## Propiedades Físicas de los Minerales

Los geólogos utilizan su conocimiento de la composición química y de la estructura mineral para comprender los orígenes de las rocas y las condiciones de su formación, como veremos más adelante en este Capítulo.

El primer paso para alcanzar este objetivo es el de identificar los minerales que componen una roca. Estas determinaciones se pueden realizar mediante métodos sofisticados que incluyen rayos X, análisis químicos y otras técnicas.

Sin embargo, los minerales más comunes se pueden reconocer a simple vista o con ensayos muy simples. En ambos casos se parte del concepto de que la composición química y la estructura cristalina que caracteriza de manera singular a cada mineral son responsables del color, aspecto externo, dureza, densidad, etc.

Se trata de las **propiedades físicas** y, a través de su determinación, es posible identificar a los minerales. Las más importantes son las siguientes:

**Dureza:** Es una medida de la facilidad con que la superficie de un mineral puede rayarse. Así como el diamante, el mineral más duro conocido, raya al vidrio, un cristal de cuarzo, raya al feldespato, debido a que es más duro que éste.

En 1822 Friedrich Mohs, un mineralogista austriaco, ideó una escala relativa (ahora conocida como la escala de dureza de Mohs) que se basa en la capacidad de un mineral para rayar a otro. Sigue siendo, aún hoy, una de las mejores herramientas prácticas para identificar un mineral desconocido.

Dureza	Mineral	Comentario
1	Talco	Se puede rayar fácilmente con la uña
2	Yeso	Se puede rayar con la uña con más dificultad
3	Calcita	Se puede rayar con una moneda de cobre
4	Fluorita	Se puede rayar con un cuchillo
5	Apatito	Se puede rayar difícilmente con un cuchillo
6	Ortoclasa	Se puede rayar con una lija de acero
7	Cuarzo	Raya el vidrio
8	Topacio	Raya a todos los anteriores. Esmeralda
9	Corindón	Zafiros y rubíes son formas de corindón
10	Diamante	Es el mineral natural más duro

Escala de Mohs



**Clivaje:** Así se define a la tendencia de un mineral a dividirse a lo largo de superficies planares. El clivaje varía inversamente con la fuerza de los **enlaces químicos\*** entre sus iones: a causa de su fuerza, los **enlaces covalentes\*** generalmente producen un clivaje pobre o ausente mientras que los **enlaces iónicos\*** son relativamente débiles, por lo que producen un buen clivaje.

Todos los enlaces en el diamante son covalentes, pero algunos, en algunos planos, están más débilmente unidos que otros. Así, el mineral más duro que existe presenta clivaje a lo largo de estos planos más débiles para producir superficies planas perfectas. Otro ejemplo es la muscovita, un mineral que puede dividirse a lo largo de superficies lisas, planas y paralelas, formando láminas transparentes de menos de un milímetro de espesor. Este excelente clivaje resulta de la debilidad relativa de los enlaces entre sus capas.



Excelente clivaje en muscovita

**Fractura:** Es la tendencia de un mineral a romperse en superficies irregulares, distintas a los planos de clivaje.

Las fracturas pueden ser *concoideas*, cuando muestran superficies lisas y curvas; **fibrosas o astillosas** cuando el mineral se rompe dejando astillas o fibras o **desiguales**, cuando, al romperse el mineral se produce una superficie áspera.

**Brillo:** Se refiere a la forma en que la superficie de un mineral refleja la luz. Esta propiedad está controlada por los tipos de átomos presentes y sus uniones, pues ellas afectan la forma en que la luz atraviesa o se refleja en un mineral.

Los minerales pueden tener **brillo cristalino o vítreo**, cuando reflejan la luz como un vidrio; **adamantino**, cuando es brillante como el del diamante; **metálico**, producto de reflejos en sustancias opacas, como los metales puros y muchos sulfuros. **Un brillo resinoso**, como el ámbar, **grasoso**, cuando tiene la apariencia de haber sido recubierto por una sustancia grasosa, **nacarado**, con la iridiscencia de materiales perlados, **sedoso**, con la apariencia de materiales fibrosos como la seda.



Brillo metálico en Magnetita

# La tierra se transforma

“Para el que mira  
sin ver, la tierra  
es tierra nomás...”  
(Atahulpa Yupanqui)

## capítulo 2

Autores:  
Carlos Bazán  
María Eugenia Vides

## 2.1. Geodinámica externa

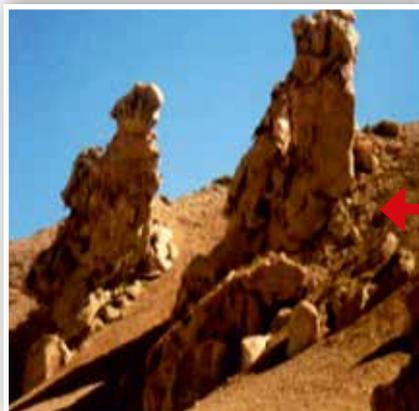
> ¿Qué es la Geodinámica? > Geodinámica Externa > Meteorización química, física y biológica > Erosión: acción del agua, viento, gravedad e hielo.

### ¿Qué es la Geodinámica?

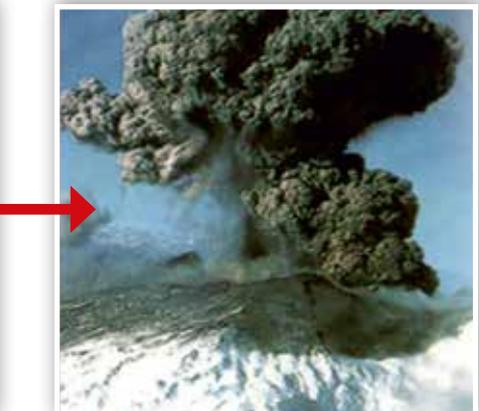
Generalmente las personas piensan que la Tierra no ha sufrido cambios a lo largo de su historia. Esta idea errónea surge, en primera instancia, debido a que muchos de los grandes cambios y transformaciones que continuamente afectan a nuestro planeta son demasiado lentos como para apreciarlos en transcurso de nuestras vidas. Mientras que la historia humana se cuantifica en años, décadas y siglos, la modificación del relieve debido a la formación de montañas o la apertura de un océano se mide en millones de años. Demasiado tiempo para apreciarlos desde nuestra perspectiva. En contadas ocasiones, sismos, erupciones volcánicas y algunos desprendimientos rocosos nos permite tomar conciencia de que el planeta cambia constantemente.

Se conoce como *geodinámica* al conjunto de procesos geológicos que modifican constantemente la superficie del planeta. Estos cambios, estructurales, morfológicos y composicionales, que poseen las más variadas magnitudes, son la principal evidencia de que la Tierra está en permanente transformación y que, desde su conformación como planeta, han determinado su constante evolución.

Estos cambios son los responsables de la conformación de cada uno de los paisajes y relieves que podemos observar y tienen su origen en dos fuerzas antagónicas que tienden a neutralizarse mutuamente: una de ellas actúa desde el interior de la Tierra construyendo, principalmente, los grandes relieves planetarios y se conoce como **Geodinámica interna**. La otra, denominada **Geodinámica externa**, es originada por agentes superficiales y principalmente reduce o elimina los grandes relieves antes construidos.



Geodinámica externa



vs.

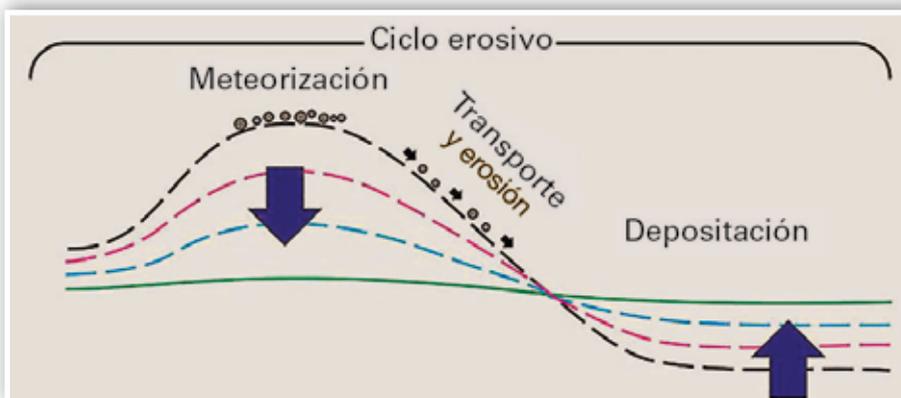
Geodinámica interna

## Geodinámica externa

La *Geodinámica externa* reúne a un conjunto de procesos cuyas principales energías provienen del sol y la gravedad, a la que se suma –aunque con mucha menor intensidad– la atracción lunar. A diferencia de la Geodinámica interna las temperaturas y presiones involucradas son las que prevalecen en condiciones ambientales superficiales.

Las principales acciones de la Geodinámica externa incluyen el esculpido del relieve de la superficie terrestre, rebajando las áreas positivas (montañas) y rellenando las áreas deprimidas (valles o cuencas) gracias al desarrollo del *ciclo erosivo* que se inicia con la **meteorización**, que es la desintegración mecánica y/o la alteración química de las rocas en el lugar donde se encuentran, continúa con la **erosión** (extracción) y el **transporte** de los materiales liberados por la meteorización hacia zonas de menor altura.

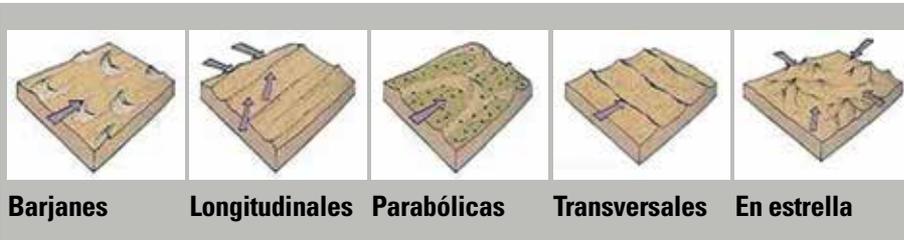
Durante el *transporte*, los materiales son fragmentados y desgastados y finalmente son **depositados** en las zonas deprimidas, llamadas cuencas sedimentarias, hasta rellenarlas.



Los principales agentes geológicos externos son el viento, el agua, el hielo y la gravedad, que erosionan, desgastan y modelan las formas inicialmente construidas por los procesos de la geodinámica interna, modificando continuamente los paisajes.



Una **cuenca sedimentaria** es una depresión en la superficie terrestre donde se acumulan varios cientos de metros de espesor de sedimentos. Puede estar sometida a hundimiento durante grandes períodos de tiempo permitiendo la transformación de sedimentos en **Rocas Sedimentarias** mediante un proceso denominado **diagénesis** (Cap. 1).



Las principales formas de las dunas

### Acción de la gravedad:

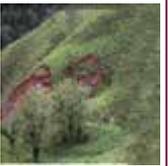
El material resultante de la meteorización puede ser transportado bajo la influencia de la gravedad, se trata de un movimiento descendente de los materiales que componen una ladera bajo la influencia de la gravedad y pueden originarse por una desestabilización provocada por lluvias, sismos y/o la actividad humana.

Estos deslizamientos pueden involucrar desplazamientos masivos de rocas, suelos o una combinación de ambos y se denominan procesos de **remoción en masa**.

La clasificación de dichos procesos se basa en el mecanismo del movimiento, por lo que de manera general, se dividen en: caídas o desprendimientos, desplomes, flujos, deslizamientos, expansiones laterales y reptación.

Existen variedades de dunas y, entre las más comunes se reconocen:

- Transversales:** Es el tipo básico de duna. Se forman con viento constante y presentan espesores uniformes de arena.
- Barjanes:** Tienen forma de media luna, con crestas cóncavas y brazos en la dirección del viento. Se forman con viento constante.
- Parabólica:** Forma de U, con concavidad contra el viento. Se dan cuando los flancos quedan atrasados por un obstáculo y la parte central avanza más.
- Longitudinales:** Se orientan paralelamente a la dirección del viento. Son alineaciones largas, de cresta afilada.
- En estrella:** Gran elevación de arena cuya base aparece como una estrella vista en planta. Se forman por vientos de sentidos variables, que arremolinan arenas.

	Desprendimientos / Caídas / Derrumbes	Vuelcos / Desplomes	Flujos	Deslizamientos	Expansiones laterales	Reptación
						
Descripción	Movimiento de caída libre, rotando o botando. El material se desprende de laderas empinadas.	Bloques de roca o suelo que se inclinan o rotan hacia fuera de la ladera, separándose del macizo.	Movimientos rápidos de material rico en agua que se comporta como una masa viscosa.	Movimientos causados por desprendimientos a lo largo de una o varias superficies de ruptura.	Resultan de la fracturación y expansión del sultrato, debido a fluidización del material subyacente.	Movimientos imperceptibles de suelos hasta la profundidad de las raíces.
Tipo de materiales	Rocas, detritos o suelos.	Rocas, detritos o suelos con discontinuidades estructurales.	Detritos, rocas y barro.	Suelos, detritos o rocas.	Detritos gruesos en matriz arcillosa y suelos.	Movimientos.
Velocidad	Muy rápido (>50 mm/s) a extremadamente rápido (>5000 mm/s).	Pueden variar de extremadamente lentos a extremadamente rápidos.	Extremadamente rápido.	Rápido.	Rápido.	Lento.
Inclinación de la superficie de la ruptura	Fuertemente inclinadas.	Fuerte	Media.	Media.	Suave.	Suave.

## Actividades

1. Describir el tipo de agente erosivo que reconozca en una región a elección. Por ejemplo, el lugar donde vive o que haya visitado durante las vacaciones.
2. Elegir un río que conozca y describir las características que permitan identificar en qué tramo del mismo se encuentra.

Trabajos de discusión grupal:

3. ¿Qué relaciones puede establecer entre las diferentes regiones climáticas de Argentina y los procesos de meteorización predominantes?

## Glosario

**Crecida de río:** Momentos en que la carga de agua no puede acomodarse dentro de los márgenes del cauce normal y se vierte sobre los terrenos circundantes (llanura de inundación).

**Albúfera:** Zona de depresión costera que constantemente son invadidas por el agua de mar. Se conecta con el mar abierto mediante un canal estrecho por el cual entra el agua cuando crece la marea y sale durante la bajante.

**Estuario:** Desembocadura de un río en el océano, con una sola entrada de forma de triángulo de vértice agudo cuyo vértice se ubica en el continente y la base en el océano.

**Marisma:** Terreno bajo con agua salobre que se inunda con las aguas del mar durante las mareas. Sostiene una gran biodiversidad.

## 2.2. Geodinámica Interna

> ¿Qué es la Geodinámica Interna y qué procesos incluye? > Pliegues: qué son y qué partes lo componen > Fallas: directas e inversas.



### ¿Qué es la Geodinámica Interna y qué procesos incluye?

La **geodinámica interna** o "constructora de paisajes" actúa en el interior de la Tierra, razón por la que las temperaturas y presiones involucradas en sus procesos son elevadas. La energía responsable de su accionar es la temperatura remanente del planeta primigenio, que queda en el núcleo de la Tierra, aunque los fenómenos de la geodinámica interna ocurren en la litósfera (Cap. 1).

#### Temperaturas y presiones en el interior de la Tierra

Gradiente geotérmico: así se denomina a la variación de la temperatura en función de la profundidad en la corteza terrestre. El valor promedio de este gradiente es de 30°/km, es decir que con cada km de profundidad, la temperatura aumenta 30°C. Sin embargo, este valor no es constante

El gradiente de Presión, en promedio, de la corteza continental es de 1 Gpa/30 km, es decir que aumenta, aproximadamente 30MPa por cada km de profundidad. Ese valor aumenta en el manto superior a 35 Mpa/km, debido esencialmente a aleaciones más densas de su composición. 1 Gigapascal (GPa), 109 Pascal.

$$1 \text{ atm} = 1 \text{ bar} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ mca} = 100 \text{ KPa}$$

Los procesos de la geodinámica interna son el **magmatismo**, el **metamorfismo** y la **tectónica**.

**Magmatismo:** Bajo este término se incluyen todos los procesos en los que interviene el *magma*, dando lugar a la formación de las rocas volcánicas (extrusivas) que se forman sobre la superficie terrestre y a las rocas plutónicas (intrusivas) que se forman en el interior de la corteza terrestre, tal cual vimos en el Capítulo 1.

**Metamorfismo:** Son los cambios texturales y/o mineralógicos que sufren las rocas para alcanzar un equilibrio físico-químico en las nuevas condiciones en las que se encuentran las rocas. Estos cambios ocurren dentro de la corteza terrestre (Cap. 1), sin fundirse, es decir en estado sólido y son procesos **isoquímicos\***.

**Tectónica:** Las rocas tienen estructuras que se originaron en el momento de su formación, son estructuras primarias estudiadas por la petrología. Con posterioridad a su formación las rocas pueden sufrir deformaciones que originan nuevas estructuras, denominadas secundarias.

La tectónica (tektôn = constructor) se dedica al estudio de las deformaciones mecánicas que sufren las rocas con posterioridad a su formación y al desarrollo estructural de la corteza terrestre.

Las fuerzas responsables de estas deformaciones son tangenciales a la superficie terrestre, distinguiéndose tres tipos: **compresionales**, **tensionales y de cizalla**. Las acciones de estas fuerzas originan pliegues y fallas, de acuerdo a si actúan sobre rocas dúctiles o frágiles respectivamente.

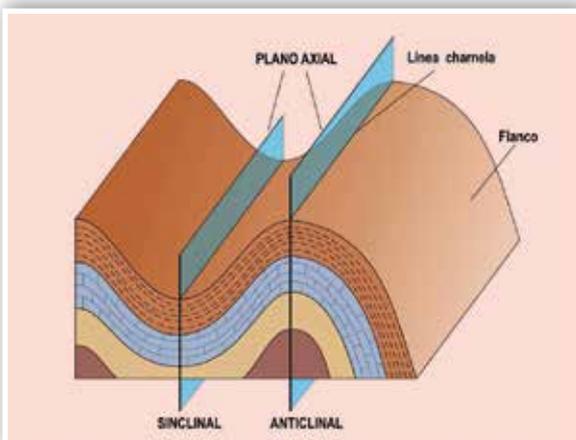
Fuerzas	Compresionales	
	Cizalla	
	Tensionales	

Esquema de fuerzas deformacionales

## Pliegues

Un pliegue es una forma común de deformación que se produce cuando una estructura originalmente plana, como un estrato sedimentario, es flexionada formando una estructura curvada. Se origina por una compresión de la corteza, similar a lo que se observa cuando empujamos, en sentido convergente, para juntar los bordes opuestos de un pedazo de papel.

En un pliegue se reconoce: un **plano axial**, que es el plano que divide al pliegue en dos partes, es decir que pasa por su parte media. **Flanco** es la parte de un pliegue correspondiente a cada lado del plano axial. **Eje o charnela** es la línea de intersección formada entre el plano axial y el plano de los estratos. Si observamos las deformaciones desde arriba, podemos decir que se denomina **Sinclinal** a la parte cóncava del pliegue, es decir cuando sus flancos convergen hacia abajo y **Anticlinal** a la parte convexa debido a que los flancos convergen hacia arriba.



Afloramiento de roca plegada

## Fracturas: fallas y diaclasas

Las fuerzas tectónicas pueden producir la ruptura de las rocas, estas rupturas de las rocas reciben el nombre genérico de fracturas, pudiéndose distinguir dos tipos: **diaclasas y fallas**.

Las **diaclasas** producen la ruptura de la roca en bloques, pero no hay desplazamiento entre ellos, o en todo caso, es mínimo. Pese a ser fracturas menores deben ser tenidas en cuenta al planificar obras de ingeniería de cierta envergadura como túneles, diques, cortes y taludes de carreteras y cimientos de grandes edificios. Además las diaclasas, en algunos casos pueden ser portadoras de mineralización explotable.



Ejemplo de diaclasas

Las **fallas** son fracturas donde hay desplazamiento entre los bloques de roca, el uno respecto del otro, a través de una superficie denominada "planos de falla". Se generan tanto a partir de fuerzas compresivas como tensionales y varían de tamaño, desde desplazamientos de pocos centímetros, muy difíciles de reconocer hasta fallas de escala continental.



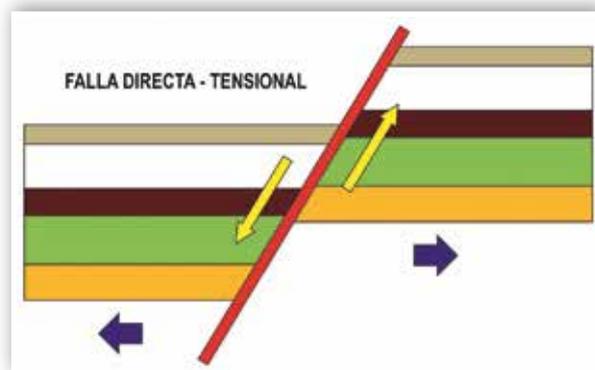
Falla que eleva la Sierra de Ancasti, Catamarca



Falla con desplazamiento de pocos cm.

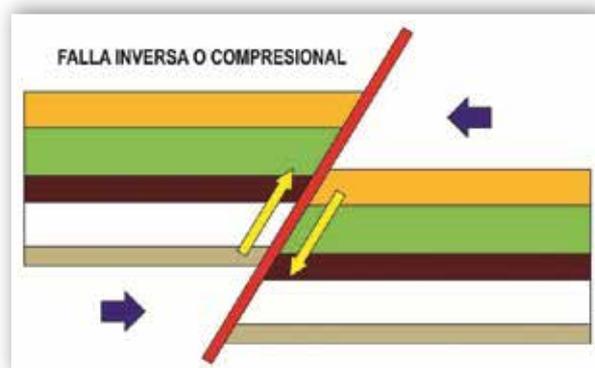
Existen diversos tipos de fallas geológicas que se clasifican de acuerdo a cómo actúan las fuerzas. De ellos, los tipos más comunes de fallas son las fallas directas (normales o tensionales) y las fallas inversas (compresionales).

**Fallas directas:** Cuando los esfuerzos que actúan son tensionales se genera una separación del macizo rocoso, generándose dos bloques que se separan lateralmente y verticalmente.



**Fallas inversas:** En las que el bloque superior se ha desplazado hacia arriba respecto del bloque inferior. Se producen como consecuencia de esfuerzos compresivos y se observa un acortamiento de la estructura.

Las fallas inversas son típicas de las regiones que tienen una tectónica convergente, la mayoría de las fallas de la zona andina, incluidas las del noroeste argentino.



## 2.3. Tectónica de Placas

> Teoría de Tectónica de Placas > Deriva continental > Límites de Placas > La evolución de los Supercontinentes > Teoría de Convección del manto.



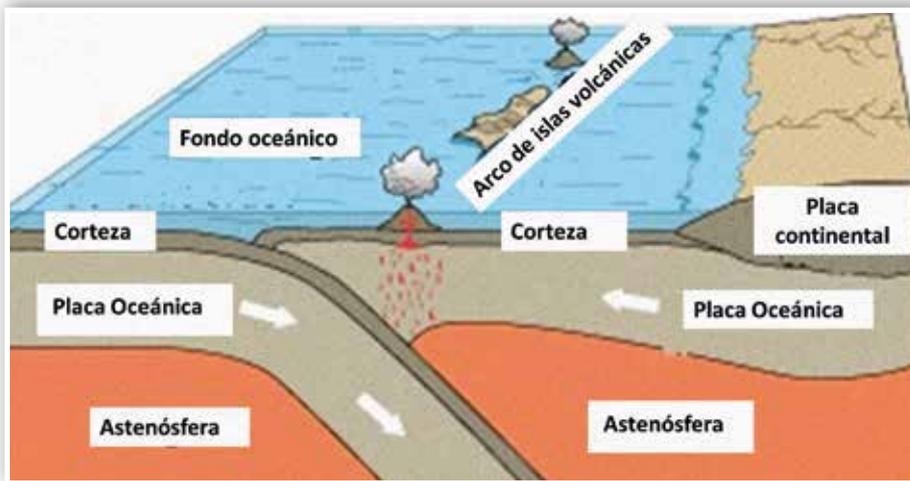
### Teoría de Tectónica de Placas

En la década de 1960, una gran revolución en el pensamiento sacudió el mundo de la geología. Durante casi 200 años, los geólogos habían estado desarrollando diversas teorías de "tectónica", término usado para describir el desarrollo de montañas, vulcanismo, terremotos y otros procesos geológicos que construyen la superficie de la tierra. Sin embargo, recién con el advenimiento de la tectónica de placas se cuenta con una única teoría que explica satisfactoriamente todo el conjunto de procesos geológicos.

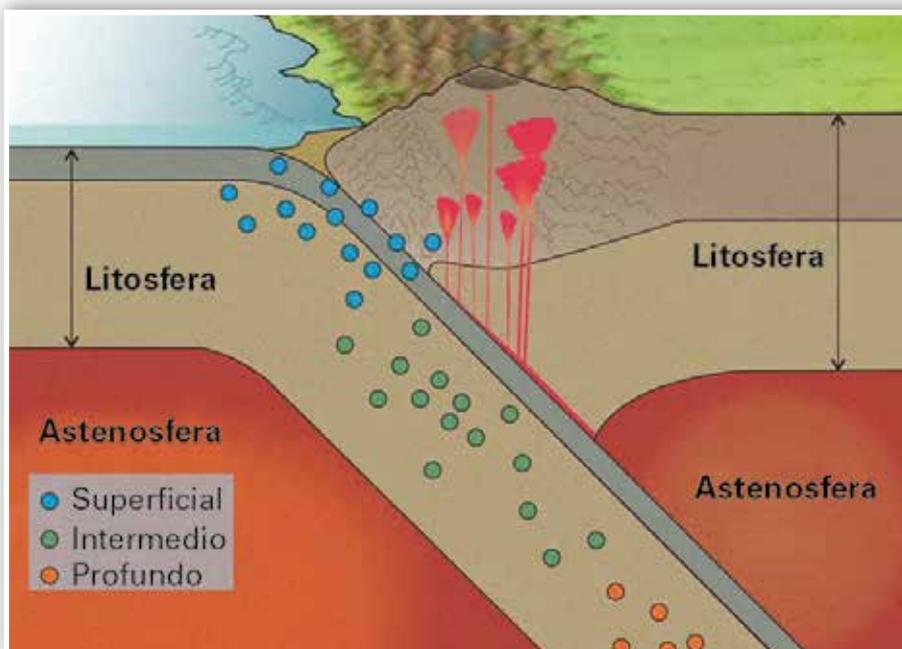
Las ideas básicas de la tectónica de placas fueron reunidas en una teoría unificada hace poco más de 60 años. La síntesis científica que condujo a la teoría de la tectónica de placa, sin embargo, empezó realmente mucho antes con el reconocimiento de la evidencia de la **deriva continental**.

### Deriva Continental

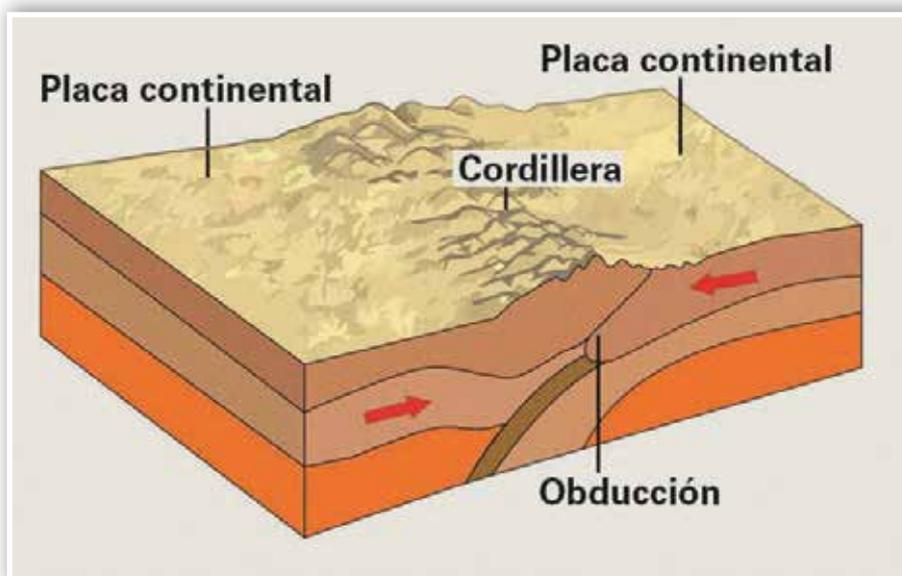
El concepto de la deriva continental, es decir, el movimiento a gran escala de los continentes, nace a fines del siglo XVI y comienzos del XVII cuando científicos europeos notaron la concordancia entre las costas a ambos lados del océano Atlántico, como si el continente americano, Europa y África hubieran sido parte de un único continente que posteriormente se separó. A fines del siglo XIX, el geólogo austriaco **Eduard Suess** postula que los actuales continentes meridionales en algún momento habían formado un único continente gigante que denominó **Gondwana**. En 1915, **Alfred Wegener**, un meteorólogo alemán escribió un libro sobre la desintegración y la deriva de los continentes, en que remarcó la notable semejanza de características geológicas en los lados opuestos del Atlántico. En los años que siguieron, Wegener postuló la existencia de un súper continente que denominó **Pangea** (del griego: todas las tierras), que se habría fracturado y dispersado, dando lugar a los continentes tal cual conocemos hoy en día.



Límite oceánica-oceánica



Límite oceánica-continental



Límite continental-continental

Características asociadas a cada tipo de margen			
Tipo de margen	Divergente	Convergente	Transformante
<b>Movimiento</b>	Extensión	Subducción	Desplazamiento lateral
<b>Efecto</b>	Constructivo (se crea litósfera)	Destruutivo (se destruye litósfera)	Conservativo (ni se destruye ni se crea litósfera)
<b>Topografía</b>	Dorsal / Rift	Fosa y/o cordillera de plegamiento	Poco destacable
<b>Vulcanismo</b>	Sí (basaltos)	Sí (andesitas)	No
<b>Sismicidad</b>	Sí (de foco somero)	Sí (de foco somero intermedio y profundo)	Sí (de foco somero)

## La evolución de los Supercontinentes

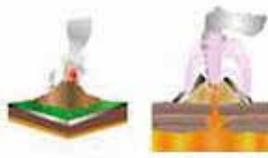
Tuzo Wilson (1908-1993), geólogo canadiense, en principio opositor a las ideas de la deriva continental, se encargó de confrontar y comprobar las evidencias geofísicas a favor de la Teoría de la Tectónica de Placas. Fruto de sus trabajos de investigación logró unificar todas las evidencias en favor de la movilidad de las placas litosféricas y expresar formalmente la Teoría de la Tectónica de Placas, que sostiene que todos los continentes estuvieron en algún momento concentrados en una gran masa de tierra a la que denominó **supercontinente**, que a lo largo de millones de años se fue fracturando y separando.

Gracias a las técnicas de **dataciones geocronológicas\*** más precisas se pudo determinar que la actividad orogénica no fue uniforme a lo largo de la historia geológica, sino que hubieron períodos de 100-200 millones de años en que la formación de cadenas montañosas fue más activa, seguidos por períodos más extensos, 300 millones de años, de tranquilidad orogénica.

Este descubrimiento condujo a la plantear la hipótesis del **ciclo de los supercontinentes**, que sostiene que la unión transitoria de los continentes en una sola masa continental ocurre aproximadamente cada 500 millones de años, seguido de períodos de separación. Este ciclo de los supercontinentes también se conoce como Ciclo de Wilson.



Pangea fue el último supercontinente. Se estima que anteriormente hubo varios más.

Volcanes	Tipos de erupciones	Tipos de producto	Imágenes	Ejemplos
<b>Hawaiano</b>	Erupciones suaves con surtidores de lava que a veces surgen desde fisuras. Cono muy aplanado.	Lavas muy fluidas (básicas). Emiten muy pocos gases y cenizas por la gran fluidez de la lava.		Manua Loa, Hawai. Timanfaya, Lanzarote (1730).
<b>Estromboliano</b>	Erupciones poco violentas. La lava fluida desciende por el cono que crece con cada colada. Cono simétrico.	Lavas fluidas. Erupciones ricas en gases y pobres en cenizas.		Estromboli, Italia. Paracutin, México. Teneguía, La Palma (1971).
<b>Vulcaniano</b>	Explosiones fuertes que pulverizan la lava en cenizas y otros piroplastos. Cono asimétrico.	Lavas viscosas (ácidas). Erupciones ricas en piroplastos (cenizas, lapilli y bombas).		Vulcano, Italia.
<b>Vesubiano</b>	Explosiones violentas debido a los gases que pueden precipitar en cenizas y otros piroplastos. Cono más o menos simétrico.	Alternancia de coladas de lava y piroplastos.		Vesubio (Nápoles, 79 d.C) Teide (Tenerife) Fujisan (Japón).
<b>Pliniano</b>	Erupciones muy violentas y ricas en cenizas y piroplastos. La columna eruptiva parece un coliflor gigante. Cono muy asimétrico.	Lavas viscosas (ácidas).		Tambora, Indonesia (1815) Pinatubo, Filipinas (1991).
<b>Pelcano</b>	Erupciones muy violentas que forman calderas por hundimiento del cono o de grandes agujas cuando se levanta el tapón que cierra el cráter.	Lavas muy viscosas. Erupciones ricas en gases, vapor de agua, cenizas y pumita incandescente.		Krakatoa, Indonesia. Mont Pelée, Martinica, Sta. Helena, EE.UU. (1980).

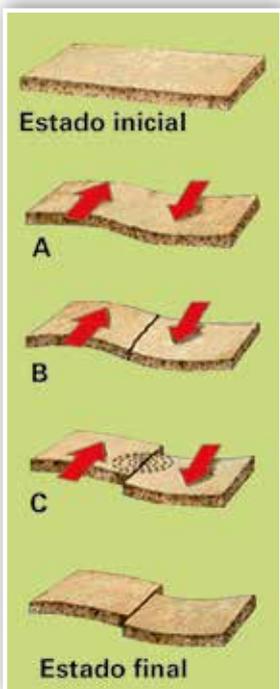
## ¿Qué son los Terremotos?

Cuando empujamos un objeto pesado, por ejemplo un mueble o una mesa, la fricción impide que el movimiento sea constante y suave; por el contrario, el desplazamiento es a "saltos" y genera ruidos de arrastre (energía sonora). Lo mismo ocurre con los bloques de rocas que se mueven también a saltos, generando súbitas y esporádicas liberaciones de energía sísmica.

Un terremoto, un sismo o un temblor es la vibración elástica de la corteza o litósfera, causado por la liberación repentina de energía en el interior de la Tierra. Esto se convierte en la superficie en una sacudida más o menos violenta, que puede durar desde unos segundos hasta varios minutos.

Un terremoto ocurre cuando bloques de rocas que se encuentran sometidos a intensas tensiones en el subsuelo ceden repentinamente y se mueven a lo largo de una **falla geológica**. La mayoría de los grandes terremotos son causados por rupturas de fallas preexistentes, donde los últimos terremotos han debilitado a las rocas de la superficie. Los dos bloques de roca a ambos lados de la falla repentinamente se desplazan entre sí, liberando energía en forma de ondas sísmicas, que percibimos como sacudidas del suelo.

Aunque las placas tectónicas se mueven a tasas entre 1 y 16 centímetros por año, la fricción impide que las placas se deslicen continuamente. Como resultado, cuando la energía elástica acumulada de las rocas cercanas a un límite de placa supera a la fuerza de fricción, que la mantiene unida, la roca repentinamente se desplaza a lo largo de la falla, generando un terremoto. Las rocas pueden moverse desde unos pocos centímetros hasta unos pocos metros, dependiendo de la cantidad de energía almacenada.



No hay lugar en la tierra que esté libre de la posibilidad de sufrir un terremoto. Sin embargo, casi el 95% ocurren en las zonas de límites de placas, donde éstas convergen, divergen y se deslizan entre sí. La mayoría de todos los terremotos ocurren en el "**cinturón de fuego**", una zona de actividad sísmica que rodea el océano Pacífico.



Si alguna vez has comprado un melón, seguramente ha tenido que escoger uno maduro y jugoso sin tener que partirlo para ver su interior. El truco es golpear el melón suavemente con los nudillos. Si escucha un sonido agudo y limpio, probablemente el melón está maduro; en cambio un ruido sordo indica que puede estar demasiado maduro y blando. Esta experiencia ilustra dos conceptos que se pueden aplicar a la Tierra: (1) la energía de tu golpe viaja a través del melón, y (2) la naturaleza del interior del melón afecta a la calidad del sonido.

Cuando un objeto se deforma, cambia la forma y también su volumen. Si un objeto sólido se deforma lentamente, primero lo hace de manera elástica: es decir que cuando la tensión se quita, el objeto retorna a su forma y tamaño original; al superar este límite la deformación se transforma en plástica y permanece al cesar el esfuerzo. Una vez superado el límite plástico, se llega al punto de ruptura del material.

# El hombre necesita de la tierra

“Hay suficiente en el mundo para cubrir las necesidades de todos los hombres, pero no para satisfacer su codicia.”

(Mahatma Ghandi)

## capítulo 3

Autores:  
Miguel Adolfo Báez  
Alison M. Soledad  
Córdoba  
Delia Lorena Herazo

### 3.1. Recursos Minerales

> Los minerales a lo largo de la Civilización > Recursos naturales: renovables y no renovables > Recursos minerales y su uso racional > Minerales estratégicos del siglo XXI > Tierras Raras y Litio > Leyes que nos protegen.

#### Los minerales a lo largo de la civilización

Los minerales, y por ende los metales, aportaron a lo largo de la historia innumerables beneficios a la vida del ser humano, único ser vivo que ha logrado dominarlos para su uso personal. Tanto es así que desde la más profunda antigüedad, el Hombre aprecia su valor: las primeras herramientas que dispuso fueron elaboradas a partir de estos materiales. No es casual que las grandes etapas que marcaron la evolución de la civilización fueran denominadas Edad de Piedra, Edad del Cobre, Edad del Bronce y Edad del Hierro.

El Hombre utilizó minerales y rocas para la construcción de viviendas, fortalezas y castillos, caminos, acueductos, puentes, templos y muchas otras obras que han sido testigos de su crónica y han perdurado por milenios. Sin embargo, otro uso significativo de los minerales por parte del Hombre desde sus inicios fue el de la generación de energía, en sus formas más primitivas: hulla y fundamentalmente petróleo, a los que dedicaremos un capítulo más adelante.

La relación de los minerales con la civilización comienza en la denominada Edad de Piedra, en el **Paleolítico**, cuando el Hombre desarrolló la percusión y el tallado de la piedra. Y más adelante, durante el **Neolítico**, perfeccionó esta última técnica dominando el pulido de la piedra.

#### Edad de Piedra

Paleolítico: significa piedra antigua y es el período de la existencia humana que va desde los 4 millones de años hasta unos 12.000 años atrás.

Neolítico: (piedra nueva o pulida) es el período que precede a la Edad de los Metales, hace aproximadamente 4.000 años.



Arte rupestre, de la Edad de Piedra



Monumento neolítico de Stonehenge

La denominada **Edad de los Metales**, que se habría desarrollado entre los siglos VI y I a.C., se caracteriza por el desarrollo de la *metalurgia*. Habría nacido en Asia Menor, desde donde se difunde a Mesopotamia y Egipto, y sería el resultado de la necesidad del Hombre de contar con utensilios y armas más fuertes y resistentes.

El período más antiguo es la denominada **Edad del Cobre** (4.000-3.000 años a.C.), pues el Hombre aprendió a obtener y usar este mineral, al que accedía fácilmente pues podía encontrarlo en la superficie terrestre solo o asociado con otros minerales. Ya sea por casualidad o por experimentación, el Hombre descubre la **metalurgia\*** y no tarda en emplearla en la construcción de vasijas y armas.

Con la manipulación del cobre y la consecuente invención de la metalurgia, el Hombre da los primeros pasos en el desarrollo de la minería, a la vez que no tarda en mejorar las técnicas de la agricultura y ganadería, lo que conduce a un avance significativo en sus condiciones de vida.

Entre los 3.000 y 1.500 años a.C. tiene lugar la **Edad del Bronce**, cuya característica distintiva es la producción de una aleación de dos metales: cobre y estaño (en proporción 9/1) con la que se obtiene un material más duro y más resistente, que le da el nombre a este período.

Con la llegada del bronce, y debido a que el estaño era difícil de obtener, pues las fuentes de recursos eran muy limitadas (sur de España, Bretaña e Irlanda), se desarrollan grandes redes de intercambio por el Mediterráneo y el Atlántico, con las inevitables consecuencias socio culturales.

La **Edad del Hierro** (1.500 años a.C.) es el estadio en el que la civilización alcanza la dominación final de la metalurgia, descubriendo y popularizando el uso del hierro como material para fabricar armas y herramientas. Mediante este metal, el Hombre fue capaz de dominar mejor el medio ambiente y ampliar su horizonte cultural; el hierro le proporcionó un material mucho más duro y duradero que el bronce, pero también la necesidad de superar una barrera tecnológica, pues necesitaba de temperaturas mucho mayores para su fundición y para alcanzarlas tuvo que generalizar la metalurgia para construir nuevos utensilios de trabajo

El período más antiguo es la denominada Edad del Cobre (4.000-3.000 años a.C.), pues el Hombre aprendió a obtener y usar este mineral, al que accedía fácilmente pues podía encontrarlo en la superficie terrestre sólo o asociado con otros minerales. Ya sea por casualidad o por experimentación, el Hombre descubre la metalurgia y no tarda en emplearla en la construcción de vasijas y armas.



Herramientas de la Edad del Hierro

## Recursos Naturales

El concepto de **recursos naturales** involucra a aquellos elementos que están presentes en la naturaleza y pueden ser explotados para satisfacer las necesidades del hombre y que ejercen una fuerte influencia positiva en la economía. Sin embargo, cabe aclarar que siempre es posible una mala praxis que genera tensiones sociales

En este sentido, los recursos naturales de origen mineral, *orgánicos* (petróleo, carbón, gas natural o turba) e *inorgánicos* (agua, oro, hierro, etc.), son imprescindibles para el bienestar de la sociedad humana pues la actual complejidad de los bienes y servicios se sustentan en la explotación de algunos recursos básicos que nos ofrece la naturaleza.

Al ser utilizados por el Hombre, algunos de estos recursos naturales, de acuerdo a su naturaleza, pueden restituirse naturalmente o no. De allí que surge la clasificación de los **Recursos Naturales** en dos categorías: **Renovables** y **No Renovables**, de gran importancia al momento de establecer políticas energéticas que establezcan una estrecha relación entre extracción, uso y agotamiento de recursos vitales para nuestro bienestar.

Un caso particular lo constituyen otros recursos como **piscicultura\***, bosques y biomas\*, que en general se regeneran lo suficientemente rápido como para que sus reservas puedan ser utilizadas sin que se agoten y, en el caso del agua y el suelo, deben ser aprovechados de manera sustentables, para no sobrepasar el umbral de capacidad del recurso.

Los **recursos renovables** son aquellos que pueden ser recuperados en períodos de tiempo relativamente cortos (mensurables en meses, años o decenios) y cuyo empleo no produce una disminución significativa de sus reservas. Son recursos renovables la radiación electromagnética solar, el agua, el viento, el suelo, las olas y mareas, etc.

Los recursos **no renovables** son aquellos, que existen en cantidades fijas o que pueden seguir generándose en la tierra por procesos demasiado lentos en comparación al ritmo con que son consumidos. Ejemplos de recursos no renovables son el petróleo, el gas natural, el carbón y la totalidad de los metales que se obtienen por medio de la explotación minera (hierro, cobre, uranio, oro, etc.).



Energía eólica, un recurso renovable



Extracción de petróleo, un recurso no renovable

## Recursos Minerales y su uso racional

En un concepto amplio, los *recursos* son bienes o materias primas que tienen una cierta utilidad y permiten satisfacer determinadas necesidades para el Hombre. Un *mineral*, ya vimos en un capítulo anterior, es un material inorgánico que se encuentra en la corteza terrestre. Uniendo conceptos, un **Recurso Mineral** se define como aquel material de origen natural que está disponible para ser explotado con algún fin.

Los recursos minerales pueden clasificarse teniendo en cuenta su valor económico y el grado de certeza geológica respecto a su existencia. Así, una *ocurrencia de mineral*, se refiere al recurso identificado y que presenta un interés geológico pero no resulta de interés a nivel económico. Se denominan **recursos mineros** al material que representa cierto potencial económico y es susceptible de ser explotado.

Una **reserva** puede clasificarse en base a la certeza y precisión en la medida del volumen a extraer. En este sentido las reservas mineras pueden clasificarse en:

- ◆ **Posibles (Inferidas):** Porción del recurso mineral que sólo ha sido deducida, sin estudios demasiado concluyentes.
- ◆ **Probables (Indicadas):** Porción del recurso mineral económicamente extraíble cuya cantidad ha sido estimada eventualmente.
- ◆ **Probadas (Medidas):** Porción del recurso económicamente extraíble que ha sido fehacientemente medida.

**Conceptos importantes**

- Las **reservas** son aquellos recursos minerales que se encuentran en un determinado **yacimiento\*** y son económicamente extraíbles de acuerdo a un escenario productivo, medioambiental, económico y financiero planificado.
- Una **mena** es un mineral presente en un yacimiento, del que se puede extraer un elemento (generalmente un metal) para ser aprovechado económicamente. Asociado al concepto de mena, está el de **ganga**, que es el material que se descarta al extraer la mena de un yacimiento, ya sea por carecer de valor económico o por ser su aprovechamiento, demasiado costoso.



Clasificación de las reservas mineras

## Minerales estratégicos del siglo XXI

El concepto de mineral estratégico está ligado, por una parte, a las propiedades intrínsecas de cada mineral en particular, que lo convierte en un material de gran valor para la actividad industrial de un país. Pero también está íntimamente relacionado con las condiciones geopolíticas de un determinado período de la historia.

Las reservas de un mineral estratégico son muy codiciadas por los países industrializados, que no lo disponen de manera natural dentro de su territorio y los necesitan para la fabricación de equipos de alta tecnología o aleaciones de calidad vinculados a la industria militar o aeroespacial. Por otro lado ese mismo material es estratégico para el país que lo posee en abundancia y genera importantes ingresos por su exportación.

Un claro ejemplo de esta doble situación lo constituye el **coltan** (asociación de los minerales columbita-tantalita), considerado un mineral estratégico para EUA, del que se extrae el tantalio y el niobio, utilizados en distintas industrias de aparatos eléctricos, centrales atómicas, misiles, fibra óptica y otros, aunque la mayor parte de la producción se destina a la elaboración de condensadores y otras partes de los teléfonos móviles. A su vez es estratégico para la República Democrática del Congo, en la que se encuentran el 80% de las reservas mundiales.



Coltan (columbita-tantalita), un mineral estratégico

A nivel global, hay consenso en que, para el funcionamiento de la economía mundial, existe un grupo de 28 minerales imprescindibles. Entre ellos, figuran: cobre, plomo, zinc, estaño, platino y uranio, siguiéndoles plata, las calizas y las Tierras Raras. Minerales como el coltan, niobio, berilio o molibdeno han ingresado en esta lista debido a los últimos avances tecnológicos.

Entre los recursos estratégicos es importante destacar por su significado en el contexto del desarrollo tecnológico del siglo XXI a las *Tierras Raras* y al *Litio*.

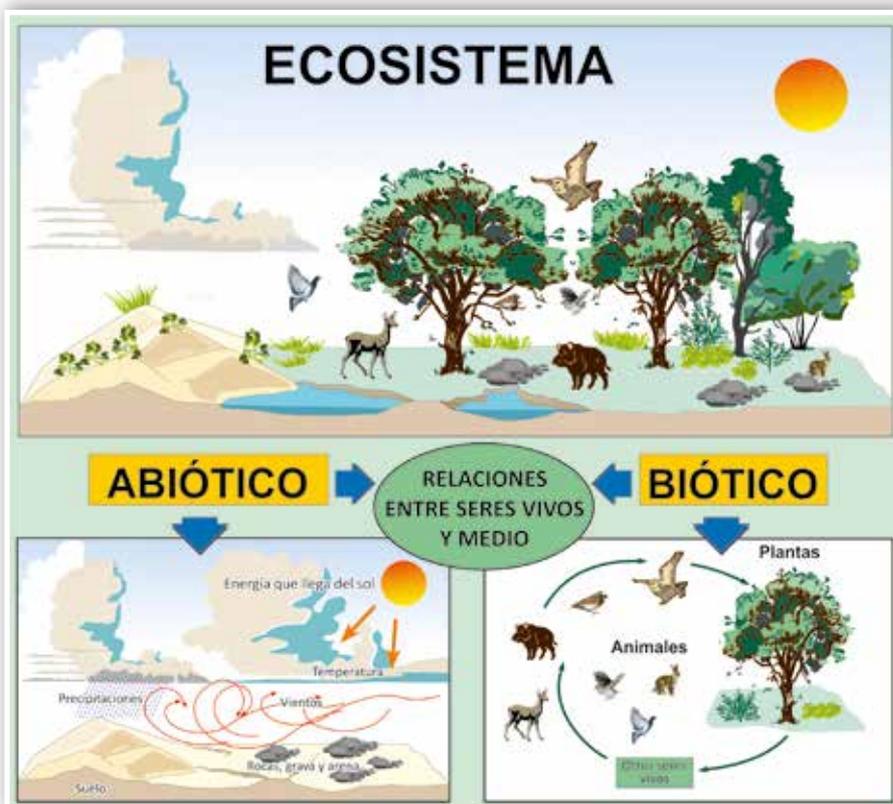
## Minería y Ambiente

En primer lugar retengamos unas pocas definiciones tomadas de la Biología, que nos permitirán un abordaje más completo de esta compleja problemática.

Decimos que un **Ecosistema** es el conjunto de factores abióticos (geología, clima) y bióticos (organismos vivos) que coexisten en un espacio físico determinado y que guardan relaciones entre sí. La especialidad científica que estudia las relaciones entre estos seres vivos y su entorno se denomina **Ecología** (*Oikos*: hogar; y *Logos*: estudio).

- ◆ **Calidad Ambiental** es una medida cualitativa y cuantitativa del estado de un ecosistema desde un punto de vista físico, químico y biológico, que permite establecer condiciones y requisitos para su normal desarrollo. Si se considera al Hombre como parte de un determinado ecosistema, se deben considerar también los aspectos sociales y económicos.
- ◆ **Impacto Ambiental** es el efecto causado por una actividad humana sobre el ambiente. La ecología, que estudia la relación entre los seres vivos y su ambiente, se encarga de medir ese impacto y de tratar de minimizarlo. El Impacto Ambiental tiene, generalmente, aspectos positivos y negativos y lo importante es el balance entre ambos.

Un concepto bastante generalizado acerca del **Ambiente** es que se trata de un **Sistema Global**, formado por elementos naturales y artificiales de diferente naturaleza (física, química, biológica y sociocultural) en permanente modificación, cuyas interacciones influyen y acondicionan la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones.



Los diferentes Ecosistemas: biótico y abiótico

## Impactos en el ambiente

Es tan importante la minería en nuestra sociedad que debemos actuar con la máxima responsabilidad al abordar este tema tan delicado. No podemos caer en el facilismo de pensar que toda la minería es mala y perjudicial, ni tampoco pecar de indolentes ante una problemática con evidentes ramificaciones de índole social. En este punto, el manejo de información veraz, desprovista de intencionalidades mezquinas y el conocimiento científico, basado en datos concretos y conclusiones fiables serán fundamentales para formarnos una opinión crítica y consciente.

Ello no quiere decir que la extracción de estos recursos minerales deba realizarse a cualquier costo y sin control. Es evidente que siempre debe priorizarse la vida y no deben escatimarse esfuerzos a fin de preservar las mejores condiciones ambientales para cada una de las especies vivas que compartimos la Tierra, nuestro hogar.

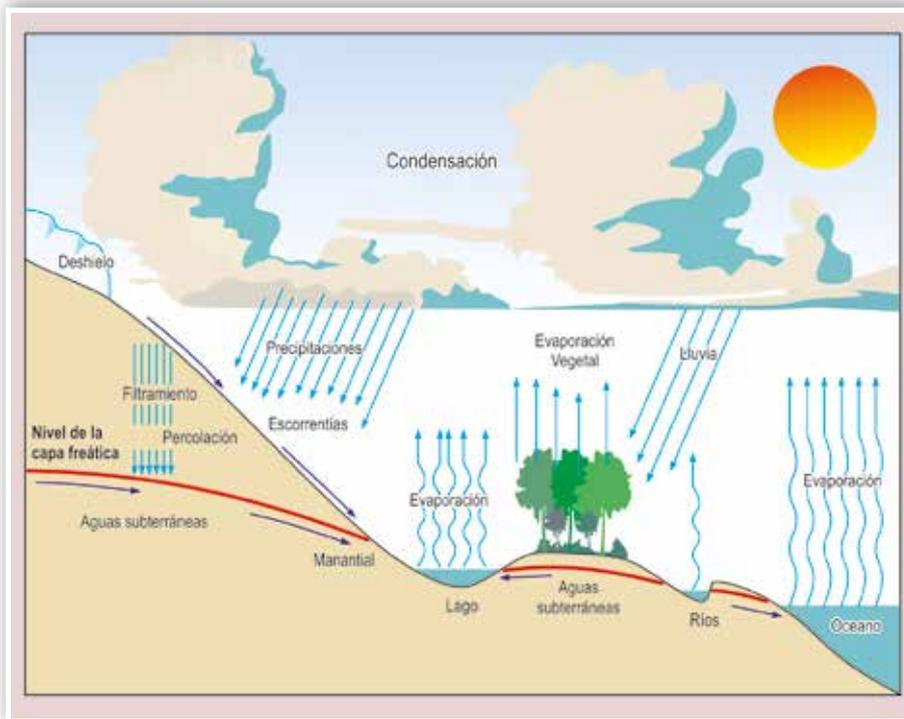


Es importante garantizar el frágil equilibrio entre minería y medio ambiente

Por ello, resulta crucial establecer, en primera instancia, parámetros claros y límites bien definidos que garanticen el frágil equilibrio entre minería y medio ambiente. El primer paso es reconocer los impactos que causa la minería en el medio natural y, a partir de allí, determinar el modo de eliminarlos o minimizarlos a una expresión tolerable para el medio ambiente. Los principales impactos generados por la minería pueden estudiarse de acuerdo al medio natural en el que produzca efectos negativos, ya sea en la atmósfera, el terreno, el suelo, el agua, la flora y la fauna.

### > en la atmósfera

- ◆ *Emisiones sólidas:* El polvo emitido tiene su origen en las propias actividades extractivas, durante la voladura y arranque de material, o durante los procesos de carga y transporte, o en relación a procesos metalúrgicos. Además puede haber una importante remoción eólica de material fino acumulado en **escombreras\***.



El Ciclo hidrológico



Desierto de la Puna argentina

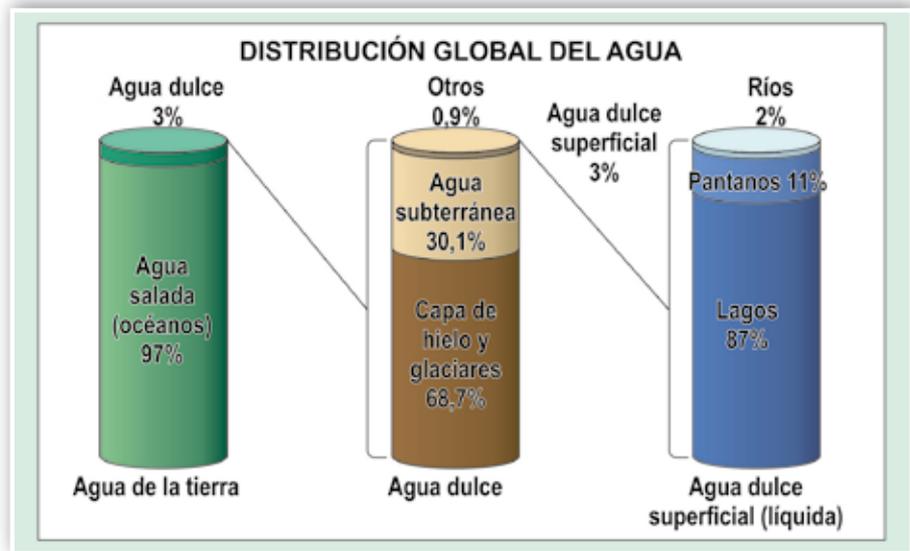
## El Agua Superficial y el Agua Subterránea

El agua dulce de nuestro planeta se encuentra formando parte de diferentes niveles de la superficie de nuestro planeta.

Parte de ella es el agua superficial, que forma parte esencialmente de los ríos, arroyos, lagos y lagunas. Este es el tipo de agua más aprovechado por el hombre, por ejemplo para el consumo cotidiano en las casas, para la ganadería, en la agricultura para el riego, en las industrias de todo tipo y para recreación.

### Distribución del agua dulce y salada a nivel mundial

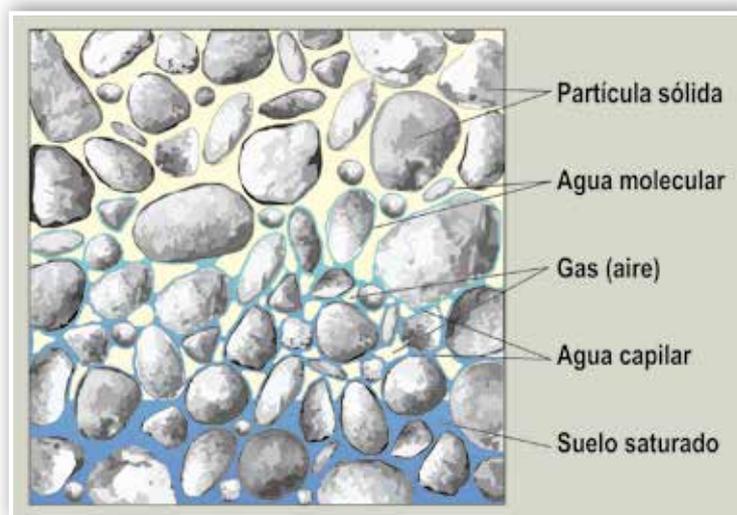
Algunos números para tener en cuenta: el 70% de la superficie de la Tierra está cubierta por agua, pero de ese total, el 97.5% (1.386 millones de kilómetros cúbicos) es agua salada y sólo el 2.5% es dulce y se halla distribuida en diversos lugares de un modo no uniforme a lo largo y a lo ancho en nuestro planeta: existen zonas que se caracterizan por carecer de agua, como los desiertos. Entre los ejemplos mundiales se pueden mencionar el famoso desierto de Sahara y grandes áreas del continente africano, el Gran Cañón en Estados Unidos, el desierto de Atacama y la Puna argentina. Del agua dulce total, un 68.7% está en los glaciares y la nieve y sólo un 30% del agua dulce está en el suelo. Quizás el dato más significativo sea el que señala que las fuentes superficiales de agua dulce, como lagos y ríos, suman apenas 93.100 kilómetros cúbicos, lo que representa una pequeñísima parte del total del agua disponible para abastecernos diariamente. Son números que no nos deben asustar, pero sí llamarnos la atención y despertar nuestra conciencia colectiva que nos impulse a llevar a cabo acciones tendientes a cuidar y preservar tan valioso como escaso elemento vital.



El **agua subterránea**, por otra parte, es la que se encuentra debajo de la superficie terrestre. La misma se acumula por el proceso denominado infiltración que, como vimos, tiene lugar durante el ciclo hidrológico. El volumen de agua infiltrado dependerá de las características del suelo y será mayor en un suelo con buena **porosidad\***, es decir con un importante volumen de poros respecto al volumen total de una roca y **permeabilidad\***, la que implica que los poros presentes en el material del sustrato están interconectados permitiendo la libre circulación entre ellos.

Es decir que el agua subterránea está ocupando pequeños poros y grietas presentes en materiales porosos, como lo son por ejemplo las arenas, almacenándose en reservorios denominados **acuíferos**, de manera similar a una esponja.

La habitual y errónea creencia de que el agua subterránea circula formando ríos subterráneos surge de algunas estructuras geológicas poco comunes, desarrolladas a partir de rocas de composición química muy particular. Es el caso de las **cavernas kársticas\***, que se forman por la disolución de la roca caliza por parte del agua ligeramente ácida.



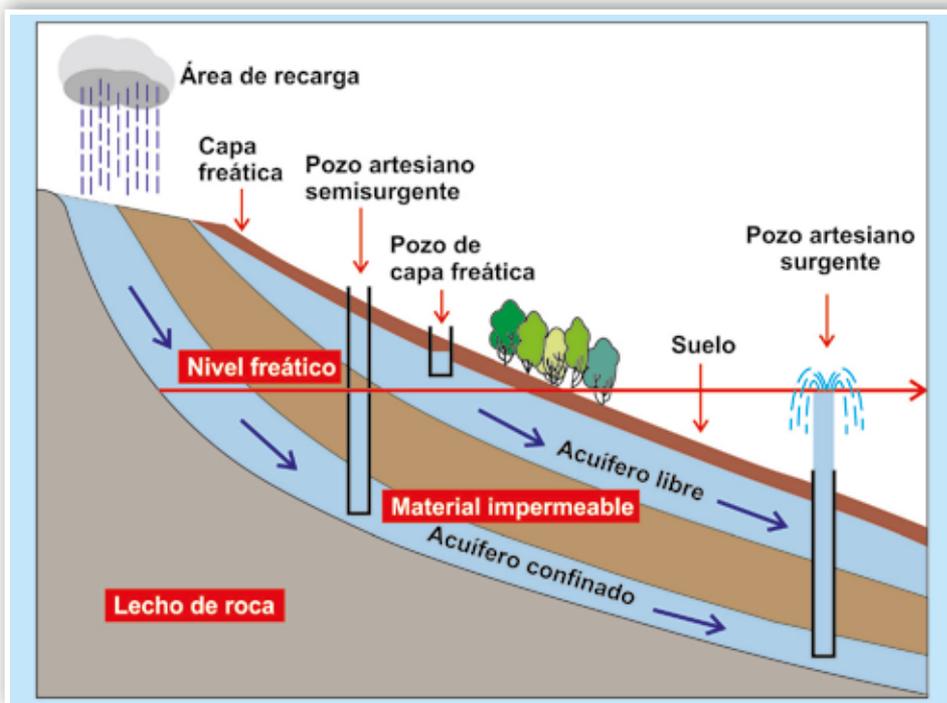
Material poroso ocupado por agua subterránea

El agua subterránea, de acuerdo a las distintas características de *porosidad*, *permeabilidad*, *transmisividad* y *capacidad de almacenamiento*, puede alojarse en formaciones (rocas o sedimentos) que se clasifican como:

Clasificación de la formación según su comportamiento con el agua	Característica del sedimento constituyente	Potencial para el abastecimiento de agua
Acuífero	La formación es permeable y tiene la capacidad de almacenar agua y transmitirla de forma ideal.	Es posible la captación de agua y su explotación para el consumo.
Acuífugo	La formación es impermeable. No tiene la capacidad de almacenar ni de transmitir agua, excepto que haya fracturas o presente fenómenos de <b>karstificación*</b> .	No contiene agua.

Y, según el grado de conexión con la atmósfera a través de los poros del material, un acuífero puede ser: *libre* (freático o no confinado) y *confinado*.

Clasificación según la presión hidrostática encerrada en los Poros:	Características del acuífero
Acuíferos libres, freáticos o no confinados	En ellos el agua presenta una superficie libre, en la cual domina solamente la presión atmosférica. Esta zona normalmente se conoce como superficie freática, y el nivel entre el cual oscila el agua en esta zona, se conoce como nivel freático. La circulación del agua freática se lleva a cabo en dirección de la pendiente de la superficie freática cuya velocidad depende fundamentalmente del gradiente hidráulico.
Acuíferos confinados o artesianos	Son acuíferos atrapados entre dos formaciones geológicas impermeables, una por encima y otra por debajo. Esto evita que sus aguas tengan contacto con el agua de otros acuíferos y con el agua freática cuya velocidad depende del gradiente hidráulico libre.



Esquema de los diferentes acuíferos

En Argentina hay yacimientos convencionales distribuidos en cinco grandes cuencas: Noroeste, Cuyana, Neuquina, Golfo de San Jorge y Austral y otros no convencionales, como la Formación Vaca Muerta en la Cuenca Neuquina y en la cuenca del Golfo de San Jorge, en Chubut y Santa Cruz.

**El ejemplo de Vaca Muerta**  
 La formación Vaca Muerta se encuentra en la Cuenca Neuquina, con una superficie de 30 mil km<sup>2</sup>. Los resultados obtenidos en la etapa exploratoria han permitido confirmar que tiene un enorme potencial para la obtención de gas y petróleo que alcanzan los 16,2 miles de millones de barriles, que se explotarán mediante la técnica de fracturación hidráulica o fracking. Este yacimiento no convencional consiste en una formación sedimentaria que se habría desarrollado como consecuencia de una inundación marina ocurrida hace 150-200 millones de años (Período Jurásico) en la cual los hidrocarburos se habrían alojado en rocas de muy baja porosidad y casi impermeable, denominada vulgarmente "shale". La formación tiene entre 60 y 520 metros de espesor y se encuentra a una profundidad mayor a los 2.500 metros, muy por debajo de los acuíferos de agua dulce, lo cual hace más segura su extracción y disminuye los riesgos ambientales.



Distribución de cuencas petroleras en Argentina

## Fracturación hidráulica (fracking)

El método de **fracturación hidráulica o fracking** permite aumentar artificialmente la porosidad y permeabilidad de los yacimientos no convencionales. Consiste en inyectar un líquido, compuesto esencialmente por agua y arena, con suficiente presión como para generar microfisuras en la roca generadora. Estas pequeñas fracturas, apuntaladas por los granos de arena inyectada, permanecen abiertas generando la permeabilidad necesaria para que los hidrocarburos puedan ser extraídos.



Yacimiento Vaca Muerta

## Energía Nuclear

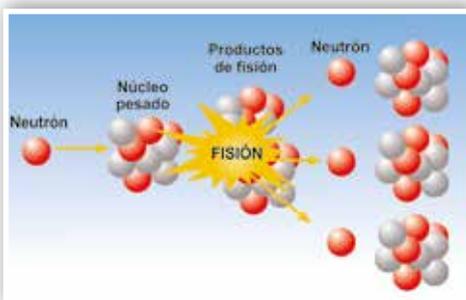
Este tipo de energía es la que se obtiene mediante la manipulación de la estructura interna de los átomos. Se puede obtener mediante la división del núcleo (**fisión nuclear**) o la unión de dos átomos (**fusión nuclear**).

El Uranio natural es uno de los elementos radiactivos más utilizado como fuente para obtener energía nuclear; es relativamente común en la corteza terrestre y los minerales a partir de los cuales se lo obtiene, deben procesarse antes de que pueda usarse como combustible. El Uranio está formado básicamente por dos **isótopos\***, **U-238** y **U-235** cuyas abundancias son del 99,28% y el 0.71% respetivamente.

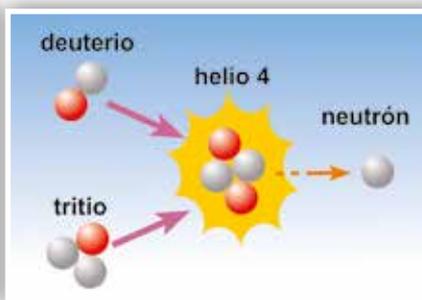
**La fisión nuclear** se produce cuando el núcleo de un átomo es impactado por una partícula sub atómica (**neutrón\***) lo que divide al núcleo en fragmentos menores y libera grandes cantidades de energía. La suma de la masa de estos fragmentos es menor a las masas del núcleo original y esa diferencia de masas corresponde a la energía producida, según la ecuación de Einstein ( $E=mc^2$ ).

**La fusión nuclear** se da cuando dos núcleos de átomos livianos, como el hidrógeno se unen para formar otro núcleo más pesado, como el helio. Esta reacción de fusión se produce con una pérdida de masa que se traduce en la liberación de gran cantidad de energía. Las estrellas, incluido el Sol, experimentan constantemente reacciones de fusión nuclear. La luz y el calor que percibimos del Sol es el resultado de estas reacciones nucleares de fusión. La energía liberada llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética.

El uranio es aproximadamente 500 veces más abundante que el oro y tan común como el estaño. Está presente en la mayoría de las rocas y suelos, como así también en ríos y agua del mar. Por ejemplo, se encuentra en concentraciones de aproximadamente cuatro partes por millón (4 ppm) en rocas graníticas, que constituye aproximadamente el 60% de la corteza de la tierra. En fertilizantes, la concentración puede ser tan alta como 400 ppm (0,04%), y algunos depósitos de carbón contienen uranio en concentración mayor que 100 ppm (0,01%).



Fisión nuclear



Fusión nuclear

## El camino del Uranio

### Desechos nucleares

Luego de operar cierto tiempo, la concentración de productos de desecho dentro de las vainas combustibles hace que ya no sea económicamente rentable su uso y éstas deben ser removidas. Este material emite radiaciones y desprende calor por lo que inmediatamente se deben tomar precauciones adicionales para su almacenamiento a fin de que hasta tanto se enfríe y disminuya su nivel de radiación, no sea peligroso.

Esto se hace en grandes piletones de agua, que por un lado absorbe el calor y por otro actúa como un escudo deteniendo las radiaciones y en ellas se lo mantiene por aproximadamente 5 meses, al cabo de los cuales se decide su reprocesamiento o su descarte definitivo.

Los principales minerales de mena de uranio son **Uraninita o Pechblenda (UO<sub>2</sub>)** que se presenta en cristales cúbicos de color negro o en masas granulares o en agregados.

Es altamente radiactivo y se forma en las pegmatitas y filones hidrotermales y en ambientes sedimentarios. La minería del Uranio implica tanto técnicas de extracción a cielo abierto como en galerías subterráneas.

El mineral extraído se procesa para reducir el material a polvo y a continuación, se extrae el uranio mediante lixiviado químico. El proceso de molienda habitualmente produce un polvo seco formado por uranio natural, "**yellowcake**" (torta amarilla), la cual se vende en el mercado de uranio como U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> que es una aproximación a la composición química de sus óxidos naturales.. El mineral concentrado generalmente contiene más de 60% de uranio.

El producto de la molienda del mineral no es directamente utilizable como combustible para un reactor nuclear. Se requiere generalmente un proceso adicional llamado **conversión**, mediante la cual se convierte el mineral en óxidos de uranio (UO<sub>2</sub>).

En los tipos más comunes de reactores nucleares se requiere un tenor de U-235 más alto que el natural y mediante el proceso de **enriquecimiento** se puede llegar a los valores utilizables.

Para su uso como combustible nuclear, el UF<sub>6</sub> (hexafluoruro de uranio) enriquecido se convierte en polvo de dióxido de uranio (UO<sub>2</sub>) el cual a continuación se procesa en forma de pastillas cerámicas de forma cilíndrica.

Uno de los usos más comunes del proceso de fisión nuclear es la producción de energía eléctrica. Las centrales nucleares no contaminan al ambiente con dióxido de carbono. Por esa razón, son propuestas como alternativa para contrarrestar al efecto invernadero.

La fisión del uranio se usa como una fuente de calor de la misma manera que se quema el carbón, gas o el gasoil en una planta termoelectrica.

Dentro de un reactor nuclear los núcleos de U-235 se fisionan y liberan una gran cantidad de energía calórica que produce el vapor de agua para mover las turbinas del generador eléctrico.

El dióxido de carbono, generado al quemar combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón), tiene la propiedad de absorber la luz; por eso, cuando aumenta su concentración en la atmósfera también se incrementa la temperatura promedio en la Tierra. El efecto invernadero está alterando el balance hasta ahora natural entre la energía que llega desde el sol y la vuelta a emitir hacia el espacio, produciendo como consecuencia un recalentamiento que determinará un ascenso del nivel del mar y desequilibrios climáticos impredecibles.

Habría que balancear el riesgo derivado de los desechos nucleares con la liberación de enormes volúmenes de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

**Coladas de barro (lahares) y avalanchas:** Se producen cuando el agua proveniente de la lluvia o de masas de hielo que caen por las laderas del volcán incorporan ceniza, suelo, rocas, árboles y todo lo que encuentren a su paso, siguiendo usualmente las redes de drenaje naturales.



Coladas de lava

Volcanes más destructivos de la historia			
Volcán	País	Año	Muertos
Monte Tambora	Indonesia	1815	82000
Laki	Islandia	1783	39000
Krakatoa	Indonesia	1883	36000
Monte Pelée	Martinica	1902	30000
Nevado de Ruiz	Colombia	1985	25000
Monte Vesubio	Italia	79	2100



Nubes ardientes

## Inundaciones

Pocos son los sitios alrededor del mundo que no deban preocuparse por las inundaciones. Las inundaciones más usuales son las denominadas:

**Inundaciones fluviales:** Que se ocasionan debido a precipitaciones torrenciales o súbitos deshielos que se dirigen hacia un cauce de agua que va hacia un colector mayor, provocando el desborde en zonas amplias.



Inundaciones fluviales

Otro tipo son las *Inundaciones debidas a tormentas costeras*, que se originan cuando las lluvias huracanadas sobre el mar hacen que el agua ingrese a tierra firme y consecuentemente ingrese por las desembocaduras de los ríos y deltas, provocando que se eleve el nivel del agua en la zona costera y su consecuente inundación. Esto se agrava si las lluvias coinciden con marea alta.

**Inundaciones relámpago:** Producidas por lluvias torrenciales locales que afectan a cauces pequeños, provocando daños graves en la población local.

**Inundaciones por influencia humana:** Esto se debe a que las actividades humanas como ser la deforestación y la construcción (que implica la tala de árboles y la disminución de la vegetación), modifican la capacidad de infiltración del suelo.

Además, es frecuente la acumulación de desechos en las inmediaciones de los ríos, lo que ocasiona inundaciones locales.

El mayor daño causado por este fenómeno natural está relacionado, casi exclusivamente con la rapidez de su generación, que no permite tomar los recaudos necesarios para disminuir los daños ni permitir la evacuación.

Un accionar responsable frente a este riesgo debe considerar la ejecución de obras de ingeniería, de diferentes magnitudes, de carácter preventivo.

## Tipos de procesos geológicos

El carácter de un determinado peligro geológico y el consecuente riesgo asociado a éste depende exclusivamente del relieve, clima y tipo de suelo de la región considerada. Inclusive, suelen manifestarse más de un proceso geológico en un mismo sitio y es común que uno de ellos desencadene un segundo proceso. Por ejemplo la erosión fluvial puede desencadenar **remoción en masa\***.

Por esta razón, cuando se evalúa la peligrosidad de un proceso geológico se estudian todos los procesos factibles de manifestarse en la zona considerada. En Argentina existe una serie de procesos geológicos que causan peligrosidad geológica, los cuales están vinculados frecuentemente a inundación, vulcanismo, sismicidad, remoción en masa y erosión, como se resume en la tabla.

	Procesos	Peligros
Según de donde proviene el agente	Geológicos endógenos	Sismos, vulcanismo, licuefacción
	Geológicos exógenos	Remoción en masa, erosión, meteorización, inundación, etc.
Según la disciplina que los estudian	Tectónicos	Sismicidad, licuefacción
	Volcánicos	Depositación de cenizas
	Edáficos	Salinización, acidificación, disolución, etc.
	Hidrogeológicos	Inundación, etc.
Según el cambio de pendiente	Construccionales	Sedimentación, vulcanismo, etc.
	Degradacionales	Erosión, meteorización, remoción en masa, etc.

