



## DINÁMICA INTERNA DE LA TIERRA

Guía de taller

*Aderezo de capas de la Tierra*

### Descripción

La historia, evolución y futuro de nuestro planeta, dependen del análisis de sus componentes y de su interacción. El sistema Tierra ésta formado por cuatro subsistemas: agua, aire, tierra y vida, entre ellas ocurren todos los procesos fundamentales para su estabilidad. El entendimiento de cómo funciona nuestro planeta debe ser un objetivo esencial en la educación básica. Es por ello que las capas que constituyen dicho sistema, desde las internas: núcleo y manto, hasta las externas: corteza, hidrósfera y atmósfera, serán explicadas en esta guía de acuerdo a sus características principales.

Se definirán los conceptos de densidad, núcleo, manto, corteza, hidrosfera y atmósfera, así como la descripción e ilustración de algunos de los fenómenos y procesos correspondientes a cada capa. Se mostrará la realización de un experimento sencillo con materiales caseros, que ejemplifique el orden de las capas en función a su densidad. Además, se darán a conocer algunos datos curiosos que complementen la información antes mencionada.

### Objetivos

- Comprender los conceptos de densidad, núcleo, manto, corteza, hidrosfera, atmósfera y sus características principales.
- Conocer la diferencia entre las densidades de los materiales realizando una actividad con distintos ingredientes de cocina.
- Conocer la relación entre el tema Capas de la Tierra y las Ciencias de la Tierra desde su área de estudio.
- Presentar cómo se aborda el tema en los libros de la SEP y el grado al que corresponde.

## Conceptos

- *Densidad:* Se define como la cantidad de materia o masa de una sustancia contenida en determinado volumen. Corresponde a una propiedad intensiva de la materia, pues no depende de la cantidad de masa que se tenga de dicha sustancia para reconocerla. La densidad usualmente se simboliza con la letra " $\rho$ " (rho) del alfabeto griego, y la expresión matemática para representarla es la siguiente:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde  $m$  es la masa y  $v$  el volumen.

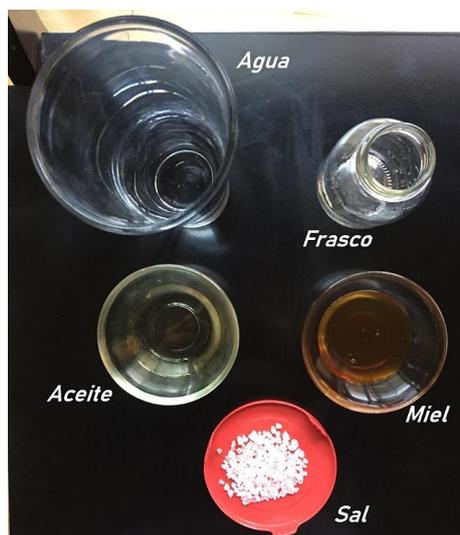
Por ejemplo, la densidad del agua es 1.00 g/mL a 25°C, lo que significa que tan solo 1 gramo de agua deberá ocupar un volumen de 1 mL bajo estas condiciones.

Todas las sustancias en la naturaleza tienen un valor de densidad que las distingue entre las demás. Y con la siguiente actividad del taller lo demostraremos.

## Actividad

### Materiales:

- ½ cucharada de sal de grano
- 3 cucharadas de miel
- 5 cucharadas de agua
- 2 cucharadas de aceite
- Un vaso transparente pequeño



Procedimiento:

1. En el vaso se agrega primero la miel, seguido de la sal de grano.



2. Se agrega el agua, de preferencia a un ritmo lento.



3. Finalmente se adiciona el aceite (con el vaso ligeramente inclinado).



Explicación:

En la siguiente tabla se muestran las densidades de los ingredientes que utilizamos:

Ingrediente	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Sal	2.16
Miel	1.41
Agua	1
Aceite	0.84-0.96

Observando el estado final de las capas que formaron los ingredientes utilizados, se puede concluir que la sal de grano es la más densa en relación a los demás, pues se deposita en el fondo del vaso. La miel es menos densa que la sal, pero más densa que el agua. El agua es menos densa que la miel, pero más densa que el aceite. Finalmente, el aceite es el ingrediente menos denso, quedando por encima de todos los anteriores. Y, si consideramos la capa de aire encima del aceite, se concluye que el aceite es menos denso que el agua, pero más denso que el aire.

Así como los ingredientes quedaron en capas debido a sus respectivas densidades, sucede lo mismo con nuestro planeta. La Tierra está conformada por varias capas, las cuales están ordenadas de acuerdo a la densidad de los materiales que las caracterizan. A continuación, se describen en función de su densidad.

- *Núcleo*: Es la capa que se encuentra en el centro, compuesto principalmente de hierro, níquel y otros elementos en menores cantidades como oxígeno, silicio y azufre. Se divide en **núcleo interno** y **núcleo externo**, cuyo grosor corresponde a 1216 km y 2270 km, respectivamente. Ambos son muy parecidos en cuanto a su composición, diferenciándose principalmente por el estado en el que se encuentran.
- *Manto*: Capa que ocupa más del 82% del volumen de la Tierra, con un grosor que corresponde a 2,900 km aproximadamente. Conformado por un tipo de roca ígnea (de origen magmático) predominante llamada *peridotita* (Figura1), caracterizada principalmente por dos minerales: olivino y piroxeno, mostrada en la Figura 2, imagen tomada desde un microscopio especial para observar rocas, minerales y estudiar sus propiedades.

El manto se divide en **manto externo**, donde la densidad promedio es  $3.3 \text{ g/cm}^3$ , y **manto interno**, cuya densidad aumenta debido a la estructura cristalina más compacta que adquiere la peridotita conforme aumenta la profundidad.

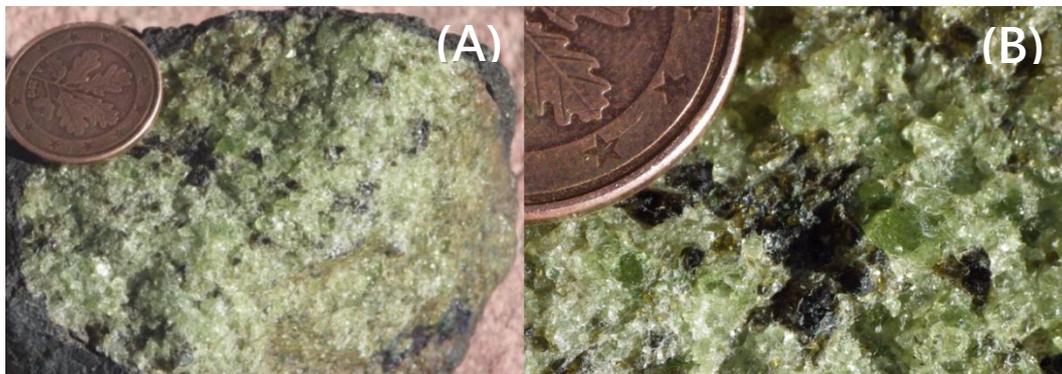


Figura 1. (A) Muestra de peridotita y (B) acercamiento a sus minerales.

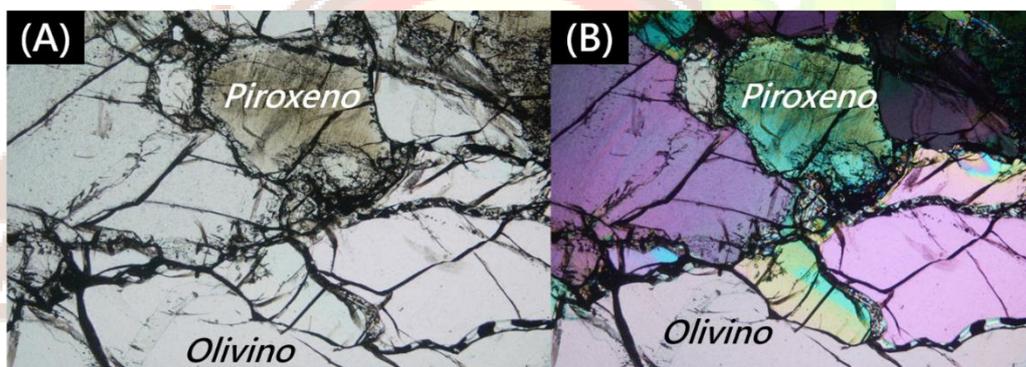


Figura 2. Minerales de una peridotita desde microscopio. (A) Imagen en luz natural donde se observan los olivinos incoloros o "blancos" y los piroxenos en marrón. (B) Imagen en luz polarizada, donde el piroxeno se expresa en tonalidades azules y el olivino rosa pastel.

- **Corteza:** Capa rocosa superficial, que toma lugar por encima del manto, diferenciada en **corteza oceánica** y **corteza continental**. El grosor medio de la corteza oceánica equivale a 7 km y tiene una composición química relativamente homogénea, pues la roca predominante corresponde a un tipo de roca ígnea llamada *basalto* (Figura 3) cuyos minerales principales son olivino, piroxeno y plagioclasa rica en calcio. Mientras que, en la corteza continental el grosor varía entre 35 y 70 km en las zonas montañosas, su composición está caracterizada por varios tipos de rocas, sin embargo, predomina la *granodiorita* (Figura 4), conformada por minerales como

cuarzo, plagioclasa, feldespato, biotita y anfíbol. La parte inferior de la corteza continental cambia hacia una composición basáltica.

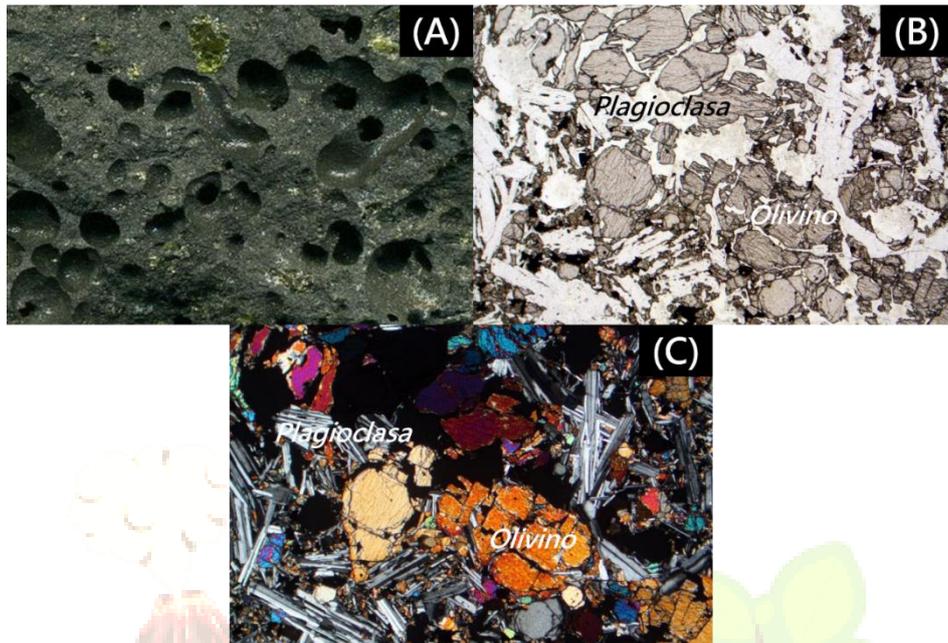


Figura 3. (A) Muestra de un basalto. (B) Imagen de una muestra desde microscopio con sus minerales indicados en luz natural, las plagioclasas en blanco y los olivinos en gris con sus bordes muy bien definidos y (C) Imagen en luz polarizada, observando a los olivinos en tonos naranjas, y las plagioclasas alargadas y con sus "rayas" características.

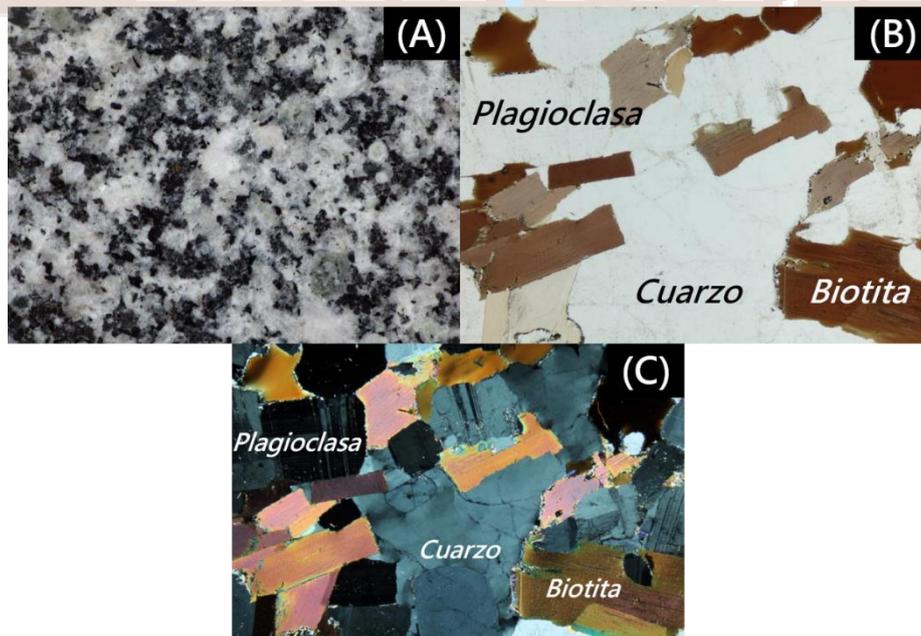


Figura 4 (A). Muestra de una granodiorita. (B) Imagen en luz natural donde se observan las plagioclasas blanquecinas en la parte superior, el cuarzo incoloro o "blanco" y la biotita en marrón. (C) Imagen en luz polarizada, donde las plagioclasas se distinguen por expresarse en "rayas", mientras que el cuarzo se observa grisáceo y las biotitas entre un amarillo opaco y rosa pastel.

Las rocas pertenecientes a la corteza continental tienen una densidad promedio de  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , y dentro de ellas se han encontrado rocas de hasta 4, 000 millones de años de antigüedad. En la corteza oceánica las rocas tienen una densidad media de  $3.0 \text{ g/cm}^3$ , y su edad se aproxima a los 180 millones o de años, lo que las hace mucho más jóvenes.

Existe un límite entre la corteza y el manto que marca la diferencia entre las capas y su composición, y en honor al sismólogo yugoslavo Andrija Mohorovicic, que probó lo anterior, se le denominó **discontinuidad de Mohorovicic** o, fácilmente abreviado como **Moho** (Figura 5).

#### *Las capas según sus propiedades físicas*

Las capas antes explicadas, son diferenciadas por su composición, sin embargo, también hay otra clasificación de acuerdo a sus características físicas o mecánicas, pues el aumento continuo de la temperatura y presión hacia el interior, modifica las propiedades y el comportamiento de los materiales. Estas capas son las siguientes:

- **Litosfera:** Tiene un grosor que varía entre 100 y 250 km. Conformada por la corteza y el manto superior, que, a pesar de la composición distinta de sus materiales, actúa como una sola unidad debido a su rigidez, por ser relativamente fría y resistente.
- **Astenosfera:** Se encuentra por debajo de la litosfera, con una profundidad de 660 km aproximadamente, es una capa blanda de roca fundida capaz de deformarse.
- **Mesosfera o manto inferior:** Localizada por debajo de la astenosfera, entre los 660 km y los 2900 km, es la parte más resistente del manto debido al aumento de la presión a la que está sometida, y, sin embargo, el material en esta zona es capaz de fluir progresivamente.
- **Núcleo interno y núcleo externo:** El núcleo externo, a una profundidad aproximada de 3000 km, es líquido y se mantiene en constante fluidez, la circulación de las corrientes convectivas del material en esta zona, sumado a la rotación de la Tierra, generan el campo magnético de nuestro planeta. A una profundidad de 5400 km, el núcleo interno se mantiene sólido, pues al estar sometido a una presión muy elevada, el material es más resistente a pesar de la alta temperatura. La densidad media del núcleo es  $11 \text{ g/cm}^3$ .

## Pero... ¿Cómo se conoce el interior de la Tierra?

El interior de nuestro planeta se conoció de manera indirecta a partir de aspectos principales como los siguientes:

1. *Las ondas sísmicas.* Cada que se genera un sismo producido por el movimiento de las placas tectónicas, las ondas son liberadas hacia todas direcciones, y éstas, como cualquier onda, se desvían y reflejan conforme a los materiales que se encuentren a su alrededor. Las ondas que se propagan en un sismo se dividen en dos tipos principales: **ondas P**, también llamadas *compresivas*, y **ondas S** o de *cizalla*. Los científicos se basan en la velocidad en la que tardan en desplazarse dichas ondas en el interior de la Tierra para distinguir las propiedades de los materiales y así, las capas. Las velocidades son registradas en diferentes estaciones sismográficas a lo largo del planeta. Las variaciones en las velocidades de las ondas dependen principalmente de las características de los materiales que hayan atravesado. Las ondas P son capaces de viajar más rápido que las ondas S, y de propagarse en materiales tanto sólidos como líquidos, mientras que las ondas S únicamente se propagan en materiales sólidos.

En la Figura 6 se muestran las velocidades de las ondas en función a la profundidad. Se observa que las velocidades de las ondas P son mayores que las velocidades de las ondas S, estas últimas dejan de propagarse a partir de los 3000 km, pues ya no hay velocidades registradas, lo que marca el límite entre el manto y el núcleo. La brusca disminución de la velocidad de las ondas P a los 2900 km, se debe a la transición del material rígido del manto inferior hacia el núcleo externo líquido, y una vez llegando al núcleo interno sólido la velocidad de dichas ondas aumenta de nuevo.

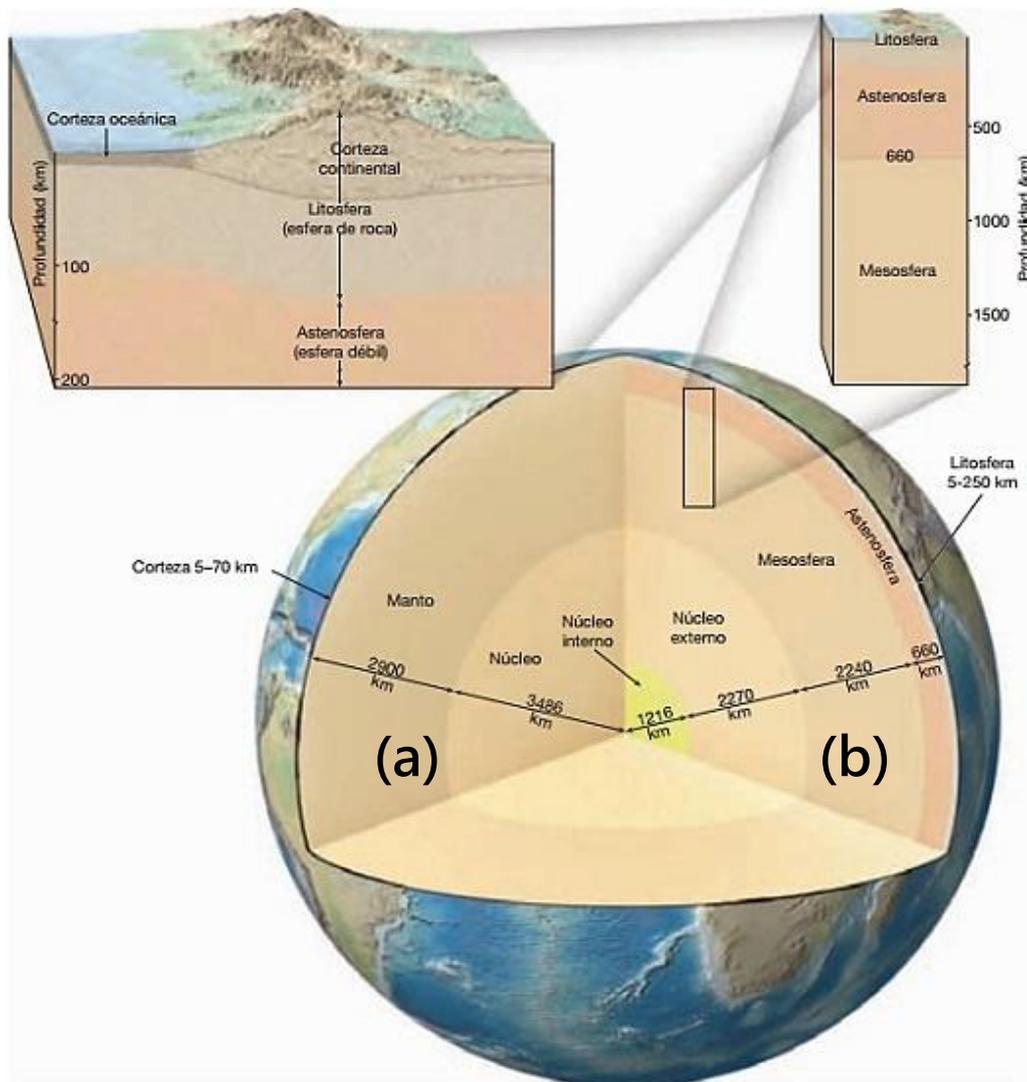


Figura 5. Imagen que muestra el interior de la Tierra, indicando las tres capas principales de acuerdo a su composición en el lado (a), y las capas de acuerdo a sus características físicas en el lado (b), con un acercamiento a las mismas.

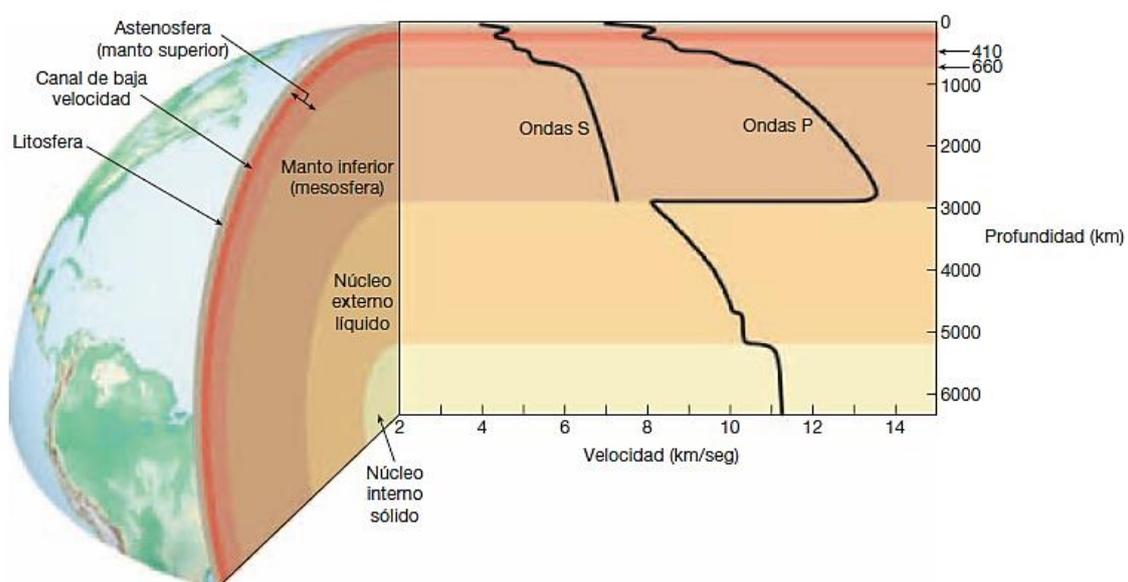


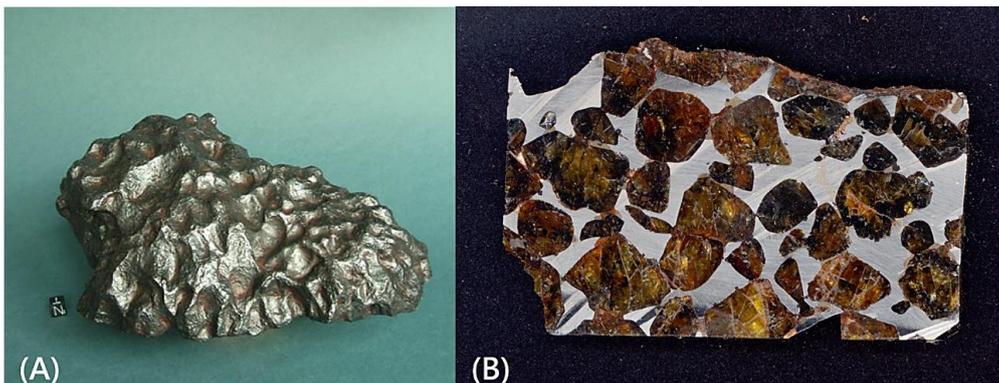
Figura 6. Variación en las velocidades de las ondas P y S conforme a la profundidad en el interior de la Tierra.

2. *Rocas y minerales de altas profundidades:* De forma indirecta se tienen muestras de minerales y rocas que provienen de grandes profundidades, y que, a partir de las cuales, se ha logrado inferir la composición del manto. Los xenolitos son rocas que quedan dentro de otras, con una composición y origen completamente diferentes a la roca predominante. Existen rocas que traen consigo xenolitos del manto (Figura 7), los cuales se han identificado con la composición típica del manto superior, es decir, minerales que comúnmente abundan en el mismo, como olivinos y piroxenos, tal cual la composición que caracteriza a las peridotitas, provenientes de grandes profundidades.



Figura. 7. Xenolito de una variedad de peridotita dentro de un basalto.

3. *Meteoritas:* Las meteoritas son fragmentos de cometas y asteroides que se mueven a gran velocidad en el espacio, e impactan la superficie de la Tierra. Dichos fragmentos proporcionan información acerca de la composición del núcleo, pues aquellas meteoritas de tipo metálicas (Figura 8) están principalmente conformadas de hierro y níquel. Los científicos sugieren que son cuerpos que dan pistas acerca del material a partir del cual nuestro



planeta se desarrolló. La Tierra, así como el resto de los planetas internos (Mercurio, Venus y Marte) y otros cuerpos como asteroides y cometas, fueron originados a partir de la misma nebulosa que dio lugar a nuestro Sistema Solar, por lo que el hierro es el elemento hallado más abundante en el mismo. De acuerdo a lo anterior, se infiere que tal elemento se encuentra en concentraciones mucho más altas en el núcleo, que en las rocas de la corteza al ser menos densas. Además, la existencia de un campo magnético terrestre, implica que el núcleo tenga una composición predominante de un conductor eléctrico, tal es el caso de hierro.

- *Hidrosfera:* Es la capa en la Tierra que contiene todas las formas de agua posibles, conformando poco más del 70% de la superficie de nuestro planeta. Está principalmente constituida por los océanos y las aguas continentales, como ríos, lagos, lagunas o aguas subterráneas, además del agua en los casquetes polares y los glaciares en altas montañas. El agua está en constante movimiento debido a los procesos que la someten a los distintos cambios en su estado de agregación, tal cual se representa en el ciclo del agua (Figura 9), siendo el ciclo que mueve la mayor cantidad de materia a lo largo, no sólo de la hidrósfera, sino también de la geosfera, atmósfera y biósfera.

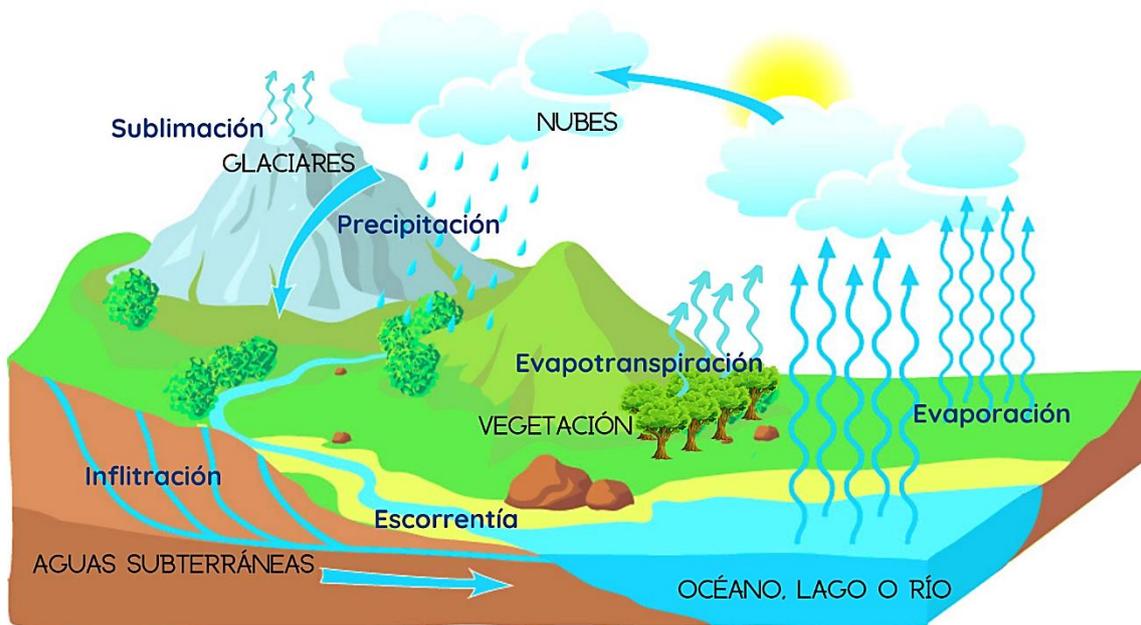


Figura 9. Ciclo del agua.

Los océanos tienen una amplia capacidad de retener calor, incluso tres veces más que toda la atmósfera, y son los responsables de regular la temperatura del planeta a partir de la distribución de esa energía, por medio de corrientes, desde el Ecuador y los trópicos (donde los rayos del Sol inciden de forma más directa) hacia las zonas templadas y frías cercanas a los polos. Dichas corrientes son originadas a partir de dos factores principales: las diferencias de temperatura y salinidad, además del movimiento de rotación de la Tierra, tormentas, sismos, vientos, etc. Esta circulación oceánica está conectada por medio de un sistema denominado *cinta transportadora global* o *circulación meridional profunda* (Figura 10). Hacia el Océano Atlántico se sumergen las aguas superficiales circulando hacia el Océano Antártico, surgiendo en las latitudes medias del Océano Pacífico hacia el Océano Índico y nuevamente hacia el Atlántico.

El agua es el recurso más importante para la vida, no sólo por el sustento que representa, sino porque alberga miles de seres vivos. Gracias a las corrientes marinas, muchos nutrientes y sales son transportados a lo largo de los océanos, favoreciendo las condiciones en las que se desenvuelven los organismos en los ecosistemas marinos.

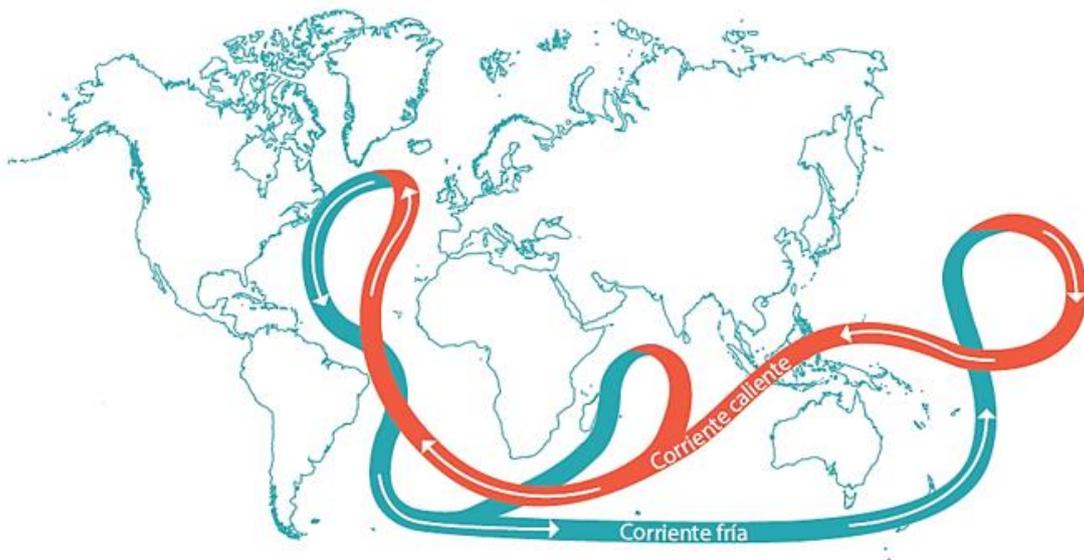


Figura 10. Ilustración de la cinta transportadora global, indicando la circulación de las aguas debido a su temperatura.

En la Figura 11 se muestra cómo se distribuye el agua en el planeta. Del 100% del agua en la Tierra, el 97.5% es agua salada y el 2.5% agua dulce. Del agua

dulce disponible, 70% corresponde a los glaciares, nieve o hielo, 30% a aguas subterráneas de difícil acceso y menos del 1% es agua disponible para el consumo humano. Del agua accesible para nuestro consumo, el 69% es utilizada en el sector agropecuario, el 19% por el sector industrial y el 12% por el sector municipal, es decir, el agua que usamos en las ciudades día con día.

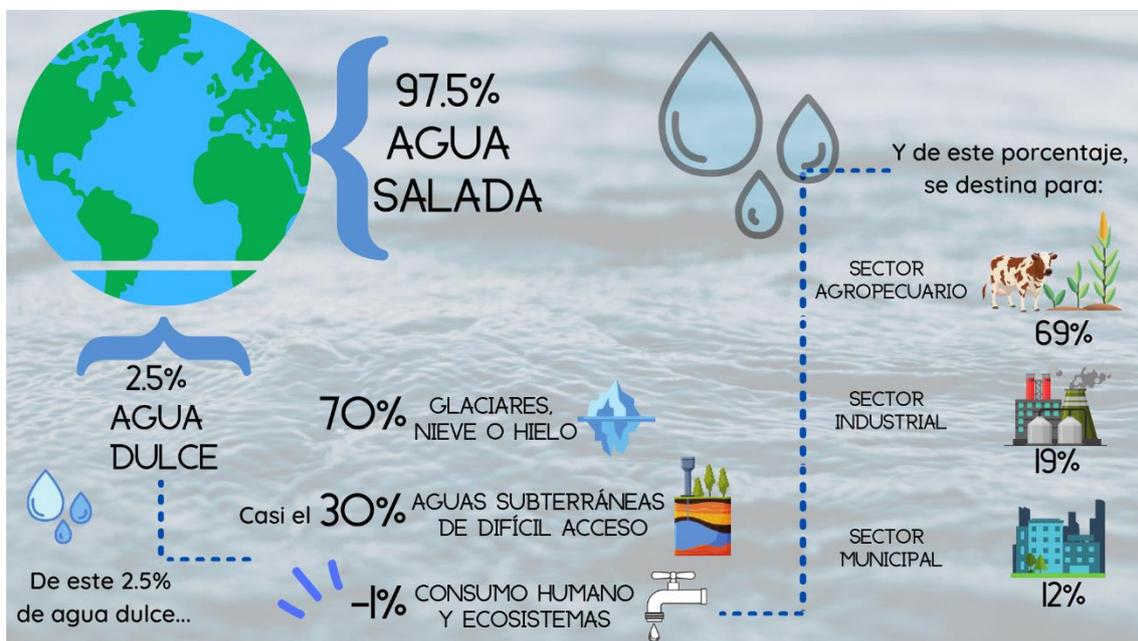


Figura 11. Distribución de agua en el planeta.

### ¿Cómo llegó toda el agua a nuestro planeta?

La Tierra hace 4600 millones de años comenzó formándose a partir del choque y aglutinamiento de material cósmico y gases. Parte del material acumulado, constituido por sílice, liberó su agua interna, además de la constante actividad volcánica, que producía grandes cantidades de gases y vapor de agua, arrojados a la atmósfera (Figura 12). En esta primitiva etapa, el planeta tenía temperaturas muy altas, lo que mantenía la continua evaporación del agua. Más tarde, entre los 4200 y 3800 mil millones de años, el planeta comenzó a enfriarse por debajo del punto de ebullición del agua (temperaturas en las cuales el agua permanece en estado líquido) ocasionando su condensación y, por lo tanto, lluvias intensas que formaron parte del agua superficial, como lagos y océanos.

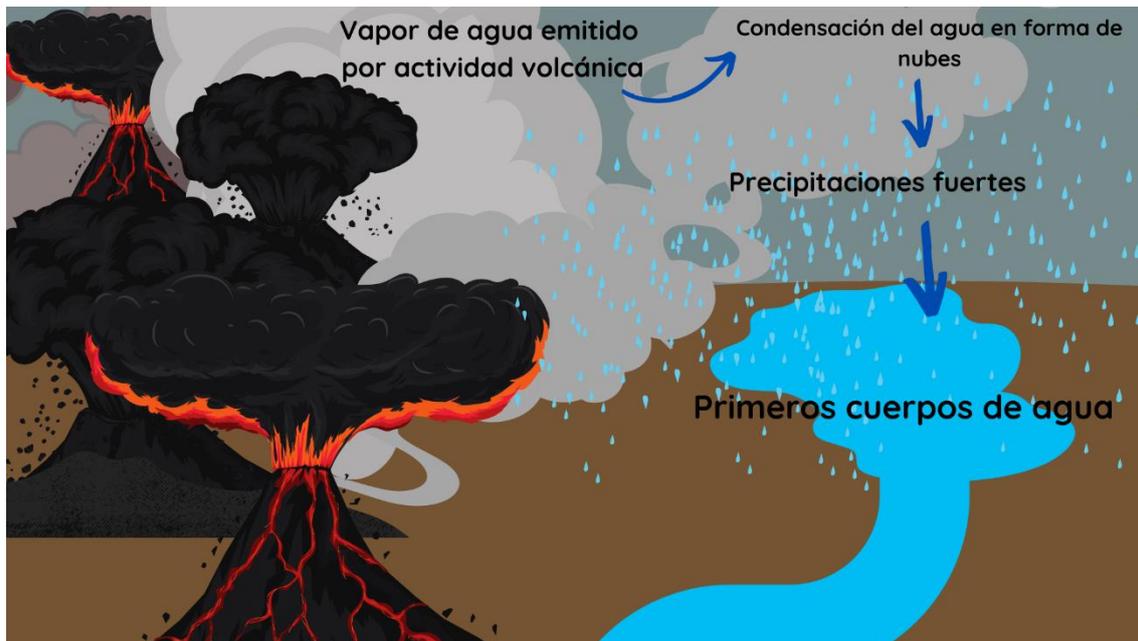


Figura 12. Imagen que ilustra parte del posible origen del agua en nuestro planeta.

Por otra parte, el suministro de agua a la Tierra, se debió también a la continua colisión de cometas en la superficie, estos son cuerpos provenientes de las partes más externas y frías del Sistema Solar mostradas en la Figura 13, que contienen agua congelada, y que, al llegar a nuestro planeta, fue transformada en agua líquida formando parte de los vastos océanos.

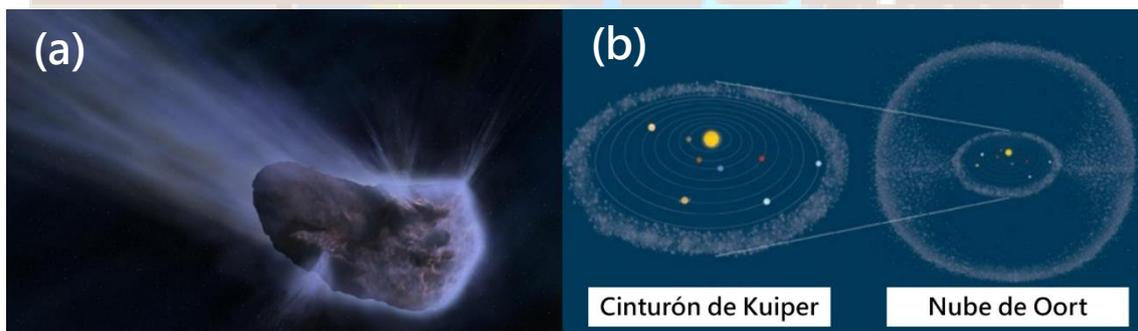


Figura 13. (a) Ilustración de cómo son arrastrados los gases de un cometa formando una cola al aproximarse al Sol. (b) Zonas de las que provienen los cometas.

- *Atmósfera:* Es la capa gaseosa que envuelve a la Tierra, gracias a la cual la temperatura es ideal para la existencia y preservación de la vida. Está conformada principalmente de nitrógeno y oxígeno, además de cantidades menores de argón, neón, vapor de agua, dióxido de carbono, entre otros gases variables (Figura 14). En la Tabla 1 se aprecian los valores de los gases permanentes y de los gases variables.

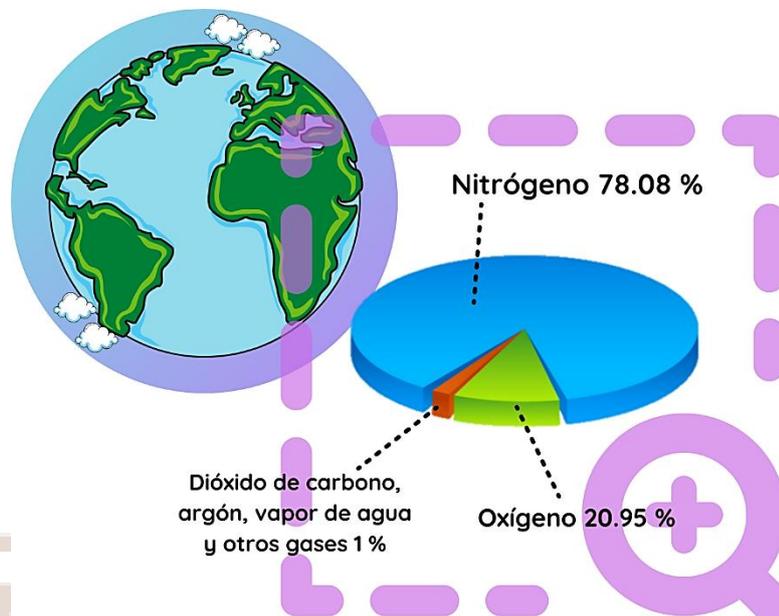


Figura 14. Porcentajes correspondientes a las concentraciones de los gases en la atmósfera.

SUSTANCIA	PORCENTAJE EN VOLUMEN (%)
<b>Gases permanentes</b>	
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	78.08
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	20.95
Argón (Ar)	0.93
Neón (Ne)	0.0018
Helio (He)	0.0005
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0.00006
Xenón (Xe)	0.000009
<b>Gases variables</b>	
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	0-4
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0.036
Metano (CH <sub>4</sub> )	0.00017
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	0.00003

Ozono (O <sub>3</sub> )	0.000004
Partículas (polvo, etc.)	0.000001
Clorofluorocarbonos (CFC)	0.00000002

Tabla 1. Gases de la atmósfera. Modificada de Camilloni, I. y Vera, C. (s/f).

El sistema atmosférico es de suma importancia para nuestro planeta:

- Sin ella la Tierra se asemejaría mucho más a la Luna.
- Los gases atmosféricos como el CO<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub> son sumamente importantes para los seres vivos, el dióxido de carbono es utilizado por los organismos fotosintéticos para alimentarse y producir oxígeno, mientras que este permite que muchos otros organismos obtengan su energía.
- Es un importante reservorio de agua, pues esta se mantiene en la atmósfera mucho más tiempo durante el ciclo hidrológico.
- El ozono permite la vida protegiéndola de la radiación ultravioleta.
- Mantiene la temperatura del planeta estable gracias al *efecto invernadero natural*, donde los gases de efecto invernadero absorben la radiación solar, permitiendo que entren a la superficie e impidiendo en forma parcial su salida, de tal manera que se eleve o conserve la temperatura.

### Capas atmosféricas

La atmósfera está dividida en capas de acuerdo a la variación de la temperatura en función de la altitud. En la Figura 15 se muestran las capas y cómo cambia la temperatura mientras aumenta la altitud desde la superficie.

Troposfera: Es la primera capa o la más cercana a la superficie, abarcando hasta los 12 km en promedio, pues en regiones cercanas al ecuador se ha registrado un máximo de 19 km y un mínimo de 9 km en las regiones polares. La temperatura mínima se aproxima a -55°C, que corresponde al límite superior de la troposfera denominado *tropopausa*, y es a partir de aquí que la temperatura deja de disminuir. El 80% de toda la masa de la atmósfera se concentra en esta capa, y es aquí donde ocurren los fenómenos meteorológicos más importantes, desde la formación de nubes hasta la creación de huracanes. El transporte aéreo como aviones o globos aerostáticos permanecen en esta capa.

Estratósfera: Capa situada entre los 12 y hasta los 45 km de altitud, donde la temperatura aumenta hasta los 0°C aproximadamente, marcando el límite de esta denominada *estratopausa*. Casi el 90% del ozono atmosférico se encuentra en la

estratósfera, y es la zona que protege a la superficie de la radiación ultravioleta proveniente del Sol.

Mesosfera: Esta capa se ubica por encima de la estratósfera extendiéndose hasta los 80 km de altitud, donde se encuentra su límite llamado *mesopausa*, alcanzando una temperatura aproximada de  $-90^{\circ}\text{C}$ . Es en esta capa donde aún hay suficientes gases para causar fricción, se desintegran las meteoritas y otros cuerpos celestes, antes de alcanzar la superficie terrestre, provocando que los fragmentos sean observados como destellos, mejor conocidos como "estrellas fugaces".

Termosfera: La temperatura en esta capa es capaz de aumentar hasta casi  $2500^{\circ}\text{C}$ . Se extiende desde los 80 km de altitud hasta los 500 y 1000 km. La termosfera es la zona donde se encuentra la estación espacial internacional que orbita la Tierra.

Exosfera: Es la capa que separa el resto de la atmósfera con el espacio exterior, tiene 10, 000 km de espesor, siendo tan amplia como el diámetro de la Tierra. Es la capa en donde pueden colocarse satélites, pues hay muy poca fricción debido a las concentraciones tan bajas de los gases, y pueden orbitar con facilidad. La exosfera está contenida en la magnetosfera, capa que constituye la interacción entre el magnetismo del planeta y el viento solar.

Ionosfera: Capa que atraviesa parte de la mesosfera, la termosfera y la exosfera. Su tamaño varía en función de la energía que absorbe del Sol, misma radiación que excita a los gases para transformarlos en iones, es decir, moléculas con carga eléctrica. Es en la ionosfera donde ocurren las auroras boreales, que son bandas de luz que se observan en las zonas cercanas a los polos, causadas por la interacción entre partículas provenientes del Sol y los átomos de esta capa. Cabe mencionar que dicha capa influye en la propagación de las ondas de radio, hacia lugares distantes a la Tierra, así como entre satélites.

### **¿Cómo se formó la atmósfera?**

La existencia de una atmósfera primigenia data desde hace 4 490 millones de años aproximadamente, ésta tardó en formarse alrededor de 50 millones de años desde la proto-Tierra o Tierra primitiva, tiempo en el cual los gases escapaban mientras se formaba en núcleo terrestre. Esta primera atmósfera sería muy inestable por la pérdida de gases hacia el espacio y estaría dominada principalmente por hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), proveniente de la nebulosa que dio lugar a la construcción del Sistema Solar, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), resultado de la actividad volcánica. Más

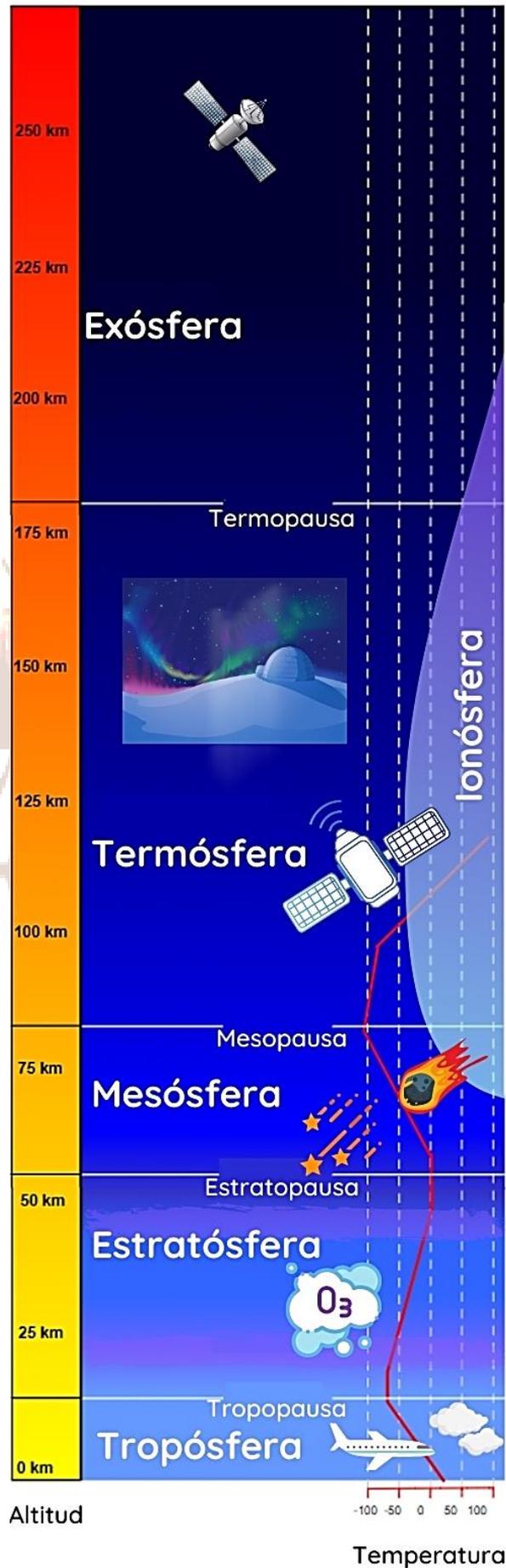


Figura 15. Capas de la atmósfera.

tarde, entre los 4 400 y 3 800 millones de años, se formó una atmósfera secundaria con gases provenientes del manto y del impacto de cuerpos celestes vaporizados en la colisión. Estos gases pudieron ser  $H_2$ ,  $H_2O$ , monóxido de carbono (CO) y  $CO_2$ , y que, conforme se enfriaban las nubes producidas por los impactos, daría lugar a moléculas como cianuro de hidrógeno (HCN), amoníaco ( $NH_3$ ) y metano ( $CH_4$ ). Hacia los 4,400 millones de años el vapor de agua retenido se condensó y precipitó, dando lugar a los océanos, por el enfriamiento de la superficie.

Con el continuo bombardeo entre los 4 100 y 3 900 millones de años, de cuerpos celestes de zonas más externas, se agregaron volátiles o sustancias con puntos de ebullición muy bajos, tales como grandes cantidades de  $H_2O$ . Sumado a lo anterior, fueron emitidas altas concentraciones de nitrógeno ( $N_2$ ),  $CO_2$  y  $H_2O$  por intensa actividad volcánica.

Posteriormente, hace 4 100 millones de años aproximadamente, se propone la probable existencia de vida de microorganismos que se alimentaban del dióxido de carbono y del hidrógeno produciendo grandes cantidades de metano, además de que debieron habitar en los océanos u otros ambientes donde estuvieran protegidos de la intensa radiación ultravioleta, por la ausencia de la capa de ozono. Esto contribuyó a un descenso en la concentración de  $CO_2$  y al aumento del  $CH_4$ , elevando la temperatura de la Tierra, ya que este es un gas eficiente de efecto invernadero. Parte del decremento en las concentraciones de dióxido de carbono, se debió a la asimilación del carbono por parte de la precipitación y los océanos, produciendo sales, y así contribuyendo a la salinidad de los mismos.

Más tarde, hace 3,300 millones de años, se tiene la teoría de la evolución de los primeros organismos fotosintéticos, generadores de  $O_2$ , conocidos como cianobacterias, y que 600 millones de años más tarde, desencadenó una proliferación de estos seres vivos, aportando grandes cantidades de tal gas a la atmósfera. Además, este aumento drástico de oxígeno dio lugar al incremento del ozono ( $O_3$ ), permitiendo la vida en la superficie gracias a la protección de los rayos UV, y no solo en las profundidades marinas.

La Figura 16 ejemplifica el proceso de formación de la atmósfera antes descrito.

# FORMACIÓN DE LA ATMÓSFERA



Figura 16. Ilustración que describe brevemente la formación de la atmósfera y sus cambios, a lo largo del tiempo desde la Tierra primitiva.

## ¿Y... la relación con las Ciencias de la Tierra?

En las Ciencias de la Tierra existen cinco enfoques de acuerdo a las diferentes áreas de estudio: Ciencias Ambientales, Ciencias Atmosféricas, Ciencias de Tierra Sólida, Ciencias Acuáticas y Ciencias Espaciales. El estudio de nuestro planeta y de las capas antes descritas, implica la integración de los especialistas en cualquiera de las áreas mencionadas, entre ellos están: geólogos geofísicos, físicos, sismólogos, vulcanólogos, meteorólogos, oceanógrafos, biólogos, etc., que no sólo se centran en estudiar las capas y su dinámica correspondiente, sino también, la relación entre ellas. Esto contribuye a la comprensión de la dinámica de nuestro planeta desde que se formó, hasta lo que conocemos el día de hoy, y sus posibles cambios futuros.

El hecho de saber el proceso de formación de la hidrosfera, de la atmósfera, de la composición interna de la Tierra, etc., conlleva un arduo trabajo de investigación, ya sea de gabinete, de campo o laboratorio, que ha tomado a la ciencia cientos de años, además de miles de personas dedicadas al estudio del planeta que ha permitido la existencia tan compleja de la vida como la conocemos hoy.

## Algo curioso sobre las capas de la Tierra...

- El núcleo interno de la Tierra es casi tan caliente como la superficie del Sol<sup>1</sup>. Un experimento utilizó rayos X para poner a prueba la temperatura de fundición del hierro sometiéndolo a condiciones de presión y temperatura muy altas, utilizando un dispositivo llamado "celda de yunque de diamante", donde se colocó una muestra muy pequeña de hierro sostenida entre la punta de dos diamantes sintéticos. Posteriormente, se hicieron rebotar a los rayos X sobre los núcleos de los átomos de hierro, para medir cómo cambiaba su estado. Finalmente, los científicos sugieren que el núcleo interno tiene una temperatura de 6000°C, aproximada a los 5500°C de la superficie solar.
- Se tiene la creencia de que la cantidad actual de agua sobre la Tierra no ha cambiado<sup>2</sup>, pues dicha cantidad es la misma que existía en la época de los dinosaurios.
- Si toda el agua de la Tierra estuviera contenida en un garrafón, sólo una cucharada sería el agua dulce disponible para los seres vivos<sup>2</sup>, por lo que es de suma importancia cuidarla.
- 90% del calor en la Tierra es absorbido por los océanos<sup>3</sup>.
- 99% de la masa viva del planeta se encuentra en los océanos<sup>3</sup>.
- La presencia de agua en la Luna es crucialmente importante para su exploración y colonización, pues a partir de los grandes costos de los viajes espaciales, cuesta casi lo mismo transportar un litro de agua a la Luna que lo que cuesta un kilo de oro en la Tierra<sup>4</sup>.
- La atmósfera representa un medio por el cual las ondas puedan viajar<sup>5</sup>. Las ondas sonoras son un tipo de energía que viaja a través de los gases que componen esta capa, sin ella no se podría escuchar el más mínimo sonido, la Tierra sería tan silenciosa como el espacio exterior. Además de que permite volar a las aves, insectos o aviones, sin atmósfera no habría nada que pudiese sostenerlos.

## ¿Dónde se aborda el tema en los libros de la SEP?

Primer grado de secundaria.

Asignatura: Geografía

Editorial: Innova Ediciones

- Bloque 2: Diversidad natural
  - *Secuencia 4: Relieve, sismicidad y vulcanismo.*

Editorial: Ediciones Castillo. Serie: Travesías Secundaria

- Bloque 1: Naturaleza y sociedad
  - *Secuencia 4: Procesos internos y externos de la Tierra y sus consecuencias.*

Editorial: Ediciones Castillo. Serie: Infinita Secundaria

- Bloque 1: Naturaleza y sociedad
  - *Secuencia 4: Dinámica interna de la Tierra y su relación con la sismicidad y el vulcanismo.*

Editorial: Editorial Trillas

- Eje 2: Naturaleza y sociedad: Procesos naturales y biodiversidad
  - *Dinámica de las capas internas de la Tierra.*
  - *Distribución y dinámica de las aguas oceánicas*
  - *Distribución y dinámica de las aguas continentales*
  - *Elementos y factores del clima*

Editorial: Ediciones SM

- Eje 2: Naturaleza y sociedad: Procesos naturales y biodiversidad
  - *Lección 4: Relación de los procesos internos y externos de la Tierra con la distribución de la sismicidad, el vulcanismo y el relieve.*
  - *Lección 5: Distribución y dinámica de las aguas oceánicas y continentales.*
  - *Lección 6: La atmósfera, factores y elementos del clima*

Editorial: EK Editores

- Eje 2: Naturaleza y sociedad.  
Tema: Procesos naturales y biodiversidad
  - *Secuencia 4: ¿En qué se relaciona la formación del relieve, la sismicidad y el vulcanismo?*
  - *Secuencia 5: ¿Cómo aprovechamos las aguas continentales y oceánicas?*
  - *Secuencia 6: ¿Por qué existen regiones donde hace mucho calor y otras donde hace mucho frío?*

Editorial: EK Editores. Serie: ¡Actívate!

- Eje Temático 2: Naturaleza y sociedad

Tema: Procesos naturales y biodiversidad

- Secuencia 4: *Tipos de relieve y regiones sísmicas y volcánicas.*
- Secuencia 5: *Aguas continentales y oceánicas*
- Secuencia 6: *Distribución de los climas y la relación con sus elementos y factores.*

Editorial: Santillana

- Trimestre 1

Secuencia didáctica 4: *Relación entre el relieve, sismos, volcanes y procesos internos y externos de la Tierra.*

- Secuencia didáctica 5: *Distribución y dinámica de las aguas continentales y oceánicas.*
- Secuencia didáctica 6: *Los climas y su distribución.*

Editorial: Fernández Editores

- Bloque 1: Procesos naturales y biodiversidad

- *Las capas internas del planeta Tierra.*
- *Importancia de la dinámica de aguas oceánicas: corrientes marinas, mareas y olas.*
- *Elementos y factores del clima.*

Editorial: Norma Ediciones

- Trimestre 01

- Secuencia 04: *Dinámica interna de la Tierra, sismos, volcanes, relieve y erosión.*
- Secuencia 05: *Aguas continentales y aguas oceánicas.*
- Secuencia 06: *Tipos de climas.*

## Fuentes

Información

- Agua en el planeta. México: *Agua.org.mx*. (<https://agua.org.mx/en-el-planeta/>).
- Anguita, F. (1996). Geología y Ciencias de la Tierra: Etimología y un poco de historia. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (4.3) 177-180.
- Atmósfera de la Tierra. *NASA Ciencia: Space Place*. (<https://spaceplace.nasa.gov/thermosphere/sp/>).

- Caamal Cauich, J. D. (2009). *Comparación de la calidad de la miel (Apis Mellífera) entre las zonas apícolas de Saltillo, Coahuila, Bolonchén de Rejón, Campeche*. Tesis de pregrado. Universidad Autónoma Agraria, México.
- Camilloni, I. y Vera, C. (s/f). La atmósfera. Recuperado de <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>
- Capas de la atmósfera. México: B@UNAM. ([http://uapas1.bunam.unam.mx/ciencias/capas\\_de\\_la\\_atmosfera/](http://uapas1.bunam.unam.mx/ciencias/capas_de_la_atmosfera/)).
- Chang, R. y College, W. (2002). *Química*. Colombia. McGraw Hill Interamericana Editores, S. A. de C. V.
- Fierro, J. (s. f). Cometas. ([http://www.astroscu.unam.mx/~julieta/AVE\\_Textos/AVE\\_Cometas.pdf](http://www.astroscu.unam.mx/~julieta/AVE_Textos/AVE_Cometas.pdf)).
- García, J. P. y Peñaflor, P. (2005). El diamante (Parte II). *Nuestra Tierra*. 6-11.
- García Rodríguez, M. (2012). La hidrosfera. El ciclo del agua en el planeta. La calidad del agua. Contaminación acuática. Eutrofización. Sistemas de tratamiento y depuración. El agua como recurso natural. Gestión del agua. Criterios para un uso sostenible. *Cenoposiciones*, pp.22.
- Hidrosfera. México: *Ciencias de la vida y de la Tierra*. ([http://dione.cuaed.unam.mx/maquetacion/baunamAsignatura/modulo1\\_plantilla/asignatura/unidad3/hidro4.html](http://dione.cuaed.unam.mx/maquetacion/baunamAsignatura/modulo1_plantilla/asignatura/unidad3/hidro4.html)).
- Ionosphere. *Space Weather Prediction Center, NOAA*. (<https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/ionosphere>).
- IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI\\_AR5\\_glossary\\_ES.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf)
- Llarena, M., Cattapan, D. y De Luca, A. (2001). Las ondas sísmicas y la estructura interna de la Tierra: una aproximación desde la historia de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (9.1) 13-20.
- Ortega-Rivera, M. A. (2008). La hidrosfera. *Nuestra Tierra*, (9). 15-25.

- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G., Barrera, J. L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J. C., Fernández Martínez, E. M., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perello, J. M., Pascual, J. A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. (21.2) 117-129.
- Pelegrí, J. L., Marotta, H., Navarrete, S. A. y Pascual, A. (2019). El papel regulador de los océanos en el sistema terrestre. *Cambio Global NVO*. 129-152.
- Pla-García, J. y Menor Salvan, C. (2017). La composición química de la atmósfera primitiva del planeta Tierra. *An. Quím.* 113(1). 16-26.
- Plutonic rocks. (2020). *Alex Strekeisen*.  
(<http://www.alexstrekeisen.it/english/pluto/index.php>).
- Ramírez Fernández, J. A., Treviño Cázares, A. y Velasco Tapia, F. (2008). Xenolitos peridotíticos del manto: una oportunidad de investigación hacia las profundidades de la Tierra. *Ciencia UANL*, XI(1). 51-55.
- Rodríguez, L. F. y Gómez, Y. (2007). El origen cósmico del agua. *Ciencia*. 6-16.
- Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., y Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid, España. Pearson Education S. A.

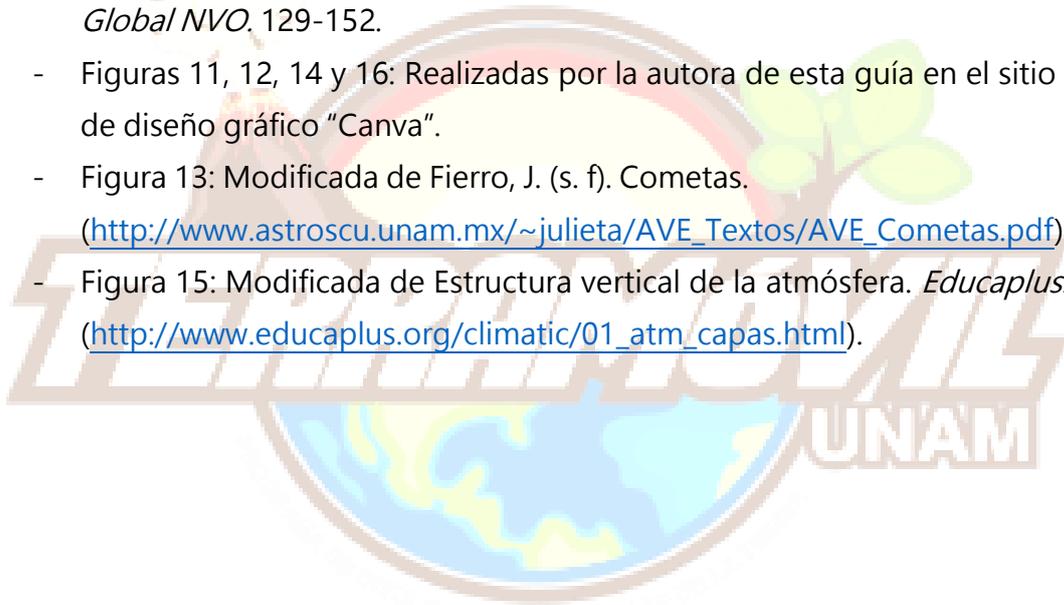
#### Datos curiosos

1. El centro de la Tierra está tan caliente como el Sol. (2013). *BBC NEWS*.  
([https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/04/130425\\_ciencia\\_tierra\\_temperatura\\_ig](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/04/130425_ciencia_tierra_temperatura_ig)).
2. Ortega-Rivera, M. A. (2008). La hidrósfera. *Nuestra Tierra*, (9). 15-25.
3. Pelegrí, J. L., Marotta, H., Navarrete, S. A. y Pascual, A. (2019). El papel regulador de los océanos en el sistema terrestre. *Cambio Global NVO*. 129-152.
4. Rodríguez, L. F. y Gómez, Y. (2007). El origen cósmico del agua. *Ciencia*. 6-16.
5. Atmósfera. *Capas de la Tierra.org*.  
(<https://www.capasdelatierra.org/atmosfera/>)

#### Figuras

- Figuras 1, 2, y 4: Atlas de rocas ígneas. Madrid, España.  
(<https://petroigne.wordpress.com>).

- Figuras 5 y 6: Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., y Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid, España. Pearson Education S. A.
- Figuras 3, 4 y 7: Alex Strekeisen. (<http://www.alexstrekeisen.it/english/index.php>).
- Figura 8: Modificada de Hernández Bernal, M. del S. (2015). Galería: Polvo de estrellas, cristales y rocas que llegaron del cielo. México: *Revista Digital Universitaria*. (<http://www.revista.unam.mx/vol.16/num6/art47/>).
- Figura 9: Modificada de ¿Cuánto sabes sobre el ciclo del agua? *Aquae Fundación*. (<https://www.fundacionaquae.org/cuanto-sabes-sobre-ciclo-agua/>).
- Figura 10: Modificada de Pelegrí, J. L., Marotta, H., Navarrete, S. A. y Pascual, A. (2019). El papel regulador de los océanos en el sistema terrestre. *Cambio Global NVO*. 129-152.
- Figuras 11, 12, 14 y 16: Realizadas por la autora de esta guía en el sitio web de diseño gráfico "Canva".
- Figura 13: Modificada de Fierro, J. (s. f). Cometas. ([http://www.astroscu.unam.mx/~julieta/AVE\\_Textos/AVE\\_Cometas.pdf](http://www.astroscu.unam.mx/~julieta/AVE_Textos/AVE_Cometas.pdf)).
- Figura 15: Modificada de Estructura vertical de la atmósfera. *Educaplus.org*. ([http://www.educaplus.org/climatic/01\\_atm\\_capas.html](http://www.educaplus.org/climatic/01_atm_capas.html)).



Elaborado por **Rebeca Irais Raygosa Martínez**, 2021  
*Programa de Divulgación de Ciencias de la Tierra "Terramóvil", Instituto de  
Geología, UNAM.*

Ciudad de México, México.

[beccact@ciencias.unam.mx](mailto:beccact@ciencias.unam.mx)