



**COMPETENCIA SOBRE AGUA, ENERGÍA, minería Y  
AMBIENTE**

**11° ciclo – año 2017**

**Bibliografía 3° programa:**

**Temas:**

- 1) EL CICLO DEL AGUA**
- 2) CONCEPTOS DE GEOLOGÍA (el interior de la tierra)**
- 3) LOS MÚLTIPLES USOS DE LOS MINERALES**

# 1 - El Ciclo del agua

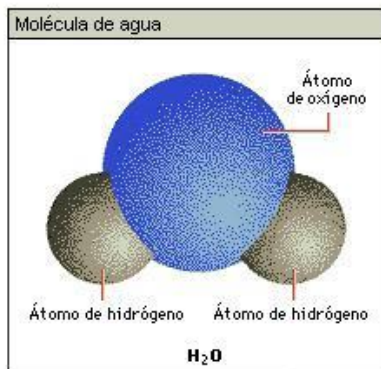
## Introducción

*Cuando se publicaron por primera vez las fotografías en que se veía la tierra desde el espacio tuvimos una revelación: vimos un planeta asombrosamente bello. Es la existencia de agua abundante lo que hace de la tierra un planeta tan bello. No causaron sorpresa las enormes extensiones de océano de un azul vívido cubiertas por brillantes nubes, pero la realidad superó las expectativas de todos. Las fotografías trajeron a casa de todos los que las vieron, la importancia del agua en nuestro planeta. (E.C. Pielou, Fresh Water, Preface, 1998)*

El agua es una necesidad absoluta, simplemente no podemos vivir sin agua.

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3.000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. Su naturaleza se compone de tres átomos, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, que unidos entre sí forman una molécula de agua ( $H_2O$ ), la unidad mínima en que ésta se puede encontrar. La forma en que estas moléculas se unen entre sí determinará la forma en que encontramos el agua en nuestro entorno: como líquidos, en lluvias, ríos, océanos, etc.; como sólidos, en témpanos y nieves; o como gas, en las nubes.

Se halla en forma líquida entre cero y  $100^{\circ}C$ , sólida a cero grados y por debajo de esta temperatura, y gaseosa a  $100^{\circ}C$  y por encima de esa temperatura.



Es el componente más abundante de la Tierra y podemos encontrarla dulce y salada: esta última en un 97 %, y la primera en un 3%. Pero debe recordarse que sólo el agua dulce es apta para consumo humano. A pesar de que existen técnicas de desalinización, son muy costosas y no son sustentables en grandes volúmenes, y por ello, a diferencia de lo que se cree, el agua apta para el consumo humano es un recurso escaso.

Cerca de un 69% del agua dulce del planeta está en glaciares y nieves eternas, un 30% está constituido por aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0,7% se encuentra en forma de ríos y lagos.

La disponibilidad de agua es fundamental para el mantenimiento de los ecosistemas, las comunidades, la industria, la agricultura y las actividades comerciales; su presencia o ausencia con calidad y volumen suficiente tiene efectos significativos en la sustentabilidad de la vida. Por ende, es importante que los ingenieros y científicos ambientalistas comprendan a plenitud las fuentes de agua y su distribución en la naturaleza.

La **hidrología** es una actividad multidisciplinaria que se centra en la cuestión de cuánta agua puede esperarse que haya en un sitio y momento dados. Su aplicación es importante para garantizar el abastecimiento adecuado de agua con respecto al suministro de agua potable, irrigación y usos industriales, así como con el fin de distribución del agua en la superficie terrestre o por encima de ella. Abarca el agua de lagos, ríos y otras corrientes, tanto en tierra como en el aire. La hidrología del agua subterránea trata sobre la distribución de este líquido en materiales geológicos subterráneos, como la arena, roca o grava.

## El ciclo del agua ó ciclo hidrológico

El agua está siempre en movimiento. La característica más esencial del agua es que es dinámica. Constantemente se evapora del mar, lagos, suelo y hojas; se transporta hacia la atmósfera, cae sobre el suelo, recorre la superficie del suelo, se infiltra y fluye posteriormente a través de los estratos de roca hasta los acuíferos. Finalmente el agua encuentra el camino hacia el mar, de hecho el agua nunca descansa y constantemente se recicla.

El **ciclo natural del agua o ciclo hidrológico**, es el medio por el cual el agua en sus tres formas – sólida, líquida y gaseosa- circula a través de la biosfera. El agua que se pierde en la superficie, se dirige hacia la atmósfera, bien por **evaporación** de la superficie de los lagos, ríos y océanos, o bien a través de la **evapotranspiración** de las plantas. Forma nubes que, al **condensarse** luego **precipitan** en forma de lluvia, nieve o granizo. El agua que recoge la tierra **fluye** hacia el océano por los cursos de agua, y se **infiltra** en el interior de la tierra para constituir el agua subterránea, también el agua subterránea finalmente fluye hacia los océanos.

En síntesis el ciclo hidrológico describe el movimiento y conservación del agua en la Tierra. Abarca toda el agua presente sobre la superficie del planeta o debajo de ella, es decir, el agua de mar y dulce, agua subterránea y superficial, agua presente en las nubes y la atrapada en rocas por debajo de la superficie terrestre.



Cuando el hombre interviene en el ciclo natural del agua se generan **ciclos hidrológicos artificiales o ciclos hidrológicos urbanos**: estos son los que hemos creado, controlado y del que somos dependientes, y consisten en el suministro de agua, la purificación, el uso y la conducción, para reutilizarla en las principales áreas metropolitanas. Un ciclo hecho por el hombre que imita al ciclo hidrológico de la naturaleza.

## Etapas del ciclo hidrológico

El agua se transfiere a la atmósfera mediante dos procesos distintos: 1) evaporación, y 2) transpiración. Un tercer proceso se deriva de ambos y se llama evapotranspiración.

La **evaporación** es la conversión del agua líquida de los lagos corrientes y otros cuerpos de agua en vapor.

La **transpiración** es el proceso por el que las plantas emiten agua por medio de sus estomas, pequeños orificios en el anverso de las hojas que están conectados con el tejido vascular. Ocurre principalmente durante la fotosíntesis, cuando las estomas de las hojas están abiertas para la transferencia de dióxido de carbono y oxígeno.

Es frecuente que sea problemático distinguir entre la evaporación verdadera y la transpiración, de modo que los hidrólogos usan el término **evapotranspiración** para referirse a las pérdidas de agua combinadas por transpiración y evaporación.

La **precipitación** es el principal mecanismo por el que se libera agua de la atmósfera. Asume varias formas: la más frecuente en regiones de clima templado es la lluvia. Además puede presentarse en forma de granizo, nieve, aguanieve y granizo.

Al precipitarse el agua a la superficie terrestre, las gotas pueden caer en ríos y otras corrientes: el llamado **escurrimiento superficial, flujo terrestre o escurrimiento directo**; moverse de manera lateral justo en el plano inferior a la superficie terrestre: **injerflujo**; o desplazarse verticalmente a través del suelo y convertirse en agua subterránea: **infiltración o percolación**.

El movimiento del agua a través de las diversas fases del ciclo hidrológico es muy complejo dada su naturaleza errática en lo temporal y espacial.

Uno de los cálculos más sencillos que aplican los hidrólogos es el del agua de un lago: se analizan la afluencia y el desagüe lacustres de agua. El agua fluye hacia el lago proveniente de cualquiera de los ríos u otras corrientes (naturales o antropogénicas, entre éstas las industriales) por escurrimiento del agua superficial en la ribera, por precipitación directa o por filtración originada en el agua subterránea hacia el sedimento del fondo lacustre. El agua sale del lago mediante cualquiera de los ríos u otras corrientes originadas en él; por extracción para usos municipales, industriales o agrícolas; o por evaporación, evapotranspiración o filtrado a través de los sedimentos del fondo lacustre. A los hidrólogos les interesa determinar el volumen neto (masa) de agua que el lago gana o pierde en un período dado. Los hidrólogos se refieren a éste como un **problema de almacenamiento**.

Los hidrólogos frecuentemente se interesan en sistemas que incluyen lagos, ríos, terrenos circundantes e incluso el agua subterránea de los materiales geológicos que están debajo del suelo. Estos sistemas se llaman **cuencas**. La cuenca se define como la topografía circundante. El límite de una cuenca es una **divisoria de aguas**, el punto más alto que rodea la cuenca. Toda agua que cae por dentro de la divisoria puede fluir hacia las corrientes de la cuenca, contenidas dentro de los límites de la divisoria de aguas. El agua que cae por fuera de la divisoria fluye hacia otra cuenca.

## Precipitación

La precipitación es el aporte primario al ciclo hidrológico, medirla con precisión resulta indispensable para el diseño de proyectos exitosos destinados a manejar recursos hidrológicos, en particular los correspondientes al control de inundaciones.

En meteorología, la **precipitación** es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Esto incluye lluvia, llovizna, nieve, cinarra, granizo; pero no la virga, ni neblina, ni rocío.

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico porque es responsable de depositar agua fresca en el planeta. La precipitación es generada por las nubes cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo) que se forman caen a la Tierra por gravedad.

## Clasificación y descripción de los hidrometeoros

Según la Organización Mundial de la Meteorología, un meteoro es un fenómeno que tiene lugar en la atmósfera y que consiste en una suspensión, precipitación o deposición de partículas. Los hidrometeoros, también llamados meteoros acuosos son fenómenos formados por partículas acuosas, y pueden clasificarse según como se forman o manifiestan en la atmósfera de la siguiente manera:

<p><b>Formados por la modificación del vapor de agua en suspensión en la atmósfera:</b> Son los meteoros formados por partículas muy pequeñas de agua o de hielo que se encuentran en suspensión en la atmósfera y que dificultan notablemente la visión</p>	<p><b>Niebla</b></p>	<p>Hidrometeoro formado por gotas de agua muy pequeñas, que pueden verse a simple vista, y que reducen la visibilidad horizontal por debajo de un kilómetro. Se produce principalmente en otoño e invierno y casi nunca en verano.</p> <p>La intensidad de la niebla se gradúa por la distancia de la visibilidad horizontal. Existen tres grados, es <b>débil</b> cuando lo que se ve está comprendido entre los 500 y los 1.000 metros; será <b>moderada</b> para distancias entre los 50 y los 500 metros y <b>densa</b> cuando la visibilidad sea inferior a los 50 metros.</p>
	<p><b>Neblina</b></p>	<p>Hidrometeoro formado por gotas de agua microscópicas que reducen la visibilidad entre 1 y 10 kilómetros con una humedad relativa superior al 80%. También es conocido con el nombre de bruma. Es un fenómeno meteorológico muy habitual en cualquier momento del año, aunque en los meses de verano se da en muy contadas ocasiones.</p>
<p><b>Depositados sobre objetos en la superficie terrestre:</b> meteoros que se producen cuando el vapor de agua atmosférico se condensa sobre objetos que se encuentran en el suelo</p>	<p><b>Rocío</b></p>	<p>El depósito está formado por gotitas de agua. Se produce con humedades entre el 80 y el 100%, según temperaturas. Es típico del otoño y de la primavera, raro en el invierno, y casi no se produce en el verano. Se observa principalmente al amanecer, después de noches despejadas y de poco viento y es más frecuente en los lugares bajos y llanos que en las cumbres o en las laderas montañosas. Físicamente, este meteoro se produce cuando un objeto en la superficie terrestre se enfría por debajo de la temperatura de condensación de la capa de aire cercana a él, que por tanto no puede contener tanto vapor de agua, con lo cual se produce la condensación y la formación del rocío sobre dicho objeto. El <i>rocío blanco</i> es un depósito de gotas de rocío congeladas posteriormente.</p>
	<p><b>Escarcha</b></p>	<p>En este caso el depósito es de cristales de hielo y no de gotas de agua como en el caso anterior. La formación es idéntica a la del rocío pero con temperaturas cercanas o inferiores a los 0 grados centígrados; por tanto, lo veremos principalmente durante el invierno y momentos fríos de otoño y primavera.</p>
	<p><b>Helada</b></p>	<p>Es la congelación directa de la humedad en el suelo,</p>

		formándose una capa vidriosa y muy resbaladiza. Típica de tiempo muy frío.
	<b>Cencellada</b>	Se produce cuando en una zona de niebla con algo de viento, las gotículas se congelan rápidamente al entrar en contacto con los objetos cercanos al suelo, principalmente sobre las superficies expuestas al viento. Si el fenómeno es duradero da la sensación de haber nevado y puede acumularse, sobre todo al lado opuesto de donde sopla el viento, formando en postes de telégrafo o teléfono auténticas "banderolas". Es típico de momentos fríos del otoño y del invierno. También se conoce con el nombre de niebla helada.
<b>Partículas levantadas de la superficie terrestre por el viento:</b> se trata de partículas de agua o hielo que debido a la acción del viento son levantadas del suelo.	<b>Rociones</b>	Conjunto de gotitas de agua arrancadas por el viento en la superficie de una gran extensión de agua, generalmente en las crestas de las olas, y transportadas a poca distancia en la atmósfera.
	<b>Ventisca</b>	Conjunto de partículas de nieve levantadas del suelo por un viento bastante fuerte y turbulento. Si la altura a la que son levantadas no es muy grande, se dice que la ventisca es baja; pero si por el contrario son elevadas a grandes alturas, nos encontraremos ante una ventisca alta.
<b>Partículas que caen libremente en el seno de la atmósfera sin llegar al suelo</b>	<b>Virga</b>	En ciertos momentos del año, principalmente en los meses de verano, aunque puede darse en cualquier época del año, la atmósfera que se encuentra por debajo de una masa nubosa está muy seca y cuando se inicia la caída de las gotitas nubosas desde la base de la nube empiezan a evaporarse rápidamente y no tienen tiempo de alcanzar el suelo. Es el meteoro llamado virga lo podemos observar a modo de "cortinas" que cuelgan de la base de las nubes.
<b>Partículas que caen por la atmósfera y alcanzan la superficie terrestre:</b> <i>Es lo que habitualmente llamamos precipitación y son los meteoros formados por partículas líquidas o sólidas, según la temperatura ambiente, que caen desde las nubes y que llegan hasta el suelo con más o menos velocidad.</i>	<b>Lluvia</b>	Se produce cuando la precipitación es de partículas líquidas en forma de gotas de agua con un diámetro superior a 0.5 milímetros y que caen con velocidad apreciable, o bien de gotas algo más pequeñas, pero que caen muy dispersas.
	<b>Llovizna</b>	Es una precipitación muy uniforme, constituída solamente por gotas de agua con un tamaño inferior a 0.5 mm y que caen muy próximas unas a otras y con una velocidad de caída muy pequeña.
	<b>Nevada</b>	Esta precipitación es en forma de cristales de hielo estrellados o ramificados. Procede de las mismas nubes que la lluvia; y si la temperatura del aire no ha descendido mucho, los cristales se sueldan entre sí, formando los copos, que se van depositando sobre el suelo en una capa esponjosa y de espesor creciente; pero a veces al tocar el suelo se funde y no se aglomera, se dice entonces que no "cuaja". Cuando caen mezclados agua y nieve o los cristales de nieve están muy húmedos, se habla de <i>agua nieve</i> .
	<b>Granizo</b>	Se produce cuando la precipitación es en forma de partículas de hielo más o menos redondeadas y con un diámetro comprendido entre 5 a 50 milímetros y a veces mayores -el temible <b>pedrisco</b> -. Sólo cae en forma de chubasco y la única nube que puede producirlo es el cúmulonimbus. Suelen ser esféricos y si los cortamos veremos que están constituidos

		por un núcleo de hielo envuelto en capas concéntricas a modo de una "cebolla", su formación requiere de mucho tiempo dentro de la nube. Hay pedriscos excepcionales en tamaño que son fatales para la agricultura por los destrozos que producen, pero también el granizo ordinario hace mucho daño por su velocidad de caída actuando como auténticos "perdigones" que acribillan a plantas y árboles.
	<b>Chubasco</b>	Es la precipitación de partículas líquidas o sólidas, que se caracteriza por un inicio y una finalización brusca, junto con una variación violenta y rápida de la intensidad de la caída. La cantidad de precipitación recogida resulta en la mayoría de los casos muy abundante, siendo la única nube que puede provocarlos el cúmulonimbus; aunque a veces, se puede producir de los cúmulus de gran desarrollo vertical. También se le conoce con el nombre de chaparrón o aguacero.
	<b>Nieve granulada</b>	Meteoro formado por gránulos de hielo, blancos y opacos, esféricos la mayoría de las veces, con un diámetro comprendido entre 2 y 5 milímetros. Se produce en situaciones en que las capas medias de la troposfera están especialmente frías, pero con poco contenido de vapor de agua. Podemos considerarla como una precipitación que se encuentra entre la nieve y el granizo, de ahí su nombre.
	<b>Cinarra</b>	Precipitación en forma sólida, con el tamaño de los gránulos de hielo que no sobrepasa el milímetro y con una forma alargada. Meteoro muy parecido al anterior pero que se produce en condiciones de menor temperatura y mayor sequedad ambiental.
	<b>Prismas de hielo</b>	Esta precipitación es difícil de observar, ya que se produce en muy pocas ocasiones. Es una caída de cristales de hielo en forma de agujas o de columnas, normalmente muy tenues y que dan la sensación de estar en suspensión en la atmósfera. Este fenómeno se da cuando en toda la troposfera la temperatura es muy baja, provocando que el vapor de agua se congele directamente con mucha facilidad y comience su caída. Debido a esta formación, este meteoro tiene la peculiaridad de poderse producir con el cielo despejado.
	<b>Lluvia o llovizna helada</b>	Se produce cuando cualquiera de estos dos tipos de precipitación se congela cuando entra en contacto con la superficie del suelo. La congelación de la gota o gotita, debe ser instantánea, con lo que se forma una película uniforme de hielo sobre la superficie de contacto, lo que concede a este tipo de precipitación un peligro muy grande, provocando caídas a las personas, accidentes de tráfico y roturas generalizadas de los cables del tendido eléctrico.

Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial la lluvia es la precipitación de partículas de agua líquida de diámetro mayor de 0.5 mm o de gotas menores pero muy dispersas.

Que llueva depende de tres factores: la presión, la temperatura y especialmente la radiación solar. En las últimas décadas se ha producido un fenómeno que causa lluvias con mayor frecuencia cuando la radiación solar es menor, es decir, por la noche.

## Variación temporal y espacial de las precipitaciones

La variación estacional de las precipitaciones, en especial de la lluvia, define el año hidrológico. Éste da inicio en el mes siguiente al de menor precipitación media de largo periodo.

La precipitación presenta también variaciones plurianuales. Fenómenos naturales como el llamado de “El Niño” produce variaciones importantes en la costa del norte de Perú y Ecuador. Por otro lado, fenómenos como los ciclones tropicales contribuyen a generar precipitaciones pluviales en diversas regiones del mundo.

La precipitación pluvial varía mucho en el ámbito regional. Las diferencias de precipitación pueden ser significativas, inclusive a distancia de unos cuantos cientos de kilómetros.

La precipitación tiende a disminuir con la latitud creciente, ya que las temperaturas decrecientes reducen la humedad atmosférica. Sin embargo, existen salvedades. Además, la lluvia suele disminuir conforme aumenta la distancia con respecto de un cuerpo de agua, como es evidente en la concentración de la precipitación en las costas, y hasta cierto punto, a sotavento de los grandes lagos. Las cadenas montañosas son otro factor importante en la precipitación pluvial: es habitual que ésta sea más intensa en la ladera de barlovento de las montañas, mientras que la de sotavento usualmente está en la sombra de la lluvia. La latitud, la temperatura anual y el contenido máximo de agua contribuyen al volumen de precipitación. Sin embargo, otros factores importantes son las corrientes oceánicas y el comportamiento atmosférico global. La precipitación no sólo varía en forma regional, sino también en el tiempo. Estos cambios temporales pueden ser muy significativos y determinan la importancia de diseñar depósitos que sean adecuados durante años de poca lluvia y presas que tengan la capacidad de garantizar el control adecuado de inundaciones.

La precipitación puede medirse con **pluviómetros**, que permiten obtener datos puntuales para un área muy limitada, (frecuentemente menor de unos 20 cm de diámetro) u obtenerse datos de áreas mediante **radar** (en cuyo caso es mucho mayor el área respecto de la cual se promedian las tasas, por lo general de unos 2,5 km<sup>2</sup>). Cada método tiene sus ventajas y desventajas. Si bien los pluviómetros pueden generar datos muy precisos para una región muy pequeña, luego se los debe extrapolar a regiones mucho mayores. Los datos de un solo pluviómetro suelen ser suficientemente representativos para emplearlos en el diseño de proyectos pequeños. El análisis de los datos de un solo pluviómetro se llama **análisis de precipitación en un punto**. La utilización del radar tiende a permitir estimaciones razonables de la tasa de precipitación si la duración e intensidad de la tormenta es relativamente constante en el área donde se toman las mediciones. Sin embargo, las montañas pueden interferir en la recuperación de datos críticos. En regiones donde las tormentas abarcan un área muy pequeña, como el suroeste de Estados Unidos, el radar podría pasar completamente por alto estos datos importantes.

Como mencionamos anteriormente, la cantidad de precipitación varía a lo largo del mundo, de los países, incluso dentro de una misma ciudad. Por ejemplo, en Atlanta, Georgia, EE.UU., las tormentas de verano pueden producir una pulgada o más de lluvia en una calle, y dejar otras áreas no muy lejanas secas. Sin embargo, la



cantidad de lluvia que cae en el estado de Georgia durante un mes, es más de lo que cae en la ciudad de Las Vegas, Nevada, a lo largo de un año.

El record mundial promedio de lluvia anual, pertenece al Monte Waialeale, Hawai, donde el promedio es 1,140 cm (450 pulgadas) por año. Como algo excepcional se registró en este lugar, 1,630 cm. de lluvia durante un período de 12 meses, lo que corresponde a casi 5 cm. por día. En contraste a esa precipitación excesiva, tenemos Arica, Chile, donde no llovió en 14 años.

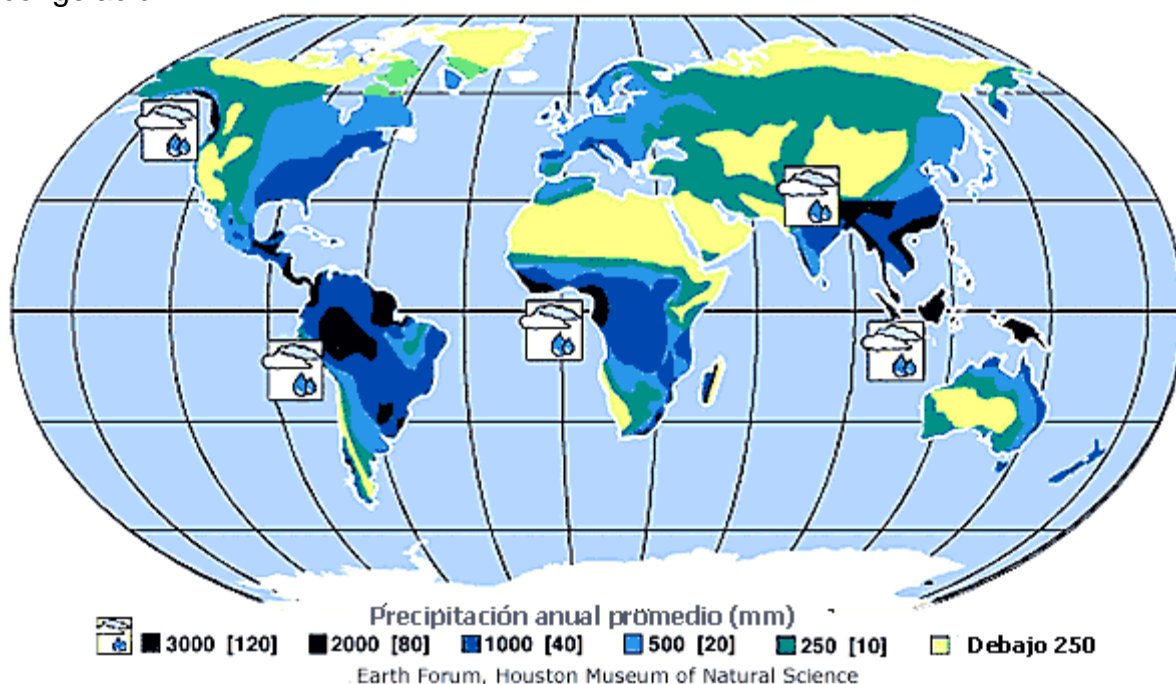
### Intensidad de las lluvias.

La cantidad de precipitación se mide en milímetros de agua caída, es decir, la altura de agua caída recogida en una superficie plana y medida en milímetros. Un milímetro de agua de lluvia equivale a 1 litro de agua por m<sup>2</sup>, que es otra forma de medir la cantidad de agua de lluvia.

La lluvia se adjetiviza respecto a la cantidad de precipitación por hora (milímetros por hora):

- **Débiles:** cuando su intensidad es menor o igual a 2 mm/h.
- **Moderadas:** mayor de 2 mm/h, hasta 15 mm/h.
- **Fuertes:** mayor de 15 mm/h hasta 30 mm/h.
- **Muy fuertes:** más de 30 mm/h hasta 60 mm/h.

El mapa a continuación muestra la precipitación anual promedio, en milímetros y pulgadas, del mundo. Las áreas verde claro pueden ser consideradas "desiertos". Tú esperabas que el Sahara en África fuese un desierto pero, ¿pensaste que gran parte de Groenlandia y la Antártida fuesen desiertos? En efecto, la Antártida también es considerada técnicamente un desierto, puesto que recibe menos de 250 milímetros de precipitación anual. Es un desierto helado: un oxímoron deshidratado por congelación.



### Evaporación

La evaporación es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial. A diferencia de la ebullición, la evaporación se puede producir a cualquier temperatura, siendo más rápida cuanto más elevada sea esta.

La evaporación es un componente significativo del ciclo hidrológico, especialmente en regiones de clima árido y semiárido, de modo que determinar o predecir con exactitud las tasas de evaporación reviste importancia para determinar la capacidad de los depósitos hechos por el hombre.

## Evapotranspiración

Este término se refiere al total de agua que sale de un área por transpiración (vapor de agua que emiten las plantas) y por evaporación del agua de los suelos, nieve y superficie de los cuerpos de agua. Es frecuente que la evapotranspiración se calcule al restar la descarga total de un área de su afluencia total de agua. El cambio de almacenamiento debe incluirse en el cálculo, salvo que sea insignificante.

La tasa de evapotranspiración potencial (pérdida máxima posible) de una zona bien irrigada de plantas con raíces (por ejemplo un campo de golf) puede acercarse a la de evaporación posible en una gran superficie de agua libre. La tasa de evapotranspiración también depende del tipo de suelo y las plantas, de la velocidad del viento y de la temperatura. El tipo de vegetales afecta de manera considerable las tasas de evapotranspiración. Por ejemplo, un roble transpiraría hasta 160 litros por día, y una planta de maíz, apenas 1,9 litros por día.

## Condensación

La condensación es el proceso por el cual el vapor de agua del aire se transforma en agua líquida. La condensación es importante para el ciclo del agua ya que **forma las nubes**. Estas nubes pueden producir precipitación, la cual es la principal forma que el agua regresa a la Tierra. La condensación es lo opuesto a la evaporación.

La condensación es responsable también de la niebla, de que se empañen tus lentes cuando pasas de un cuarto que está frío a uno más cálido, de la humedad del día, de las gotas que escurren por el lado de afuera de tu vaso y de las gotas que se forman del lado de adentro de las ventanas cuando el día está frío. Incluso en aquellos días en que el cielo está completamente despejado de nubes, el agua sigue presente en forma de vapor de agua y de pequeñas gotas demasiado pequeñas como para ser vistas.

## Infiltración

La infiltración es el movimiento neto de agua al suelo. Cuando la precipitación pluvial es mayor que la infiltración, el agua migra a través de la superficie del suelo a una velocidad que finalmente disminuye con el paso del tiempo hasta alcanzar un valor constante. La tasa de infiltración varía con la intensidad de la precipitación pluvial, el tipo de suelo, el estado de la superficie y la cubierta vegetal. Esta disminución temporal de dicha tasa se debe en realidad al llenado de los poros del suelo con agua y la consecuente reducción de la acción capilar. El tipo de suelo afecta la tasa de infiltración del agua. Cuanto más arenoso el suelo, tanto mayor será la tasa de infiltración, como cabría suponer. Cuanto más compacto el suelo, o mayor su contenido de arcilla, tanto más lenta la infiltración.

## Escorrentía superficial

La escorrentía superficial, es la escorrentía de lluvia que corre sobre el terreno. La mayor parte de las personas piensa simplemente que, la lluvia cae sobre la tierra, fluye sobre ella (escorrentía de lluvia), y corre hacia los ríos, los cuales se descargan a los océanos. Esto es algo simplificado, ya que los ríos también ganan y pierden agua a través del suelo. Sin embargo, la mayor parte del agua de los ríos proviene directamente de la escorrentía que fluye por la superficie, denominada escorrentía superficial.

Generalmente, parte de la lluvia que cae es absorbida por el suelo (infiltración), pero cuando la lluvia cae sobre un suelo saturado o impermeable comienza a correr sobre el suelo, siguiendo la pendiente del mismo.

Como sucede en todas las partes del ciclo del agua, la relación entre precipitación y escorrentía superficial varía de acuerdo al tiempo y la geografía. Tormentas similares en la selva Amazónica y en el desierto del sudoeste de EE.UU. tendrán distintos efectos. La escorrentía superficial es afectada por factores meteorológicos y por la geología física y topografía del lugar. Únicamente un tercio de la lluvia que cae corre en forma de escorrentía hacia los océanos; la fracción restante, se evapora o es absorbida por el suelo pasando a formar parte del agua subterránea.

La escorrentía producida por el deshielo varía por estación y por año. A nivel mundial, la escorrentía producida por el derretimiento de la nieve es una parte importante del movimiento del agua en la Tierra.

En los climas fríos, la mayor parte del caudal de los ríos durante la primavera proviene de la nieve y del hielo derretido. Además de las inundaciones, el rápido derretimiento de la nieve puede causar deslizamientos de tierra y desplazamiento de materiales sólidos.

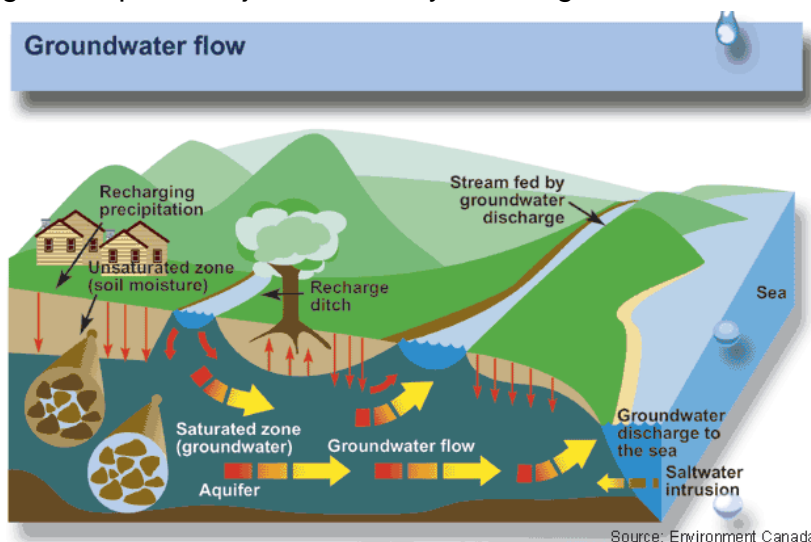
## El agua subterránea

El agua subterránea representa el mayor depósito de agua dulce que resulta fácilmente asequible a los seres humanos. Desde un punto de vista geológico, el agua subterránea es importante como agente erosivo. La acción disolvente del agua subterránea va minando lentamente las rocas solubles como la caliza, permitiendo la formación de depresiones superficiales denominadas dolinas, así como la creación de cavernas subterráneas. El agua subterránea es también un compensador del flujo de escorrentía y una forma de almacenamiento que mantiene las corrientes fluviales durante los periodos de ausencia de precipitaciones.

Cuando llueve, parte del agua discurre por la superficie, parte se evapora y el resto se adentra en el terreno. Esta última vía es la fuente primaria de prácticamente toda el agua subterránea.

Densas lluvias que caen sobre pendientes donde las capas suprayacentes están compuestas de materiales impermeables, provocaran obviamente un elevado porcentaje de agua de escorrentía. A la inversa, si la lluvia cae de manera suave y uniforme sobre pendientes más graduales, compuestas por materiales que son fácilmente penetrados por el agua, un porcentaje mucho mayor de agua se infiltrará en el suelo.

El agua subterránea es un recurso natural importante ya que ésta comprende aproximadamente un 30% del total del agua dulce, y más del 90% del agua dulce no congelada en la hidrosfera. Aunque el agua subterránea es renovable, la tasa con la que se repone suele ser más lenta que la de su extracción de la capa del subsuelo que la contiene: los **acuíferos**.



Se denomina **acuífero** a la formación geológica del subsuelo que contiene agua en sus poros y por la cual el agua fluye horizontalmente. La arena, arenisca y otras rocas sedimentarias son buenos acuíferos. También están presentes otros materiales geológicos porosos, como la caliza, el basalto fracturado o el granito erosionado.

## El agua en los océanos

La cantidad de agua "almacenada" en los océanos por largos períodos de tiempo, es mucho mayor a la que actualmente se encuentra en movimiento en el ciclo del agua. Se estima que, de los 1.386.000.000 kilómetros cúbicos (332.500.000 millas cúbicas) que hay de agua en la Tierra, alrededor de 1.338.000.000 kilómetros cúbicos (321.000.000 millas cúbicas) son almacenados en los océanos. Esto es, alrededor de un 96.5%. También se estima, que los océanos proveen de un 90% del agua que se evapora hacia la atmósfera.

Existen corrientes en los océanos que mueven grandes masas de agua alrededor de la Tierra. Estos movimientos tienen una gran influencia en el ciclo del agua y el clima. La Corriente del Golfo, es una conocida corriente cálida del Océano Atlántico, que mueve agua desde el Golfo de México a través del Océano Atlántico, hacia Gran Bretaña. A una velocidad de 97 kilómetros (60 millas) por día, la Corriente del Golfo mueve 100 veces más agua que todos los ríos sobre la Tierra. Proveniente de climas más cálidos, la Corriente del Golfo mueve agua cálida hacia el Atlántico Norte, lo cual afecta el clima de algunas áreas, por ejemplo, el Oeste de Inglaterra.

## El agua en la atmósfera

Si bien la atmósfera no es un importante almacenador de agua, es una vía rápida que el agua utiliza para moverse por el globo terráqueo. Siempre hay agua en la atmósfera. Las nubes son la forma más visible del agua en la atmósfera, pero incluso el aire limpio contiene partículas de agua que son muy pequeñas como para ser visibles. El volumen de agua en la atmósfera en cualquier momento es alrededor de 12,900 kilómetros cúbicos. Si toda el agua de la atmósfera cayera como lluvia al mismo tiempo, cubriría la superficie terrestre con una capa de agua de 2.5 cm de espesor, alrededor de 1 pulgada.

## Agua almacenada en los hielos y la nieve

El agua que es almacenada por largos períodos de tiempo en el hielo, la nieve o los glaciares, también forma parte del ciclo del agua. La mayor parte de la masa de hielo de la Tierra, alrededor del 90 por ciento, se encuentra en la Antártida, mientras que el 10 por ciento restante se encuentra en Groenlandia.

## Corrientes de agua – Cuencas hidrográficas

El término "corriente de agua" se utiliza para referirse a la cantidad de agua que corre en un río, arroyo o cañada.

Los ríos no son importantes únicamente para las personas, también lo son para el resto de los seres vivos. No son únicamente un lindo lugar para el esparcimiento, las personas también los utilizan para abastecerse de agua potable y agua de riego, para producir electricidad, para eliminar residuos (en el mejor de los casos, residuos tratados), para transportar mercadería, y como fuente de alimento. Los ríos son los principales ambientes donde se desarrollan plantas y animales. Los ríos ayudan a mantener los acuíferos llenos de agua, ya que descargan agua hacia los mismos a través de sus lechos. Y, los océanos se mantienen con agua, ya que los ríos y la escorrentía continuamente están descargando agua en ellos.

## Cuencas

El agua líquida, cumpliendo en la ley de gravedad, se desplaza con facilidad de los planos altos hacia los bajos, tratando siempre de sortear cuanto obstáculo se presente a su paso. Cuando utilizamos el término **cuenca** nos estamos refiriendo a un territorio, considerado como una unidad, porque la lluvia que cae en ella o las aguas provenientes del deshielo de las cumbres montañosas, corren por cañadas, arroyos, riachuelos, y ríos hacia un río principal, ubicado en la parte más baja del territorio. Ese río principal suele darle su nombre a la cuenca.

Cada cuenca incluye al río principal y a todos sus afluentes, por alejados que éstos parezcan estar. Las cuencas están separadas entre sí por grandes líneas divisorias conformadas por la altura del terreno, llamadas **divisorias de aguas**. Significa que las lluvias caídas a un lado de ellas y al otro, seguirán caminos bien diferentes, hasta alimentar ríos principales distantes unos de otros.

En definitiva llamamos **cuenca hidrográfica** a todo el territorio que colabora con la recolección de agua superficial que fluye o cae dentro de él. Cada cuenca incluye a todas las corrientes de agua de esa porción del territorio por pequeños que sean, siempre y cuando sus caudales finalmente alimenten al río principal.

Toda cuenca está formada por:

1. **La naciente.** Lugar donde nace el río principal de la cuenca.
2. **Los afluentes.** Son los brazos tributarios del río, las corrientes de agua que vierten sus caudales en el río.
3. **El río principal.** Es el río más importante de la cuenca. Por él pasa la gran mayoría de las aguas y sedimentos de la cuenca.
4. **La desembocadura.** Es la zona donde el río finalmente deposita sus aguas.

Tomando en cuenta la desembocadura, se puede clasificar a las cuencas en tres grandes grupos:

- **Cuenca exorreica.** Así se denomina a la cuenca cuyo río principal desagua en el océano o en mares exteriores.
- **Cuenca endorreica.** Aquella en la cual el río desemboca en mares interiores, lagos o lagunas.
- **Cuenca arreica.** Denominación asignada a aquellas cuencas en las cuales no hay cursos de agua como tales, no tienen escurrimiento de aguas superficiales. En ellas es muy difícil determinar la divisoria de aguas debido al lento escurrimiento del líquido.

En nuestra región, al río Paraná y su hermoso delta se lo considera **una cuenca aluvional**. Es tanta la cantidad de sedimentos que arrastra el Paraná que, dada la topografía del terreno que debe atravesar en su última sección, buena parte de ellos se van acumulando a su paso.

Por su forma triangular recuerda a la letra griega delta, razón por la cual desde la antigüedad se denomina así a estas estructuras (conjunto de islas formadas por el aluvión transportado por un río). El delta del Paraná tiene unos 14 mil km<sup>2</sup> y se forma por los sedimentos de buena parte de la cuenca del Plata. Su dinámica determina que el delta avance año tras año unos 80 metros. La singularidad de este delta es que, a diferencia del resto, es el único que no desemboca en el mar, sino en otro río.

## 2 - Conceptos de geología

### Introducción

#### La Geología y las disciplinas relacionadas

La **Geología** estudia la composición, la estructura, el origen y la evolución de la Tierra. De una manera más poética, aunque no menos real, suele decirse que la Geología estudia la historia de la Tierra por medio de las rocas que son las páginas de su autobiografía.

Como la historia involucra tiempos pasados, es necesario introducir un concepto básico y fundamental en Geología. La Historia del planeta es muy larga comparada con la vida y la historia del ser humano. Su orden de magnitud es de 4600 millones de años. Por eso, la unidad de medida de los tiempos geológicos es el millón de años.

La Geología es una ciencia natural que usa conocimientos de la Química y la Física como sus herramientas más importantes. Las disciplinas que la integran son:

**Mineralogía:** Estudia los minerales. Estos son las sustancias químicas que componen el mundo inorgánico.

**Petrología:** Los minerales están comúnmente mezclados en agregados que llamamos rocas. Las rocas y sus procesos de formación son el objeto de estudio de la Petrología.

**Geología Estructural o Tectónica:** Los materiales terrestres se disponen con arreglo a ciertas estructuras que lo afectan y les otorgan una fisonomía particular. Esta disciplina estudia esas estructuras, sus causas y sus efectos.

**Geocronología:** Es la que se ocupa de los tiempos geológicos. Dado que la Geología estudia la historia de la tierra, es muy importante la determinación de los tiempos en que se sucedieron los acontecimientos geológicos. En realidad se usan dos disciplinas distintas: una, la más antigua, es la *Paleontología*, que es el estudio de los animales y vegetales del pasado (es la biología del pasado), y la otra es la *Cronología Absoluta*, que consiste en la medición del tiempo necesario para la formación de una cantidad de un elemento químico determinado a partir de la desintegración de un isótopo radiactivo de un mineral.

**Geomorfología:** Estudia las formas superficiales.

Además hay algunas disciplinas que se interrelacionan con la Geología:

**Geofísica:** Estudia los fenómenos físicos que afectan al planeta y su estructura interna.

**Geoquímica:** Se ocupa del comportamiento y relaciones de los elementos químicos en la tierra.

**Geografía:** Relaciona los conocimientos geológicos con las ciencias humanas.

La **Geología económica** estudia los recursos naturales con el fin de encontrar depósitos minerales que puedan ser explotados por el hombre con un beneficio práctico o económico. La explotación de estos recursos es conocida como **minería**. La **Geotecnia** estudia las características que influyen en las obras de ingeniería. La **Geología Ambiental** se ocupa de relacionar a la Geología con el Medio Ambiente, incluyendo los riesgos geológicos, y la **Hidrogeología** estudia la presencia y circulación del agua en el subsuelo.

## La tierra. Dimensiones. Estructura y composición interna.

La tierra es el objeto de estudio de la Geología. Su forma se define como un **geoide**. Esto es un cuerpo cuya forma es cercana a una esfera algo achatada en los polos. Sus dimensiones son las siguientes:

Radio polar 6.356 Km.

Radio ecuatorial 6.378 km.

Circunferencia ecuatorial 40.054 km.

Un 70% de la superficie de la Tierra está ocupado por agua. Son los océanos, mares y otros cuerpos menores, que componen la **hidrósfera**. Solo un 30% corresponde a los continentes. A la vez, todos los cuerpos de agua están apoyados sobre una capa sólida continua, compuesta por rocas: **la corteza terrestre**; los continentes son la parte visible de esa capa.

La máxima altura continental sobre el nivel del mar es de 8.800 metros en el monte Everest (cordillera del Himalaya, en Asia). La profundidad marina alcanza más de 10.800 metros en la fosa de las Marianas, adyacente a las islas del mismo nombre, en el océano Pacífico.

Es muy poco lo que conocemos en forma directa del interior de nuestro planeta. Solo podemos observar su superficie y acceder al subsuelo hasta donde lo permitan las excavaciones y perforaciones, es decir hasta una profundidad escasa.

Las excavaciones en las minas más profundas del mundo (África del Sur) alcanzan algo más de tres kilómetros de profundidad, y las perforaciones más largas apenas superan los diez kilómetros. Si comparamos estas cifras con el radio promedio terrestre, que es de 6.370 kilómetros, nos damos cuenta de la pequeña dimensión que conocemos en forma directa. Sin embargo, a través de la Geofísica se han obtenido datos muy concretos que permiten interpretar con seriedad la estructura y composición interna del planeta, más allá de lo conocido en forma directa. Por ejemplo datos muy importantes han surgido del estudio de la propagación de las ondas sísmicas a determinadas profundidades.

Los conocimientos actuales acerca de la composición de las capas más profundas de la Tierra se han obtenido a partir de gran variedad de datos, proporcionados por los distintos métodos de estudio. Los métodos **directos** nos informan de la composición de las **capas superficiales de la Tierra**. Los métodos indirectos proporcionan datos acerca de la **composición y la estructura interna**.

### Métodos directos

Consisten en el estudio de materiales que proceden directamente de las zonas menos profundas del interior terrestre. Estos materiales son:

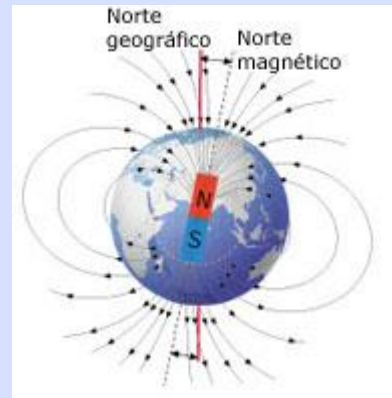
- Los que se extraen de las minas.
- Los que expulsan los volcanes.
- Los que se extraen de los sondeos profundos.
- Los que forman las raíces de las cadenas montañosas.



## Métodos indirectos

Se utilizan para deducir la composición y estructura de las zonas más profundas de la Tierra. Estos métodos utilizan los datos proporcionados por:

- Los meteoritos.
- Las ondas sísmicas.
- Las características del planeta: campo magnético, flujo térmico y campo gravitatorio.



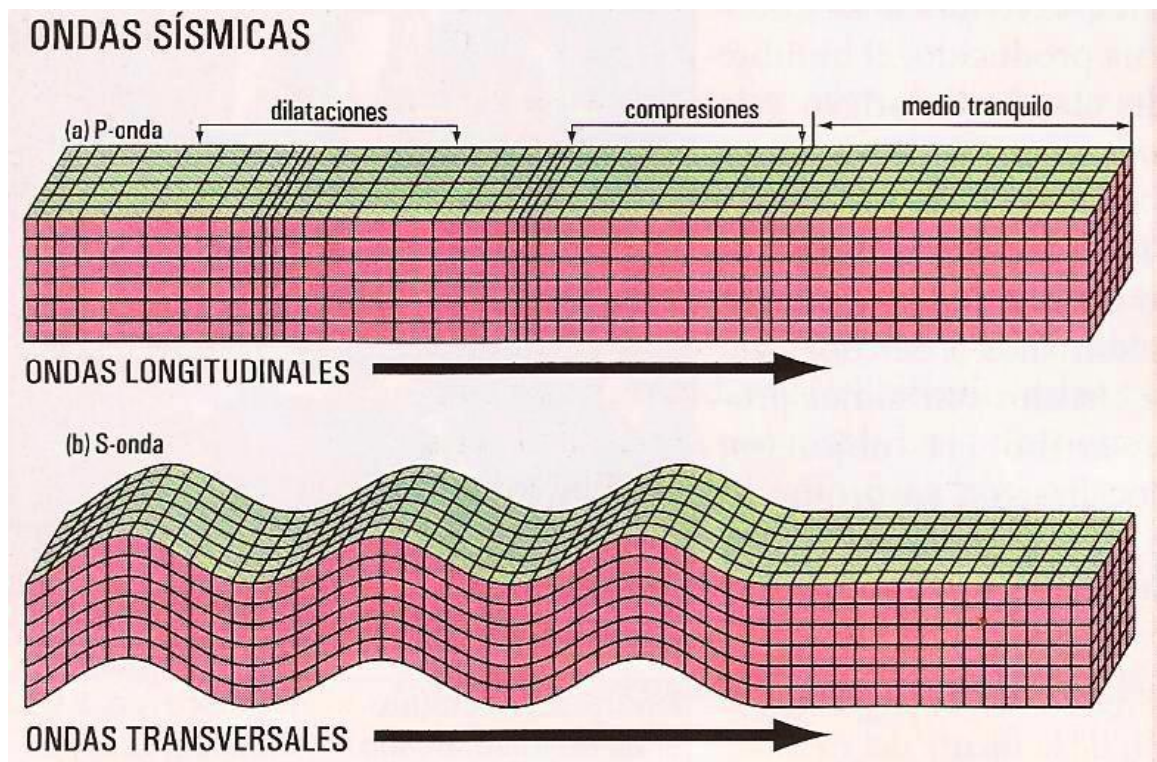
## Velocidad de propagación de las ondas sísmicas

Las ondas sísmicas se originan al desplazarse súbitamente una gran masa rocosa contra otra. Son vibraciones del terreno. Es lo que conocemos como sismo o terremoto. El "punto" de origen se llama foco o hipocentro y puede ubicarse entre 0 y 700 kilómetros de profundidad. Desde el foco se propagan, en todas direcciones, dos tipos de ondas sísmicas que a partir de cierta intensidad mínima y con instrumental adecuado, pueden captarse en cualquier parte del mundo.

Las **Ondas "P"** (primeras) son las de mayor velocidad de propagación, y por consiguiente las primeras que llegan a cualquier sitio. La dirección de vibración de estas ondas **es paralela a la dirección de propagación**. Se propagan tanto en sólidos como en líquidos.

Las **Ondas "S"** (segundas) de menor velocidad de propagación que las anteriores, producen una **vibración transversal a la dirección de propagación**. Sólo se transmiten en sólidos.

Con los registros de una adecuada red de estaciones sismográficas, los sismólogos pueden determinar las trayectorias, velocidades y otras características de la propagación de las distintas ondas.





## ¿Cómo se propagan las ondas sísmicas?

Cuando se produce una fractura en el interior de la Tierra, la energía liberada se propaga en forma de ondas sísmicas. La velocidad y propagación de las ondas sísmicas depende de las características de los materiales que atraviesan y, especialmente, de la rigidez de los mismos. Las ondas son más veloces cuando los materiales son más rígidos, y más lentas, cuando tienen poca rigidez.

Cuando las ondas sísmicas atraviesan un determinado material y llegan a otro de distintas características, cambian tanto su velocidad como su trayectoria, es decir, se refractan. Las **discontinuidades** son zonas del interior de la Tierra en las que se producen cambios bruscos en la trayectoria y velocidad de las ondas sísmicas, debido probablemente a que separan regiones con distintas características.

Estas “discontinuidades” separan medios diferentes y se considera que son los límites entre las capas internas de la tierra.

## Estructura interna de la tierra

En forma esquemática y simple, se puede considerar que la tierra está conformada por tres capas concéntricas, desde la superficie hasta su centro. Estas tres capas son:

La superficial, denominada CORTEZA, está constituida por rocas en estado sólido y que podemos observar en forma directa. Su espesor rara vez supera los 65 km.

La corteza terrestre tiene un espesor muy variable entre unos 5-6 km en zonas oceánicas y unos 20 a 65 km en zonas continentales. Debajo se sitúa la segunda capa denominada MANTO, con un espesor de unos 2.900 km y bajo éste se encuentra la tercera capa, el NÚCLEO con un espesor de unos 3.500 km. caracterizada porque los componentes minerales que la constituyen poseen una densidad muy superior a las de las capas anteriores.

Ya en 1909 el croata **A. Mohorovicic** descubrió una discontinuidad a 32 Km de profundidad, en la zona de los Balcanes. Por debajo de esa discontinuidad se produce un brusco aumento en la velocidad de propagación de las ondas, indicador de la presencia de materiales más densos. Estudios posteriores comprobaron que esa discontinuidad se encuentra en todas partes, aunque su profundidad no es constante. Por debajo de los fondos marinos está a unos 5 Km y alcanza una máximo de unos 65 Km debajo de las más altas montañas. Esta discontinuidad separa lo que actualmente se denominan **corteza y manto**.

En 1914, el alemán Beno **Gutenberg**, estudiando ciertas zonas de sombra en la recepción de ondas P y S, definió otra discontinuidad a 2900 Km de profundidad. En este caso, las ondas P sufren una notable disminución en su velocidad de propagación y las ondas S no se propagan por debajo de esa discontinuidad. Esta discontinuidad (llamada luego “Gutenberg”) separa el **manto** y el **núcleo**.

En 1926, Beno Gutenberg sugirió que las ondas sísmicas poseían una velocidad menor cuando circulaban a través de una zona situada aproximadamente entre 100 y 200 kilómetros de profundidad. Posteriores estudios, y en especial los realizados sobre ondas provocadas por explosiones nucleares, permitieron comprobar la existencia de una capa de baja velocidad ubicada entre los 60 y 250 Km de profundidad (dentro del manto superior), que se interpreta como una zona de alta plasticidad de los materiales (estado semifundido). El descubrimiento de esta capa de baja velocidad fue muy interesante por sus implicancias geológicas. A esta **capa plástica** del manto se la conoce como **asténosfera**.

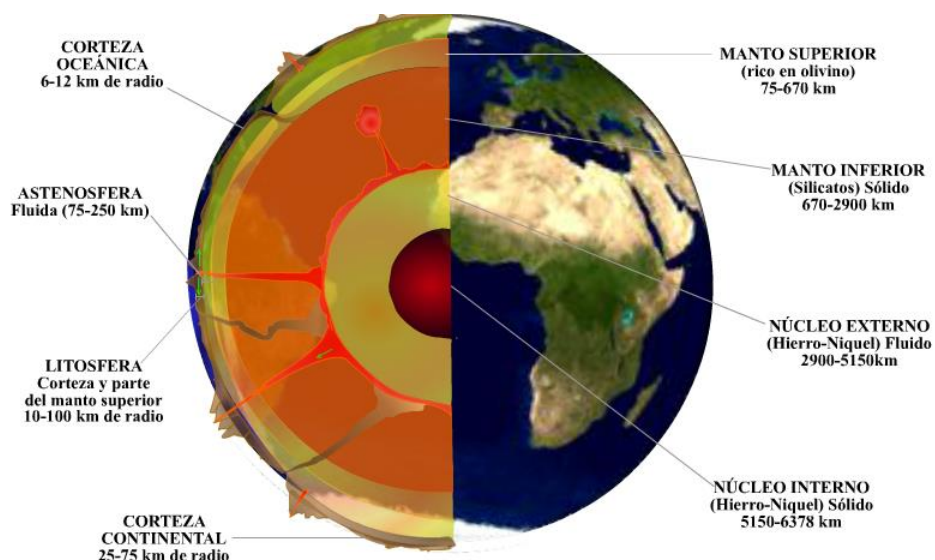
Se denomina **litósfera** a la capa más externa de la Tierra y que está formada por la corteza y la parte más externa del manto. Este conjunto se comporta como un elemento rígido que se mantiene “flotando” sobre la **asténosfera**.

En 1936, la dinamarquesa **I. Lehmann**, descubrió que el núcleo no era uniforme sino que estaba formado por dos capas, separadas por una discontinuidad a partir de la cual, las ondas P incrementan su velocidad. La llamó discontinuidad de **Wiechert**. También es conocida como “discontinuidad Lehmann-Wiechert”.

Resumiendo los datos expuestos se estableció que:

1. A una profundidad promedio de 30 Km (5 Km debajo del fondo oceánico, y de 30 a 65 Km debajo de los continentes) se encuentra la discontinuidad de Mohorovicic, en la que se produce un brusco aumento de la velocidad de propagación de las ondas “P”.
2. A una profundidad promedio de 60 Km la velocidad de propagación y la amplitud de las ondas “P” sufren una notable disminución, pero vuelven a incrementarse sostenidamente a partir de 250 Km de profundidad.
3. A 2.900 Km de profundidad las ondas “P” se refractan y su velocidad de propagación sufre un brusco descenso. Por debajo de esa profundidad no se propagan las ondas “S”. Esta es la discontinuidad de Gutenberg.
4. A 5.150 Km hay otra discontinuidad a partir de la cual las ondas “P” se propagan con mayor rapidez. Es la discontinuidad de Wiechert.
5. Los focos de terremotos se ubican entre la superficie y los 700 km de profundidad. No se han detectado focos más profundos.

Las discontinuidades representan, sin duda, cambios de carácter físico y quizá también químico. Las de Mohorovicic (30 Km) y Gutenberg (2900 Km) se usan desde hace mucho tiempo para dividir el interior del planeta en tres capas concéntricas denominadas **corteza, manto y núcleo**.



## Temperatura – Gradiente geotérmico

Un promedio de mediciones efectuadas en excavaciones y perforaciones en distintos lugares del mundo indica que la temperatura aumenta 1 grado centígrado cada 30 metros de profundidad. Se ignora si por debajo de las máximas profundidades conocidas por el hombre se mantiene ese gradiente, pero se supone que la temperatura sigue en aumento hasta el centro de la Tierra. Se deduce, en consecuencia, que las temperaturas en el interior del planeta son muy elevadas.

## Presión

De acuerdo al comportamiento de la gravedad, la presión a una profundidad determinada es igual al peso del material que se encuentra por encima, por unidad de superficie. En consecuencia la presión es más elevada cuanto mayor es la profundidad.

## Densidad

La densidad de la Tierra es bien conocida. Se calcula partiendo de la Ley de la Gravedad (fórmula de Newton) aplicada a la superficie terrestre. La densidad de las rocas de la corteza es de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , pero las evidencias sísmicas indican que la densidad va en aumento en profundidad, hasta alcanzar valores de  $11,5 \text{ g/cm}^3$  en el centro del planeta. En consecuencia,  $5,51 \text{ g/cm}^3$  es el valor promedio de la densidad de las distintas capas de la Tierra.

## Estado de los materiales en profundidad

La corteza terrestre es, indudablemente, un sólido con bastante rigidez. Las mismas características, aunque con mayor densidad, parece tener la litósfera según su comportamiento frente a las ondas sísmicas.

Por debajo de la litósfera, en cambio; el comportamiento de las ondas sísmicas indicaría que los materiales son sólidos con bastante plasticidad, y hasta pueden adquirir fluidez. No es fácil imaginarse ese estado. Hay que pensar que, si se cumple el gradiente geotérmico, a una profundidad de 60 Km la temperatura es suficientemente alta como para fundir todos los materiales, pero la elevada presión imperante lo impide. Quizá podría compararse ese estado de los materiales con un acero calentado “al rojo” que, siendo aún sólido, se deforma aplicando presión o golpeándolo.

La plasticidad parece disminuir debajo de los 250 Km y los materiales se siguen comportando como sólidos hasta la base del manto (2900 Km).

En el núcleo (por lo menos en el núcleo externo) no se propagan las ondas “S”. Este comportamiento corresponde a un líquido; sin embargo no hay todavía una idea acabada sobre el estado de los materiales del núcleo ya que las elevadísimas presiones y temperaturas que deben imperar en él imponen condiciones especiales que, además de no conocerlas directamente, tampoco se pueden reproducir en un laboratorio.

## Composición química

Los cambios físicos descriptos para distintas profundidades del planeta deben corresponderse con cambios en la composición química.

Sabemos que la corteza está compuesta esencialmente por silicatos de aluminio, magnesio, hierro, sodio y potasio.

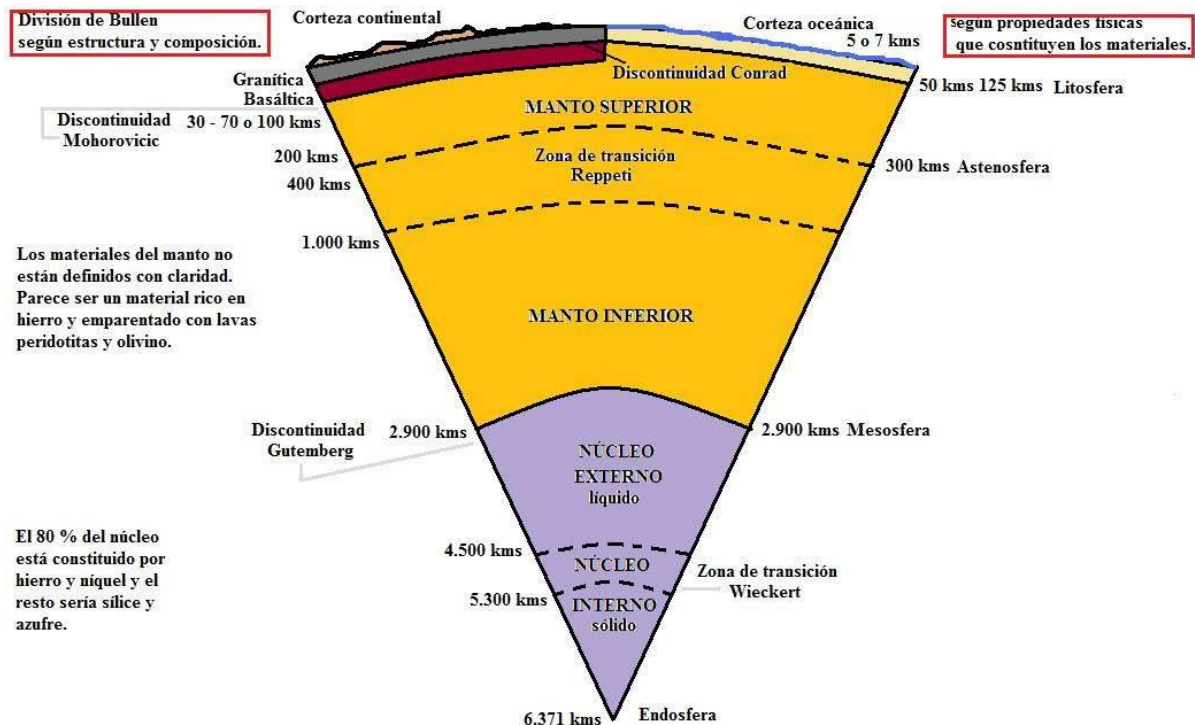
Las condiciones físicas del manto inducen a pensar que su composición sería una mezcla de silicatos de hierro y magnesio con óxidos y sulfuros. Los primeros predominarían en la parte superior del manto, mientras que los óxidos y sulfuros serían más abundantes en la parte inferior.

El núcleo (de alta densidad) se considera compuesto principalmente por metales, especialmente hierro y níquel.

Las composiciones supuestas coinciden con las observadas en distintos meteoritos. Como éstos son el producto de la desintegración de planetas, se supone que representan trozos de distintas profundidades de los mismos, siendo los meteoritos

pétreos (compuestos de silicatos) provenientes de las capas externas, y los metálicos (compuestos de hierro – níquel) de sus zonas centrales. Para estas suposiciones debemos aceptar la teoría de que todos los planetas se originaron en forma similar a la tierra, que se componen de los mismos elementos químicos y que la distribución vertical de las sustancias debe ser también similar.

Llama la atención que la estratificación de sustancias químicas supuesta en el interior de la Tierra coincide con la que se origina en un horno de fundición, donde los metales se separan hacia abajo y la escoria de silicatos queda arriba.



## CORTEZA Y LITÓSFERA

El conjunto corteza y litósfera forma la envoltura “rígida” de la Tierra. Es en ese conjunto, y en especial en su contacto con la Atmósfera, donde observamos los fenómenos y los procesos geológicos.

Por su composición y ubicación hay **dos tipos de corteza**. La *corteza continental o granítica*, porque su composición promedio es similar a la de un granito, es la que compone las masas continentales (incluyendo las plataformas marinas). La *corteza oceánica o basáltica*, porque su composición promedio es similar a la de un basalto, es mucho más delgada y se encuentra en todos los fondos oceánicos y, en algunos casos, debajo de la corteza continental. La densidad promedio de la corteza continental es de 2,7 gr/cm<sup>3</sup> y la de la corteza oceánica es de 3 a 3,3 gr/cm<sup>3</sup>.

A una profundidad promedio de 60 Km comienza la zona plástica del manto. Los materiales que se encuentran por encima de esta zona componen la **litósfera**.

## Isostasia

Geofísicamente se considera que la envoltura rígida de la Tierra (genéricamente la litósfera) “flota” sobre la capa plástica del manto (astenosfera) manteniendo un equilibrio que se denomina **isostático**.

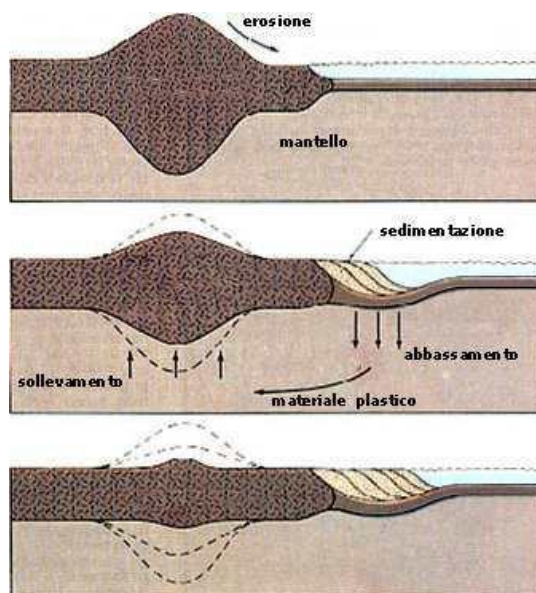
El concepto resulta claro si se compara con un conjunto de bloques de madera de distinta altura flotando sobre agua. Los bloques están así en equilibrio hidrostático sobre el líquido. Los bloques más altos se hunden más que los más bajos,

sobresaliendo del líquido en forma proporcional a su altura. Los bloques de madera representarían a trozos de litósfera y el agua a la astenósfera. Esto explica que debajo de las más altas montañas el límite inferior (o interior) de la litósfera es más profundo.



En otras palabras: en la zona plástica del manto se compensaría el desequilibrio que significa soportar en diferentes lugares a bloques litosféricos de distinta altura y peso.

Este mecanismo de compensación isostática sería el principal responsable de los movimientos de lento ascenso o descenso que se verifican en algunas zonas de la Tierra, movimientos que se denominan “epirogénicos”.



## El Manto

El manto se caracteriza por un aumento continuado de la velocidad de las ondas sísmicas, solo interrumpido por presencia de una capa de baja velocidad: **la astenósfera**. Se extiende desde la discontinuidad de **Mohorovicic** hasta la discontinuidad de **Gutenberg** a 2900 km de profundidad. Las ondas sísmicas detectan dos grandes zonas en el Manto. El manto superior que alcanza una profundidad de aproximadamente 670, y el manto inferior que abarca el resto. Las ondas sísmicas se desplazan a mayor velocidad en el manto inferior. Como ya se dijo, dentro del manto superior se encuentra la **astenósfera** (zona plástica del manto) donde las ondas se desplazan a baja velocidad, su espesor es variable entre los 100 y 200 km de profundidad. La zona del manto comprendida desde el límite inferior de astenósfera y el límite del manto inferior que limita con el núcleo es denominada como “**mesósfera**”. El manto se encuentra agitado por “corrientes de convección”.

## El Núcleo.

El núcleo es la porción más interna de la Tierra. La desaparición de las ondas S al llegar a él indica que, por lo menos su parte externa debe encontrarse en estado de fusión.

El **Núcleo externo** se localiza entre la discontinuidad de Gutenberg y la discontinuidad de Wiechert-Lehman. Los estudios experimentales deducen que, a las presiones y temperaturas del núcleo externo, su composición debe ser fundamentalmente hierro, y algo de oxígeno, silicio y azufre, composición que justificaría su estado **líquido o fundido** debido también a las altas temperatura.

El **Núcleo interno** se extiende desde la discontinuidad de Wiechert-Lehman hasta el centro de la Tierra. El aumento de la velocidad de las ondas P indica que vuelve a ser **sólido**, debido probablemente a las altas presiones. A partir del estudio de los meteoritos, se deduce que está compuesto casi exclusivamente por hierro.

Los científicos creen que, debido a las diferencias de temperatura y al movimiento de rotación de la Tierra, en el núcleo externo se producen intensas corrientes de convección. Estas corrientes de convección serían las responsables del campo magnético terrestre.

## Tectónica global o de placas

En 1912, el alemán Alfred Wegener lanzó su teoría de la **deriva continental**. Wegener planteó que hace 200 millones de años los continentes estaban todos unidos en un solo supercontinente que llamó **Pangea**. Posteriormente ese supercontinente se habría dividido en fracciones que se desplazaron y originaron los continentes que actualmente conocemos. Los argumentos principales para dicha teoría fueron:

1. La llamativa similitud de las costas de América del Sur y de África, como si fueran dos piezas de un rompecabezas que encajan perfectamente.
2. Además de la similitud de formas costeras hay una coincidencia mucho más importante. Yuxtaponiendo América del Sur y África (como si el Atlántico no existiera) hay una significativa correspondencia de formaciones y estructuras geológicas anteriores al período Triásico en ambas costas.
3. Coincidencias similares, también llamativas, se logran yuxtaponiendo las costas de América del Norte con las de África del Norte y Europa. Aunque menos evidentes, también hay coincidencias si se enfrentan costas de la Antártida, Oceanía, India y África oriental.



*Pangea – 250 million years ago*

Wegener supuso que los continentes eran bloques de **sial** que se **desplazaron** horizontalmente, “a la deriva”, apoyados en un **sima** con cierta plasticidad, hasta alcanzar la ubicación actual.

Sial (de silicio y aluminio) y sima (de silicio y magnesio) son antiguas denominaciones. La primera es más o menos equivalente a lo que hoy se llama corteza continental. La segunda, por su composición se correspondería con la

corteza oceánica, pero por las características físicas atribuidas debería corresponderse con la astenósfera.

Durante 50 años la hipótesis de Wegener fue tratada como una idea interesante pero con demasiadas objeciones para ser aceptada en forma general por los investigadores.

Después de 1930 se aportaron nuevos datos y desarrollaron otras teorías que, con el transcurso del tiempo, irían a reforzar la idea de Wegener.

Vening Meinez y otros investigadores plantearon la posibilidad de que existieran corrientes de convección dentro del manto terrestre. Estas corrientes, sumamente lentas, originadas por diferencias de temperatura, proporcionarían los esfuerzos necesarios para crear compresiones y tensiones horizontales en la corteza.

En la década de los años '60 a través del estudio y exploración sistemática de los fondos oceánicos, se encontraron nuevas evidencias a favor de la teoría de la deriva continental.

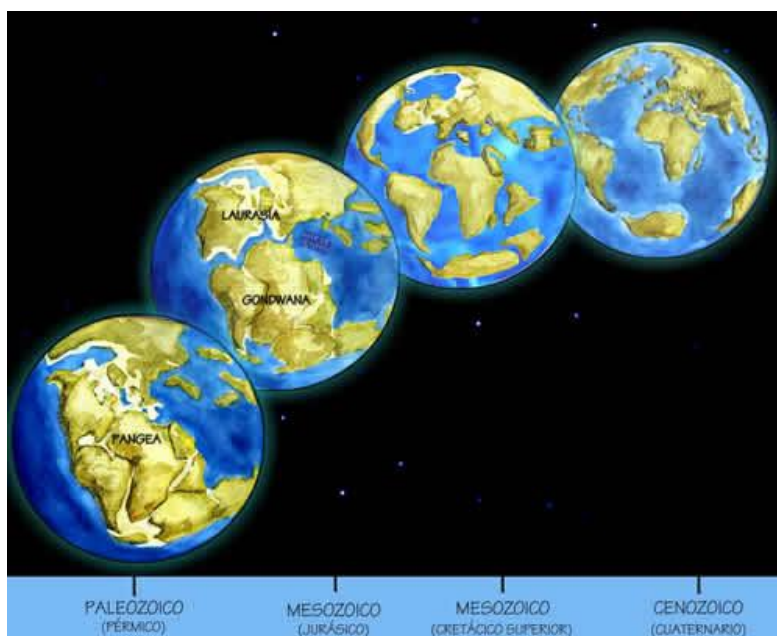
La exploración de los fondos oceánicos se hizo posible por la introducción de tecnología que permitía observar y tomar muestras desde un barco. Puede decirse que estos estudios hallaron las partes que faltaban para armar el rompecabezas que imaginó Wegener. Nació así la teoría de la **Tectónica Global** ó **Tectónica de Placas**.

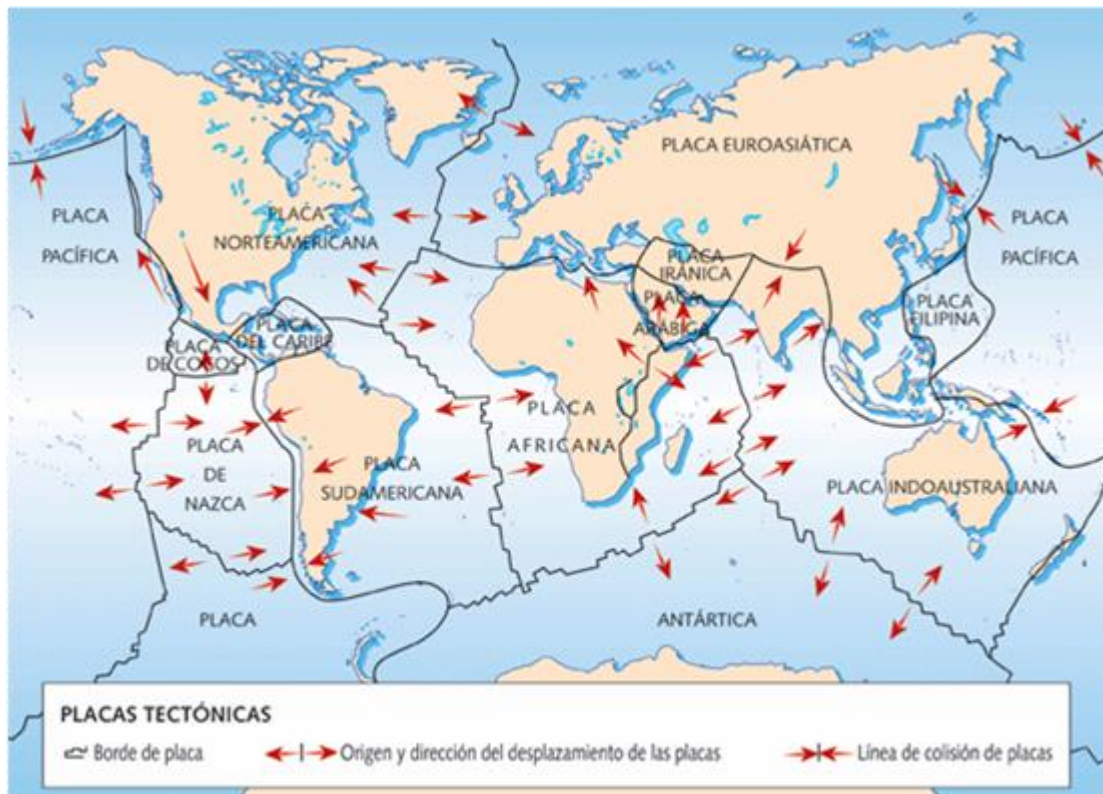
La base de la teoría es la división de la litósfera en fragmentos irregulares, llamados placas, cuyos límites han podido determinarse con bastante precisión. De esta manera se han determinado seis placas principales y otras menores.

Las placas se mueven en distintas direcciones, unas respecto de las otras originando interesantes fenómenos a medida que transcurren los tiempos geológicos.

El movimiento de las placas origina zonas de **convergencia** o “choque” de placas como por ejemplo en la cordillera de los Andes; y zonas de **divergencia** o “separación” de placas, por ejemplo en el medio del océano Atlántico. Esto provoca un engrosamiento de la litósfera en la zona de convergencia y un adelgazamiento en la zona de divergencia.

A medida que las placas se separan, las grietas que se originan por esa separación permiten el ascenso de material basáltico proveniente del Manto superior que llena el espacio producido y, en parte, se extruye en forma de lavas. Es así que los suelos oceánicos se encuentran en expansión como consecuencia de la separación de las placas y del aporte de material basáltico del Manto. Es evidente que la expansión de la corteza en los fondos oceánicos tiene que estar compensada por una reducción en otra parte. Es lo que ocurre en las zonas de convergencia mediante la **subducción** de una placa debajo de otra.



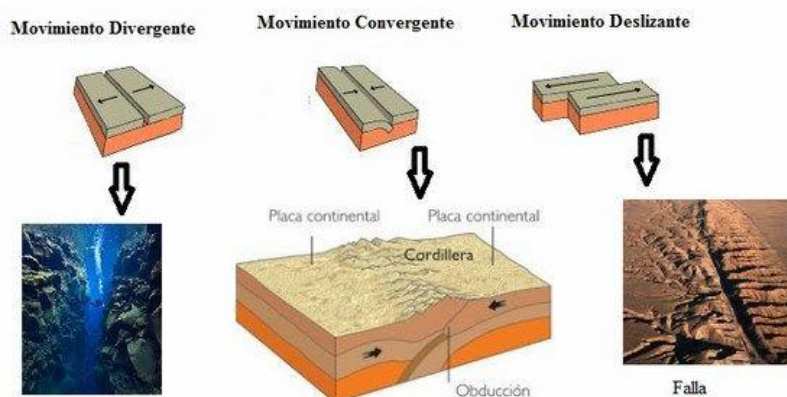


En estas zonas de subducción (como la del borde occidental de Sudamérica) todas las rocas corticales están sometidas a intensas compresiones que originan tremendas deformaciones. También se asocian a estas zonas los fenómenos más violentos y catastróficos para el hombre, como los terremotos y los volcanes de erupciones violentas.

Además de las zonas de divergencia y convergencia, hay límites entre placas en los que no hay acortamiento ni alargamiento de la corteza, simplemente se desliza una respecto de la otra. Es lo que ocurre en la falla de San Andrés, ubicada en California, EEUU. En esta falla se han podido medir los desplazamientos de los últimos 180 años, obteniéndose un promedio de 6,35 centímetros por año para el movimiento de una placa respecto de la otra. Este tipo de fenómeno se denomina **falla de transformación**.

Con respecto a las fuerzas que provocan el movimiento de las placas, actualmente se acepta que deben originarse en corrientes de convección dentro del manto, aunque todavía queden dudas acerca de sus causas, su magnitud, su duración y su ubicación aparentemente cambiante a través de los tiempos geológicos.

#### MOVIMIENTO DE LAS FALLAS





# 3 - Los múltiples usos de los minerales

## Introducción

El progreso del hombre y la sociedad está indisolublemente unido al uso de los minerales. En la medida en que el ser humano fue aprendiendo a valerse de los minerales para su vida cotidiana fue desarrollando la inteligencia que lo caracteriza y llegó a la industrialización de estas sustancias, en forma cada vez más variada y compleja.

El uso de los minerales domina todos los aspectos de las sociedades antiguas y modernas. Ha sido y es un constituyente esencial de la expresión artística, desde la escultura que usa rocas y metales, la pintura, que utiliza pigmentos minerales hasta la música que requiere de metales para la fabricación de instrumentos musicales. El uso de rocas y minerales es esencial como instrumento para la expresión religiosa de las comunidades, estando su uso extendido desde la construcción de templos hasta la de instrumentos rituales. Las gemas, en joyería, son símbolo de poder. Los minerales son esenciales en la industria de la construcción, donde metales, minerales industriales y rocas son parte de cada uno de los objetos que nos rodean: desde los edificios, hasta el mobiliario. El avance tecnológico aprovecha las propiedades de los elementos químicos y sus combinaciones o aleaciones: desde el silicio utilizado en electrónica, el titanio y otras aleaciones y los materiales cerámicos para la industria de la aviación y la aeronáutica, hasta el uranio y otros elementos radioactivos para la tecnología nuclear.

En efecto, casi todas las cosas que tenemos y usamos se hacen con materias primas minerales. Pero ¿nos damos cuenta de eso? No, comúnmente no nos damos cuenta, tal vez por falta de curiosidad por saber el origen de cada una de las cosas con las que convivimos o quizá por falta de cultura minera.

Si observamos nuestra propia casa, podemos comprobar que casi todo está hecho con minerales: ladrillos, tejas, cerámicas, baldosas, hormigones, revoques, vidrios, plásticos, hierros, chapas, alambres, bronces, caños, cables, herrajes, pinturas, sanitarios, herramientas, vajilla y utensilios están hechos con materias primas de origen mineral. Si salimos de la casa para ir a cualquier parte, usamos un vehículo que está construido en su totalidad con insumos tomados del reino mineral. También son de origen mineral el combustible que lo hace funcionar, el pavimento sobre el que se desplaza y hasta los semáforos que lo detienen en la esquina.

Sin materias primas minerales no existirían las grandes obras civiles, los ferrocarriles, los barcos, los aviones y otros sistemas de transporte. No habría máquinas ni instalaciones industriales. No tendríamos cocinas, lavarropas, heladeras, televisores, máquinas de coser, calefones, acondicionadores, estufas, planchas, enchufes ni lámparas. No existirían las computadoras ni los sistemas de comunicación. Tampoco se podría producir y transportar energía, y no habría herramientas o máquinas para sembrar, cosechar, elaborar, procesar, conservar y transportar alimentos o producir vestimentas. En definitiva, el desarrollo de la sociedad está sustentado sobre la base de la producción e industrialización de minerales. Por eso decimos que la sociedad es mineral - dependiente.



En la última cumbre sobre Desarrollo Sostenible (CSD), conocida como Río+20 (Río de Janeiro-Brasil, Junio de 2012), se reconoció la importancia de la minería y la gestión responsable de los recursos mineros para impulsar el desarrollo económico y reducir la pobreza. El documento **“El futuro que queremos”**, expresa:

*“Reconocemos que los minerales y los metales hacen una gran contribución a la economía mundial y las sociedades modernas. Observamos que las industrias mineras son importantes para todos los países con recursos minerales, en particular los países en desarrollo. Observamos también que la minería ofrece la oportunidad de impulsar un desarrollo económico de base amplia, reducir la pobreza y ayudar a los países a lograr los objetivos de desarrollo convenidos internacionalmente, incluidos los Objetivos de Desarrollo del Milenio, cuando se gestiona de manera efectiva y adecuada. Reconocemos que los países tienen el derecho soberano a explotar sus recursos minerales de conformidad con sus prioridades nacionales y una responsabilidad en cuanto a la explotación de los recursos, según se describe en los Principios de Río. Reconocemos también que las actividades mineras deben reportar los máximos beneficios sociales y económicos y hacer frente de manera efectiva a los efectos ambientales y sociales negativos”.*

## Los minerales y sus múltiples usos

Los minerales pueden ser utilizados como materias primas, para consumo intermedio o para constituir artículos de consumo. Dichos materiales, una vez usados, vuelven a dispersarse en el medio ambiente, generando un impacto negativo; o bien de manera racional, por medio del reciclado, vuelven a incorporarse al ciclo productivo, enfoque que tiene cada vez más importancia en el mundo.

Todo lo que el hombre ha extraído de la naturaleza, desde el comienzo de la humanidad, está en algún lugar de la corteza terrestre, que se puede considerar como un sistema cerrado. El hombre extrae, procesa y utiliza materias primas minerales con diversas finalidades.

## La industria química: sustento de varias industrias

La industria química es la base que provee materias primas e insumos a otras industrias; además, provee algunos de sus productos directamente a los consumidores.

Desde la química existen cinco elementos de importancia: el azufre, el boro, el cloro, el flúor y el sodio.

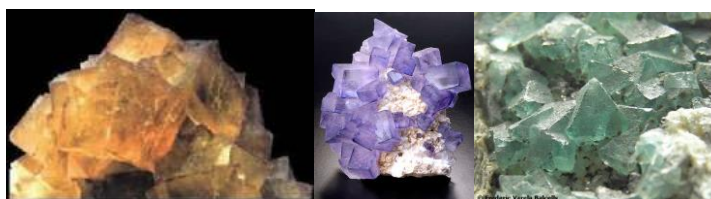
El azufre es un elemento no metálico que puede explotarse o recuperarse a partir de una amplia variedad de yacimientos, como azufre nativo en depósitos volcánicos o generados por reducción bacteriana, como sulfuro en depósitos de menas metálicas, como sulfato en evaporitas, en el ácido sulfhídrico del gas natural, y como complejos orgánicos sulfurados en el petróleo crudo y el carbón. Casi el 80% de su uso más importante se destina a la fabricación de ácido sulfúrico.

El boro se usa principalmente como fundente, para vidrios térmicos, para abrillantar las cerámicas y en alfarería, como ácido bórico para colirios y desinfectantes, también para colorantes y blanqueadores, pasta dentífrica y lavado bucal, como micronutriente en la agroindustria y para la fabricación de superimanes, aleaciones de Boro-Niquel-Hierro para drivers de computadoras, parlantes de alta fidelidad, mecanismos de arranque de motores y varias otras aplicaciones. Los depósitos de boratos son típicos de los salares de la Puna, ubicados a una altura promedio de 3700 metros sobre el nivel del mar. Argentina ocupa uno de los primeros lugares en la producción mundial. Los yacimientos de edad terciaria son Tincalayu, en Salta, y

Loma Blanca en Jujuy. Además de numerosos salares boratíferos, que además son portadores de litio, como el del Hombre Muerto, Diablillos, Ratonés, Centenario, Cauchari, Olaroz y Salinas Grandes.

La fuente más importante de cloro se encuentra junto con el sodio en uno de los minerales que consumimos a diario: la halita o sal común. La halita se usa para la obtención de  $\text{Cl}_2$ , soda cáustica, sodio metálico, ácido clorhídrico, bicarbonato de sodio. Además de ser la fuente para consumo humano y animal, sirve para deshielo de caminos, para aires acondicionados, para fluidos, para perforación, para la industria farmacéutica, de explosivos, de herbicidas y de pesticidas, entre sus múltiples aplicaciones. Una de las explotaciones más importantes es la del Bebedero, San Luis.

Para completar los elementos básicos que usa la industria química, no debe quedar fuera el flúor. La fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) cubre el 94% de la demanda mundial de flúor. Este vistoso mineral de colores violáceos, amarillo, verde, blanco, entre otros, es la principal fuente para el ácido fluorhídrico utilizado para fluorización del agua, grabado de vidrios y galvanización. También se usa como fundente en hornos y en fundición de oro, plata, cobre y plomo. Sólo pocas variedades pueden ser usadas como gemas. China lidera la producción mundial y en Argentina, la producción se centra en la provincia de Córdoba, y registros mucho menores se ubican en Mendoza y Río Negro.



*El flúor en diferentes manifestaciones*

## Minerales para la agricultura

El aumento en el uso de fertilizantes está vinculado con el incremento de la población, y por lo tanto con la necesidad de su alimentación. Con excepción del Nitrógeno, prácticamente todos los nutrientes que las plantas necesitan derivan de los recursos geológicos. Los fertilizantes tienen un rol importante como sustancias o mezcla de sustancias que se incorporan al suelo o al cultivo para promover o estimular su crecimiento, aumentar su productividad y mejorar su calidad. Existen trece nutrientes que deben adicionarse al suelo, categorizados como primarios: nitrógeno, fósforo y potasio; secundarios: calcio, magnesio y azufre; y micronutrientes: boro, hierro, manganeso, cobre, zinc, molibdeno y cloro. Esta clasificación está basada en la cantidad de nutrientes que necesitan las plantas.

De los tres nutrientes primarios, el nitrógeno (N) aunque compone gran parte de la atmósfera, pocos cultivos son capaces de absorberlos directamente. Otras fuentes naturales son los nitratos, el carbón y la materia orgánica. Sin embargo, los fertilizantes nitrogenados sintéticos reemplazaron casi la totalidad de los naturales.

El fósforo sólo se puede extraer por vía de la explotación de depósitos fosfáticos, principalmente a partir de yacimientos de origen marino ubicados principalmente en el norte de África y Medio Oriente y las del sudeste de Estados Unidos. La industria transforma las rocas fosfóricas que contienen el fósforo poco soluble, en formas iónicas aprovechables por las plantas. Latinoamérica no posee reservas de fosfatos de gran magnitud. Con pocas excepciones, los depósitos están en regiones remotas sin infraestructura y de calidad insuficiente para sustentar una industria de escala económica. Sólo Brasil, México, Venezuela, Colombia y Chile han desarrollado algo

su industria de fertilizantes en fósforo. Recientemente se puso en operaciones el proyecto Bayóvar, en Perú, para la extracción de fosfatos.

El tercer nutriente primario, el potasio, está disponible en los depósitos evaporíticos (evaporitas) y también se puede recuperar del agua de mar, de ser necesario. Las evaporitas son rocas sedimentarias de origen químico, formadas por precipitación química directa de los componentes minerales. La potasa es el nombre comercial de las sales de potasio. El gran productor mundial es Canadá, y en Latinoamérica Brasil es el gran consumidor y productor de fertilizantes potásicos y el tercer importador de este producto. Chile es el otro gran productor latinoamericano de potasio. En Argentina hay un proyecto de una empresa Brasileña para extraer cloruro de potasio en la región de la cuenca neuquina, -un yacimiento a 1000m de profundidad- en la provincia de Mendoza.

Los recursos de calcio y magnesio ocurren en muchas formas y en muchos tipos de yacimientos. Geológicamente, la mayor parte de las calizas se originaron en ambientes marinos de escasa profundidad, cálidos y claros, por ejemplo ambientes de plataforma (rocas ricas en carbonato de calcio). En el caso del magnesio, aparece muchas veces en calizas junto con el calcio (dolomitas), como sales en las evaporitas y también en rocas ígneas ricas en hierro y magnesio.

Gran parte de estos elementos en agricultura se aplican directamente en su forma natural como calizas y dolomitas. Además de la calcita y la dolomita, también hay otros minerales que pueden aportar calcio como el yeso y la apatita, y el magnesio como magnesita, entre otros.

## Industria cerámica y vidrio

Las cuatro materias primas principales que componen el material cerámico siguen siendo a través de los años: la arcilla común, el caolín, el cuarzo y el feldespato.

La alta calidad del mercado exige utilizar materias primas con un tenor de impurezas mínima y una distribución de partículas óptimas. Por ejemplo, la loza y la porcelana se hacen con los mismos elementos, lo que varía es su grado de calcinación. Las cerámicas se pueden dividir en diferentes tipos:

- *Cerámica refractaria*: que tiene alta resistencia a la temperatura y se utiliza para revestimientos de hornos. Su uso es fundamental para el ahorro de combustible
- *Cerámica blanca*: empleada para revestimientos blancos, azulejos, cerámicos domésticos, loza, porcelana, sanitarios y otras variedades de cerámicas para el hogar, por ejemplo para estufas.
- *Cerámica eléctrica*: para aisladores de alta y baja tensión.
- *Cerámica roja*: ampliamente utilizada para ladrillos, revestimientos rojos, ladrillos huecos, tejas (no incluye al ladrillo común)

El mercado de todas ellas es muy amplio en todo el mundo, y difícilmente se pueda compendiar a todos los productores. En Argentina la producción de arcillas se observa en casi dos tercios de nuestro país. En el caso del caolín, se limita a Chubut, San Luis y Río Negro.

Otro de los componentes importantes de la cerámica es el *cuarzo*, que es el óxido de silicio o sílice. La sílice constituye el 95% de la corteza terrestre en forma simple o combinada (aluminio-silicatos). Puede hallarse en rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias. Mayormente se explota de pegmatitas, rocas de grano muy grueso que resultan de la cristalización final de magmas en un ambiente rico en volátiles

que permite la formación de cristales de gran tamaño, que en ocasiones pueden llegar a alcanzar varios metros cúbicos.

El cuarzo y sus variedades tienen innumerables aplicaciones; en el caso de la cerámica, regula la plasticidad de la pasta, resistencia al choque térmico, mecánica y química. También se usa en porcelanas de uso eléctrico, electrónico, dental, químico. Se emplean en abrasivos por su dureza, como carga en la industria del plástico, en pinturas, en cementos, como fibra de vidrio, en la fabricación de vidrio plano, químico, oftálmico, para instrumental, en concretos (arena y grava y microsílíce), para controladores de frecuencia, transmisores, relojes, generadores ultrasónicos, en fibra óptica para iluminación y comunicaciones, como filtrantes para agua de consumo y como silicio grado metalúrgico, entre otras. La producción nacional de cuarzo se centra principalmente en Córdoba, San Luis y San Juan.

Por su parte el *feldespato* es un término genérico para un grupo de minerales aluminosilicatos relacionados, con una proporción variable de sodio, potasio y calcio. Representan el 60% de la corteza terrestre. Son constituyentes principales de rocas ígneas graníticas, y también se encuentra en ciertas rocas sedimentarias y metamórficas, pero se explotan -como el cuarzo- esencialmente en pegmatitas. Su aplicación en la industria de la cerámica es como fundente; en el caso de la industria del vidrio, le da mayor dureza y durabilidad, mejora la resistencia y disminuye la corrosión química. Además se usa como lubricante en pinturas y plásticos, y como abrasivos en jabones y componentes de limpieza.

A nivel mundial, las reservas identificadas e hipotéticas son suficientes para cubrir la demanda actual y futura. En Argentina, acompañando la producción de cuarzo, se localiza en Córdoba, San Juan, San Luis y Mendoza.

## **El vidrio**

Cuando la temperatura de calcinación es tan alta que excede los límites de la resistencia de cada uno de los componentes, se llega a estado vítreo por fusión completa de la mezcla de componentes de cuarzo (el cuarzo se puede reemplazar por arenas), arcillas y fundentes como el feldespato, boratos o fluorita ( $\text{CaF}_2$ ). La masa fundida es una sustancia homogénea y amorfa que en caliente es blanda, por lo cual es muy maleable para trabajarla, pero frágil a temperatura ambiente. Resiste la mayoría de los reactivos. El vidrio adquirió mucho protagonismo en la arquitectura de la segunda mitad del siglo XX, no sólo por lo estético. Su uso ayuda al ahorro de energía, al control del ruido, a la seguridad y protección.

Además su transparencia y dureza son especiales para su utilización en la industria del envase y embalaje.

## **Pigmentos**

Desde siempre el ser humano se ha expresado a través del color, desde su escritura en los muros, la coloración en la vestimenta y la decoración de artesanías.

Los óxidos de hierro se usan hace más de 20.000 años en pinturas rupestres. Tienen la propiedad de ser no tóxicos, relativamente inertes, resistentes a la meteorización, estables térmicamente, con poder cubritivo, resistentes a la exposición, opacos o luminosos. Los aditivos añadidos a los pigmentos tienen sus propios patrones para absorber y reflejar, los cuales pueden afectar el espectro final.

La selección de un pigmento dependerá del costo y de sus propiedades según su uso. Así, por ejemplo, para colorear un cristal debe tener muy alta estabilidad térmica o si se usa en pintura artística, debe tener resistencia a la exposición a la luz y no ser tóxico.

Los pigmentos de hierro naturales incluyen una combinación de uno o más óxidos ferrosos o férricos e impurezas, tales como manganeso, arcilla o materia orgánica. Su color depende del mineral de hierro que predomine por ejemplo rojo (hematita), o castaño o negro (magnetita). Los óxidos de hierro sintéticos se pueden producir de varias maneras, incluyendo la descomposición térmica de las sales de hierro, tales como sulfato ferroso para producir pigmentos rojos; precipitación para producir amarillos, rojos, castaños y negros; y reducción para amarillos y negros. Son usados en esmaltes, pinturas para autos, pinturas de interior y exterior, tinturas para maderas y polvos. A nivel mundial, India, Turquía y España lideran la producción de los pigmentos con base en los óxidos de hierro.



De los rojos a los blancos, el titanio es el pigmento por excelencia y aparece en la naturaleza en varios minerales como óxidos. Este pigmento se caracteriza por su pureza, índice de refracción, alto poder cubritivo y brillo. Australia y Sudáfrica encabezan la lista de productores mundiales. Más allá de su uso como metal liviano y resistente a la corrosión aplicado en la construcción de aeronaves y en la industria aeroespacial, el 95% del titanio se consume bajo la forma de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), como pigmento blanco en pinturas, papel y plásticos.

Los pigmentos artificiales con base mineral tienen en general colores más uniformes, más brillantes y más permanentes. Muchos requieren la adición de bases inertes durante su fabricación.

## Abrasivos

Una de las propiedades físicas más importantes de los minerales es la dureza. La dureza es la capacidad de una sustancia sólida para resistir la deformación o abrasión de su superficie. Dicho de otro modo es la resistencia que presenta a ser rayado.

Friedrich Mohs (1773-1839), geólogo y mineralogista alemán-austríaco, creó la escala de dureza que todavía se utiliza y se conoce con su nombre.

En la escala que desarrolló, llamada escala de Mohs, la dureza relativa de los minerales se clasifica en orden creciente de dureza en base a diez minerales comunes: talco, yeso, calcita, fluorita, apatito, ortoclasa, cuarzo, topacio, corindón y diamante.

Dureza	Mineral	Comentario	Composición química
1	Talco	Se puede rayar fácilmente con la uña	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
2	Yeso	Se puede rayar con la uña con más dificultad	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
3	Calcita	Se puede rayar con una moneda de cobre	CaCO <sub>3</sub>
4	Fluorita	Se puede rayar con un cuchillo de acero	CaF <sub>2</sub>
5	Apatito	Se puede rayar difícilmente con un cuchillo	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,Cl,F-)
6	Ortoclasa	Se puede rayar con una lija para acero	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
7	Cuarzo	Raya el vidrio	SiO <sub>2</sub>
8	Topacio	Rayado por herramientas de carburo de Tungsteno	Al <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (OH,F) <sub>2</sub>
9	Corindón	Rayado por herramientas de carburo de Silicio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
10	Diamante	Es el mineral natural más duro	C

Los abrasivos se definen como sustancias naturales o artificiales que se utilizan para rebajar, pulir, limpiar o afilar objetos por fricción o desgaste de su superficie, por ende tienen que ser más duros que el objeto a tratar. Hay una diversidad de formas y tamaños, desde simples lijas, hasta discos que van desde milímetros hasta 50 cm de diámetro, y piedras abrasivas de distintos espesores.

Los materiales abrasivos pueden ser de origen natural o bien manufacturado. Entre los primeros se pueden citar como minerales o rocas: la ortosa, el cuarzo, el granate, el berilio, el corindón, el diamante; también las arcillas y las diatomitas. En el segundo grupo, formado por los abrasivos sintéticos (utilizados desde 1891) se destacan: el óxido de aluminio producido por fusión de la bauxita; el carburo de silicio o carborundum producido por acción térmica sobre carbono y sílice; y nitruros como el de boro, que son prácticamente tan duros como el diamante.

Existen principalmente tres tipos de productos abrasivos:

- a) *Abrasivos de grano suelto*, que sirven para un desgaste por impacto (arenado) o como limpiadores hogareños y jabones. Utilizan abrasivos de dureza menor a 6, que es la dureza de vidrios enlozados.
- b) *Abrasivos cementados*, como los discos del tipo piedra de lijar
- c) *Abrasivos pegados sobre papel o tela*.

Una mención especial merece el diamante. Los diamantes naturales se han descubierto en más de 35 países, pero más del 80% de las aplicaciones industriales usan diamantes sintéticos. La aplicación más difundida de los diamantes es como elemento de corte, tanto para cirugía o como herramienta para la industria. Los usados en joyería tienen formas cristalinas fáciles de cortar, en tanto que los diamantes industriales son demasiado granulares, oscuros y duros como para esa aplicación.

## Filtrantes

Los minerales filtrantes pueden ser sustancias naturales o preparadas, que se usan para la remoción de partículas sólidas de un medio líquido. Dentro de las sustancias naturales encontramos principalmente la arena y las diatomitas, y dentro de las preparadas, las perlititas. Las zeolitas pueden ser naturales o sintéticas.

Para que un mineral tenga propiedades filtrantes debe:

- a) Formar una masa muy porosa
- b) Tener una baja área de superficie
- c) Correcta distribución de tamaño de partículas
- d) Baja retención (no ser absorbentes)

Su rendimiento está dado por la calidad del líquido filtrado, el caudal de flujo de filtración y la duración del ciclo de filtración.

La arena es el medio filtrante mineral más común. Principalmente se utiliza en el filtrado del agua para consumo o industrial.

El término “tierra de diatomeas” es sinónimo de *diatomita*, que son rocas sedimentarias silíceas, consistentes en restos esqueléticos fosilizados de plantas unicelulares acuáticas. La mayoría de los depósitos en el mundo son de origen lacustre, los de origen marino –aun siendo los menos numerosos- son más extensos. Los principales depósitos del país se encuentran en Río Negro, y hay otros menores en San Juan y en La Rioja.

Por su parte, *las perlitas* son vidrios provenientes de magmas ricos en sílice. Presentan fisuras concéntricas, retienen de 2 a 5% de agua. Su principal característica es la propiedad expansiva y esto se logra calcinándola violentamente a 900 °C en hornos rotativos, se lo enfría bruscamente y queda expandida hasta 20 veces el tamaño original. Se obtiene un producto esponjoso y de composición constante. La perlita reemplazó en la alimentación a la diatomita en el filtrado de los productos más viscosos: jarabes, frutas, parcialmente en azúcar. Asimismo la perlita expandida es un eficaz descontaminante para el caso de derrames petroleros o sus derivados, sobre el agua o el continente, aprovechándose las condiciones físicas del producto para la adsorción de fluidos.

La perlita expandida y las diatomitas se utilizan a gran escala en la industria farmacéutica, sobre todo en la elaboración de vitaminas, hormonas y antibióticos tales como la penicilina, estreptomycin y aureomicina.



La producción de perlita se concentra en su totalidad en la provincia de Salta desde hace más de una década, aunque hay manifestaciones en La Rioja.

Las *zeolitas* son aluminosilicatos de metales alcalinos y alcalino-térreos de estructura tridimensional abierta provista de canales que en su interior poseen moléculas de agua asociadas. Se caracterizan por su alto grado de hidratación, baja densidad y un gran volumen de espacios vacíos cuando es deshidratado. Esta estructura muy particular es la que admite el intercambio de cationes y, a su vez, la que permite absorber determinadas moléculas o compuestos como agua, elementos pesados, compuestos orgánicos, entre otros. Esas propiedades de intercambio de iones con el medio les confiere la denominación de “tamices moleculares”.

La mayor parte de las zeolitas que se emplean para aplicaciones industriales son sintéticas y se diseñan “a medida” de un determinado proceso, es decir para favorecer la captación de un determinado ion.

Uno de sus tantos usos es el tratamiento de aguas residuales industriales. Hay depósitos en Neuquén y Chubut. No se registra producción.

## Entre los más buscados

### Los elementos de tierras raras (ETRs) e ytrio

Las tierras raras son un grupo de 15 elementos de comportamiento químico similar, con números atómicos desde el 57 hasta el 71 de la tabla periódica de Mendeleiev. También son llamados lantánidos por ser el lantano el primero del grupo. Los demás elementos son: cerio, praseodimio, neodimio, prometio, samario, europio, gadolinio, terbio, desproso, holmio, erbio, tulio, yterbio y lutecio.

En el grupo también se incluye al ytrio (número atómico 39) elemento que, a pesar de no ser un lantánido, pertenece al mismo grupo del sistema periódico, tiene propiedades químicas similares y se encuentra asociado a ellos en la naturaleza.



Los minerales de los cuales se extraen las tierras raras son:

Mineral	Composición
Monacita	(Ce,La,Nd)PO <sub>4</sub> con otros lantánidos, y con torio como impureza.
Bastnaesita	(Ce,La,Nd)FICO <sub>3</sub> con otros lantánidos
Xenotimo	YPO <sub>4</sub> con otros lantánidos
Gadolinita	Y <sub>2</sub> FeBe <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>10</sub> con otros lantánidos

Los dos primeros proveen el 98% de las tierras raras que se consumen en el mundo, cuyo total asciende a unas 70.000 toneladas anuales.

Las tierras raras están comúnmente asociadas. Sin embargo hay algunos elementos que son mayoritarios y otros que solo se presentan en cantidades insignificantes.

Comercialmente, la mezcla de elementos de tierras raras se conoce con el nombre de **mischmetal**. Cuando a esta mezcla se le ha separado el cerio, se denomina **didimio**.

Los principales productores de bastnaesita son China y EUA. Con volúmenes muy inferiores, los principales proveedores de monacita son India y Malasia. En Argentina hay monacita en La Rioja, San Luis y Córdoba, pero no hay ninguna explotación comercial. En Rodeo de los Molles, San Luis, hay un depósito con bajos contenidos de bastnaesita, britolita y allanita, cuyos volúmenes parecen ser prometedores. En Jujuy y Salta también se conocen depósitos de potencial aún no definido.

Las tierras raras tienen usos muy diversos en la industria, pero cada proceso en particular requiere volúmenes relativamente pequeños. El 65% se usan como catalizadores en la industria del petróleo (en los procesos de cracking) y otras industrias químicas. Un 20% se destina a variados usos en metalurgia, como la elaboración de aceros especiales, imanes, etc. Un 12% en la industria del vidrio y cerámica, en la decoloración y coloreado de vidrios y cristales, en tubos catódicos, elementos para rayos láser, abrasivos para lentes, espejos y cristales.

Desde hace un tiempo se vienen realizando investigaciones y experimentos para obtener materiales superconductores.

Una aplicación en expansión de ETRs es la producción de imanes permanentes como los de samario-cobalto, que se utilizan en la industria militar y aeroespacial; e imanes de neodimio-hierro y boro para motores de automóviles, en resonancias magnéticas, en motores industriales, en discos compactos, en computadores o en cámaras fotográficas.

El lantano, ytrio, disprosio y lutecio tienen un importante rol en la generación de autos híbridos, haciendo las baterías más poderosas, más duraderas y más fáciles de recargar. Una batería necesita unos 10-12 kilos de tierras raras. Uno de los usos más cotidianos es en la fabricación de lámparas de bajo consumo combinados con halogenuros metálicos. Las turbinas eólicas están compuestas por magnetos de tierras raras, algunos requieren de varias toneladas, puesto que hacen a la eficiencia de los propulsores. Como nuevas aplicaciones se cuentan en el campo de la oftalmología, el láser de neodimio (YAG) para tratamientos de córnea y el cristalino del ojo y también para aplicaciones odontológicas en el tratamiento de caries, y debido a su gran poder bactericida, en tratamientos de conductos y cirugía bucal. A su vez, su uso está extendido en aplicaciones estéticas en remoción de tatuajes, rejuvenecimiento facial y cutáneo, lesiones pigmentadas.

## El litio

El litio se obtiene de dos tipos de yacimientos. La fuente más antigua son las pegmatitas, como las que se han explotado durante décadas en las provincias argentinas de San Luis, Córdoba y Catamarca. También se obtiene de salmueras o salinas en las cuales el litio se asocia al sodio en cantidades pequeñas pero económicamente aprovechables.

La mina Fénix, en el salar del Hombre Muerto, en la zona limítrofe entre Salta y Catamarca (Argentina), es una explotación importante iniciada en 1997, destinada fundamentalmente a la exportación. Allí se extrae una salmuera que contiene 600 partes por millón de cloruro de litio. El establecimiento minero posee dos plantas de tratamiento: una para producir cloruro de litio y otra para obtener carbonato de litio, que son las dos formas comercializables a nivel mundial.

Los principales productores del mundo son Australia y China. Argentina, Bolivia y Chile conforman el denominado “triángulo del litio”, dado que concentran aproximadamente el 60% de los recursos identificados.

Las mayores expectativas a corto y mediano plazo se centran en el desarrollo de la producción de vehículos eléctricos y otros aparatos electrónicos. Desde la primera comercialización a principios de los años 1990 un acumulador basado en la tecnología Li-ion, su uso se ha popularizado en aparatos como teléfonos móviles, agendas electrónicas, ordenadores portátiles y lectores de música.

Como productos comercializables se cuentan el *carbonato de litio* para manufactura de vidrios, producción de esmaltes para cerámicas, producción de aluminio metálico, elemento crítico en la fabricación de tubos de televisión y para tratamientos antidepresivos; el *hidróxido de litio* en la fabricación de grasas lubricantes de usos múltiples, obtención de litio metálico, absorbente de CO<sub>2</sub> en vehículos espaciales y submarinos, componente en aparatos de comunicación; el *bromuro de litio*, que actúa como catalizador en la fabricación de polímeros orientados utilizados en la industria del caucho y control de humedad de gases, y el *cloruro de litio* para aleaciones, soldaduras especiales y otros fundentes y la obtención de litio metálico.

El litio podría ser utilizado para el desarrollo de futuros reactores de fusión nuclear. Estos reactores utilizarían deuterio y tritio como combustibles; este último se obtendría irradiando litio-6 con neutrones. En la actualidad existe un conjunto de dispositivos experimentales, operados por asociaciones de países y grupos de trabajo, explorando la posibilidad de controlar el proceso de fusión nuclear.



## Algunas curiosidades

Cuando hablamos de oro, lo primero que pensamos es en joyas. Sin embargo, su uso industrial más importante se da en el rubro de la electrónica. Los componentes electrónicos hechos con oro son altamente efectivos y por eso se los usa en los conectores, uniones soldadas, cables de conexión, entre otros. Una pequeña cantidad de oro se utiliza en casi todos los dispositivos electrónicos sofisticados como teléfonos móviles, calculadoras, sistemas de posicionamiento globales y otros dispositivos pequeños. Aparatos más grandes, como televisores también contienen oro.

El oro se utiliza en odontología porque es químicamente inerte, no alergénico y facilita la tarea del dentista. Las aleaciones de oro se utilizan para rellenos, coronas, puentes y aparatos de ortodoncia.

El cobre lo asociamos a cables que conducen electricidad. Hoy en día está involucrado en las denominadas tecnologías “verdes” para celdas solares y vehículos eléctricos. Es conductor, durable, maleable y eminentemente reciclable: uno de los recursos naturales más útiles del mundo. Lo más novedoso quizá sean sus propiedades antimicrobianas (reducen hasta 40% las infecciones intrahospitalarias), anticorrosivas y de eficiencia energética.

## Reflexión final

Hoy se debe pensar que la sustentabilidad de un proyecto no sólo se cuantifica por el recurso mineral y su valor económico. También debe ser sustentable ambiental y socialmente, por lo cual debe contar con planes a largo plazo para recuperar las áreas donde hubo actividad minera, hacer uso racional del agua, manejar apropiadamente los materiales y residuos peligrosos, reducir las emisiones de gases a la atmósfera, minimizar el uso de procesos químicos e insertarse adecuadamente en la comunidad que convive en el ámbito del yacimiento. Todo ello conlleva a brindar mejor calidad de vida a la población, principalmente la que vive en las cercanías de un proyecto.

Los minerales y las rocas siguen siendo materias primas ineludibles que requieren los hombres para vivir en este mundo. A medida que la población aumenta, mayor es la necesidad de buscar nuevos recursos para responder a sus necesidades, pero a su vez reciclar todo lo posible para evitar afectar al medio. El desafío en el siglo XXI es encontrar las maneras de convertir el recurso mineral en desarrollo sostenible para un mayor y equitativo beneficio para la sociedad.

---

## Bibliografía

- Geografía Ambiental Planeta Agua (Panda Educación Ambiental – 2006)
- Ingeniería y Ciencias Ambientales (Mackenzie L. Davis - Susan J. Masten) Mc Graw Hill Interamericana 2005.
- UNESCO: Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, en el marco del Programa "Agua y Educación: para las Américas"
- Manual del agua potable (Frank R. Spellman- Joanne Drinan)
- Minerales y rocas en el arte, la ciencia y la tecnología (José Sellés – Martínez; Liliana N. Castro) Colección Ciencia Joven - Eudeba
- Lavandaio, Eddy Omar Luis, 2008. Elementos de geología, mineralogía y materias primas minerales, 2ª edición. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Buenos Aires.
- [www.librosvivos.net](http://www.librosvivos.net) “El interior terrestre”