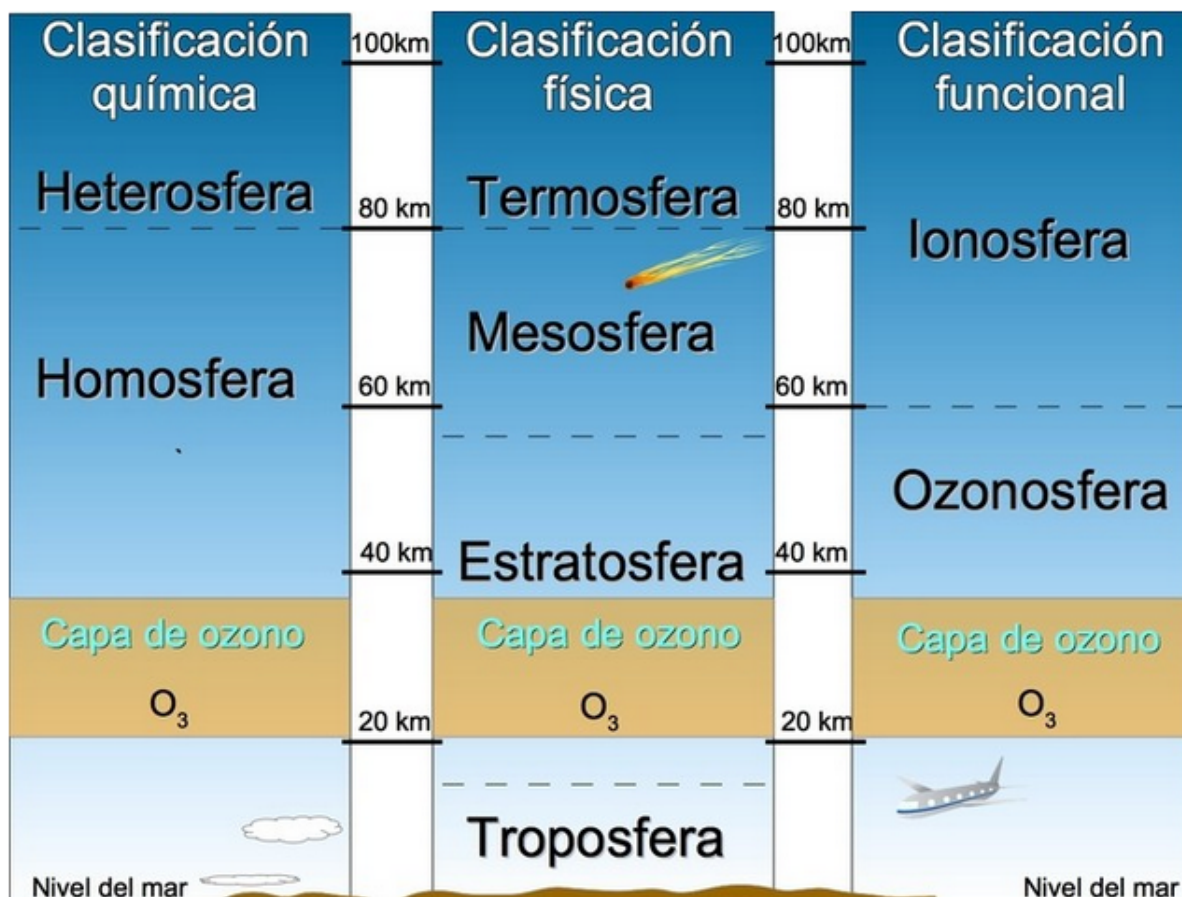


Química Atmosférica

1. Introducción a la química atmosférica.
 - a) Las capas de la atmósfera.**
 - b) Nociones de meteorología.
- c) Radiación solar y procesos fotoquímicos.
- d) La troposfera natural y la contaminada.

Capas de la atmósfera terrestre



Clasificación Química:

Se basa en su composición química

Clasificación Física:

Se basa en los patrones de temperatura

Clasificación Funcional:

Se basa en la función que cumplen las capas

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación química

Homósfera: Empieza en la superficie y llega hasta ~80 km. La composición de gases se mantiene más o menos homogénea (del griego *homo*, igual). El nitrógeno (N_2), se encuentra en mayor proporción con 78 %, seguido de oxígeno (O_2) con 21 %; el resto está representado por gases nobles (Ar, Ne, He), dióxido de carbono (CO_2), hidrógeno (H_2), ozono (O_3), y vapor de agua (H_2O). ([Detalles en la lámina 25](#)).

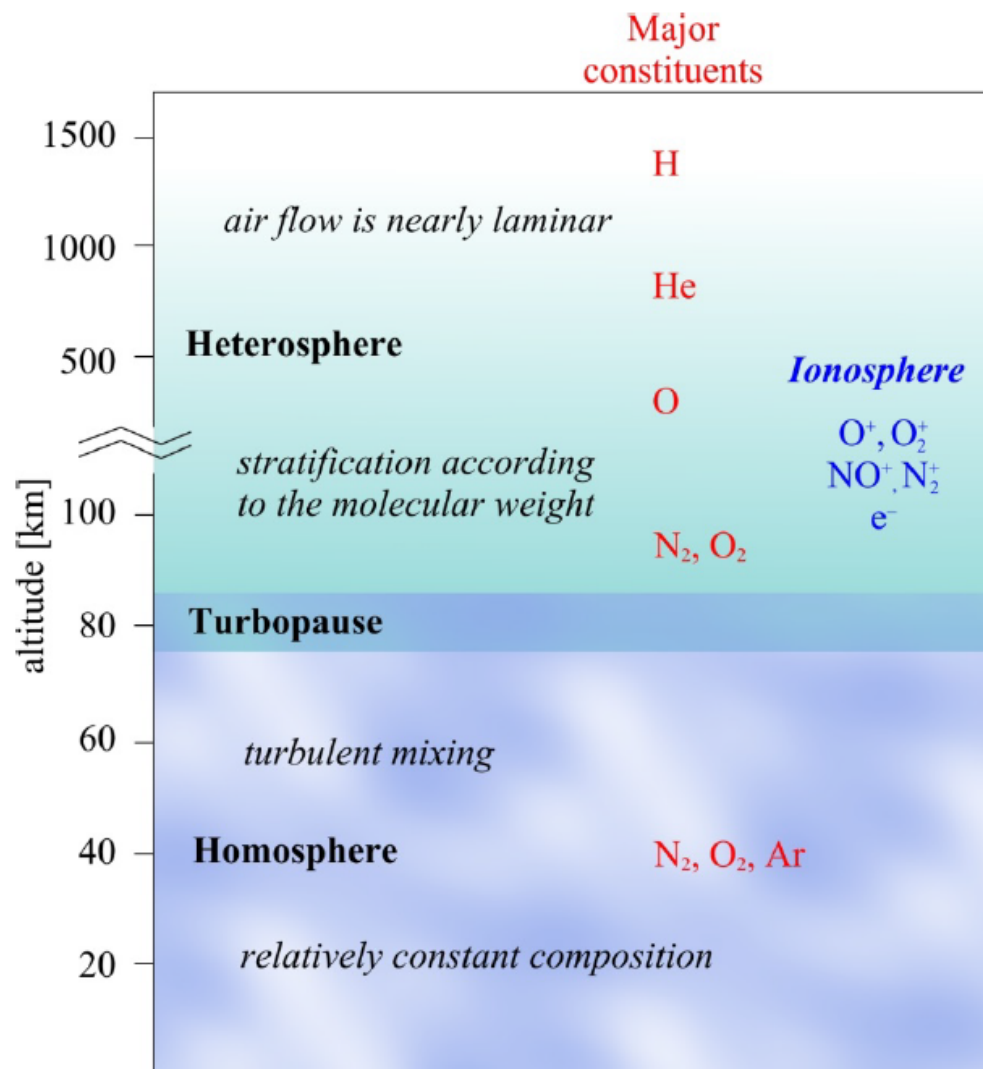
Heterósfera: Por arriba de los 80 km, donde los gases se empiezan a separar en diferentes estratos. El N_2 y el O_2 que son más pesados se encuentran más abajo mientras los gases más livianos, como el hidrógeno atómico, se concentran en el exterior.

Gas Predominante	Altitud
Capa de Nitrógeno molecular (N_2)	Entre 100 y 200 Km.
Capa de Oxígeno atómico (O)	Entre 200 y 1000 Km.
Capa de Helio (He)	Entre 1000 y 35000 Km.
Capa de Hidrógeno atómico (H)	A partir de 3500 Km.

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación química

A partir de los 60 km y hasta alrededor de los 200 km se encuentran además radicales libres, iones y electrones libres (ionósfera, clasificación funcional).



Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación funcional

Ozonósfera: Va de los 15 a los 50 km sobre la superficie, incluye la capa de ozono que tiene como función filtrar los rayos ultravioleta.

El ozono es una molécula compuesta por tres oxígenos O_3 . Es tóxico para la vida en la superficie terrestre. Sin embargo, sin la capa de ozono en la parte alta de la atmósfera, toda la radiación UV llegaría a la Tierra, causando quemaduras y daños a los seres vivos.

Ionósfera: Cumple la función de blindar la Tierra contra las radiaciones dañinas provenientes del espacio exterior. Se extiende de los 60 km a los 400 km.

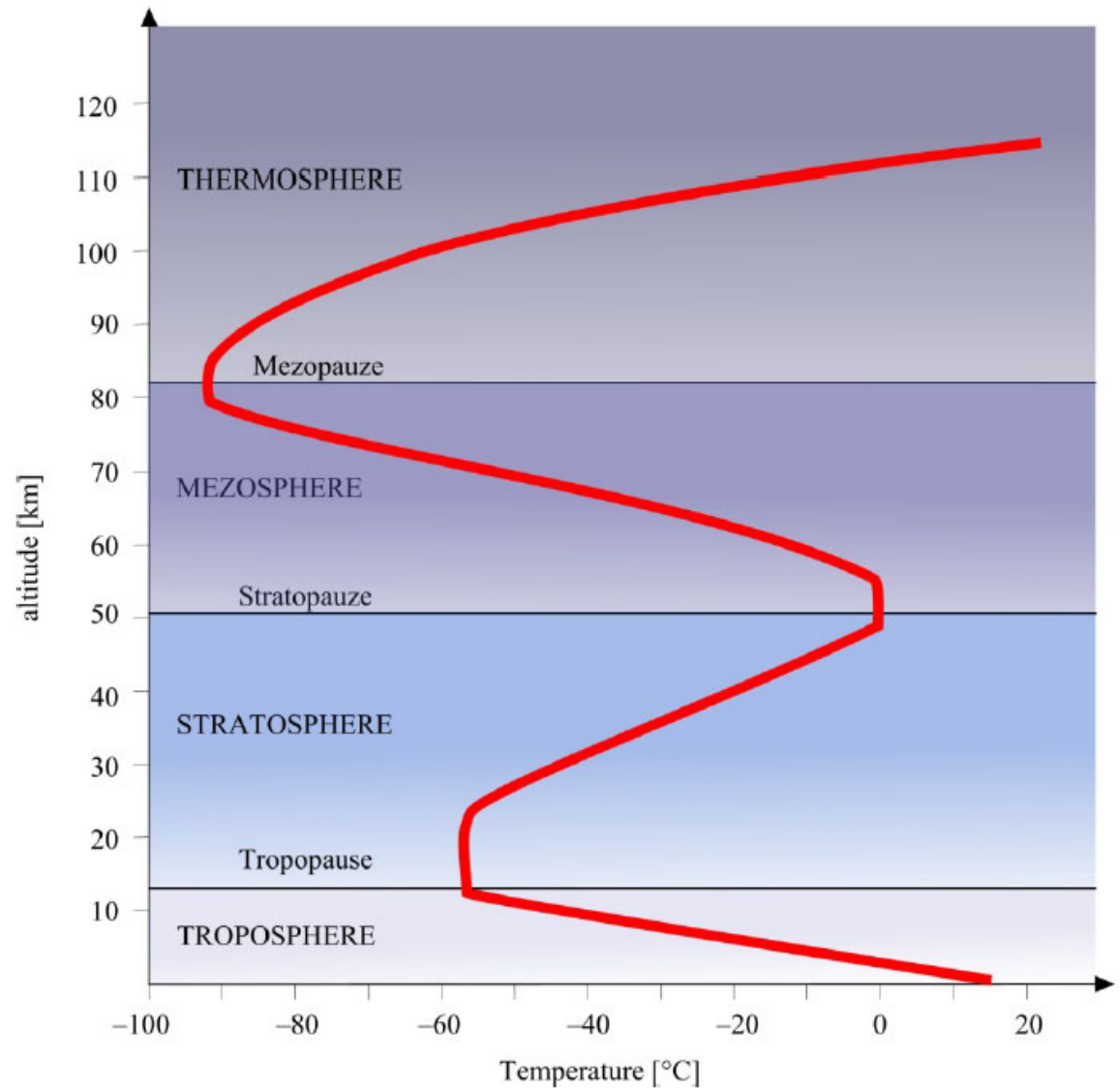
El nombre de ionosfera se refiere a la ionización de las moléculas y átomos que ocurre en esta capa. La ionización se produce cuando un átomo gana o pierde electrones, a causa de los rayos UV, rayos X y rayos gamma.

En la ionosfera se transmiten las señales de comunicación y se producen las auroras boreales.

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física

Esta clasificación se basa en los cambios en la tendencia de la temperatura con respecto a la altitud. Cada una de las capas tiene características únicas.

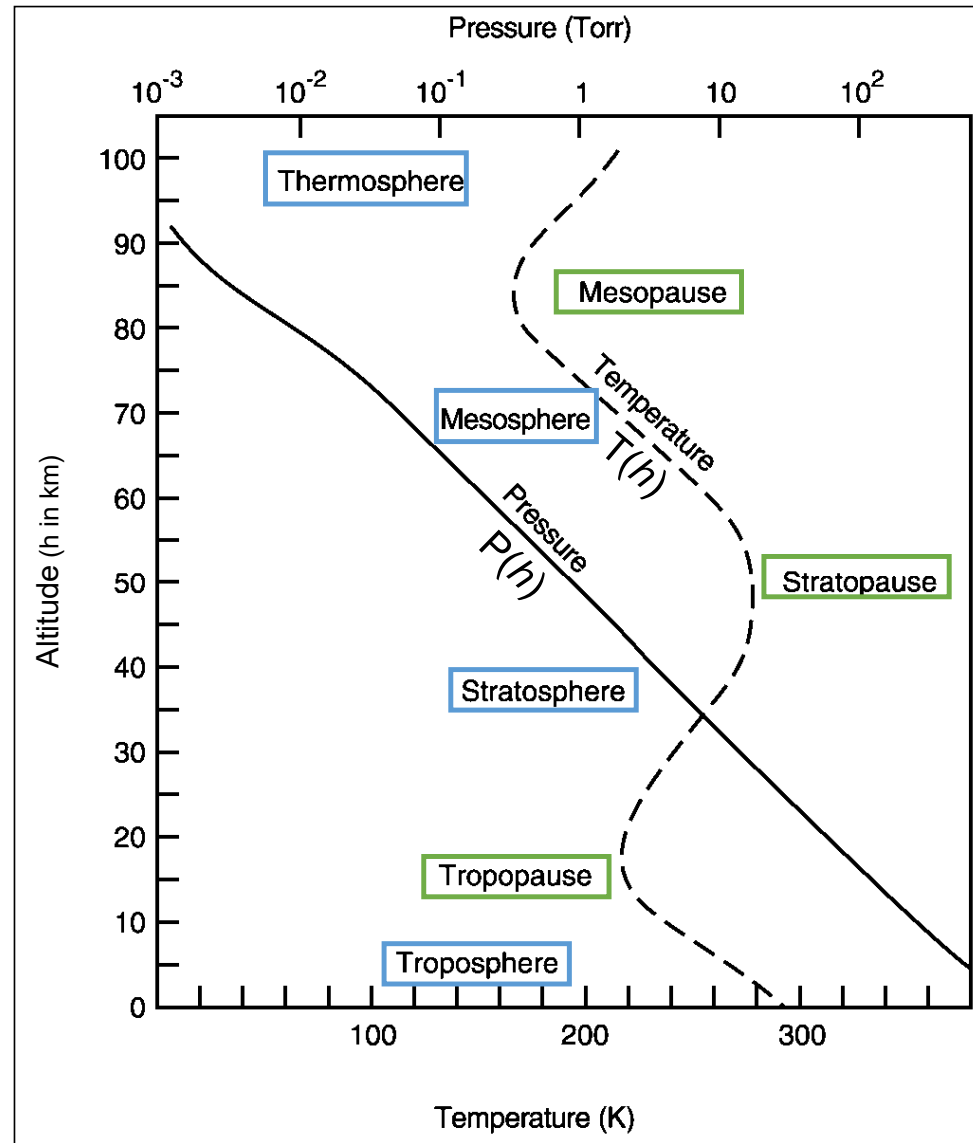


Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física

A diferencia de la temperatura, la presión disminuye sistemáticamente con la altura en todas las capas.

1 atmósfera = 760 Torr



Capas de la atmósfera terrestre Clasificación física

Exosfera: 600 o 1000 a 10000 km

Termosfera: 85 a 600km o 1000 km

Mesosfera: 50 a 85 km

Estratosfera: 12 a 50 km

Troposfera: 0 a 12 km

Distancias a la superficie terrestre

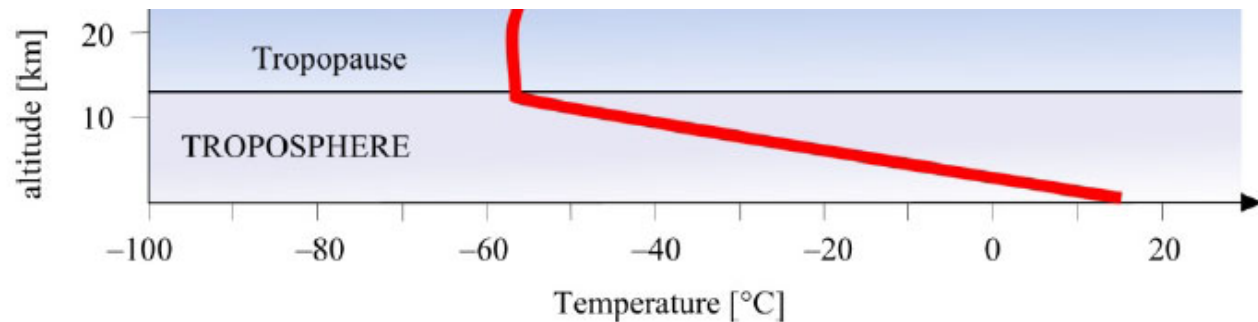
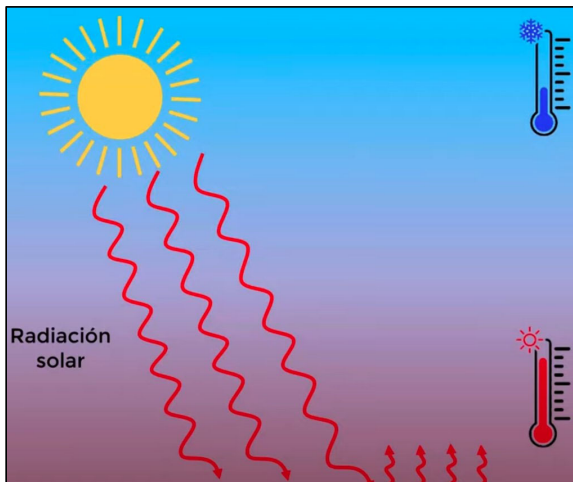
**Diámetro de la tierra:
12 742 km**



Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: TROPÓSFERA

Contiene ~80% de la masa total de la atmósfera y prácticamente la totalidad del vapor de agua y las partículas. Casi todos los fenómenos climáticos y la formación de nubes ocurren en esta capa.



La fuente de calor de la tropósfera es la superficie terrestre que se calienta al absorber la radiación solar y luego irradia calor.

La mayor temperatura del aire cerca de la superficie genera turbulencias verticales que mueven el vapor de agua y otras trazas hacia mayores alturas.

Gradiente vertical de la temperatura:

$$\nabla_h T(h) = \frac{\partial T(h)}{\partial h} \approx -6.5 \text{ } ^\circ\text{C km}^{-1}$$

Capas de la atmósfera terrestre



Clasificación física: TROPÓSFERA

El aire se encuentra en constante circulación debido a las variaciones de temperatura en las diferentes superficies de la tierra.

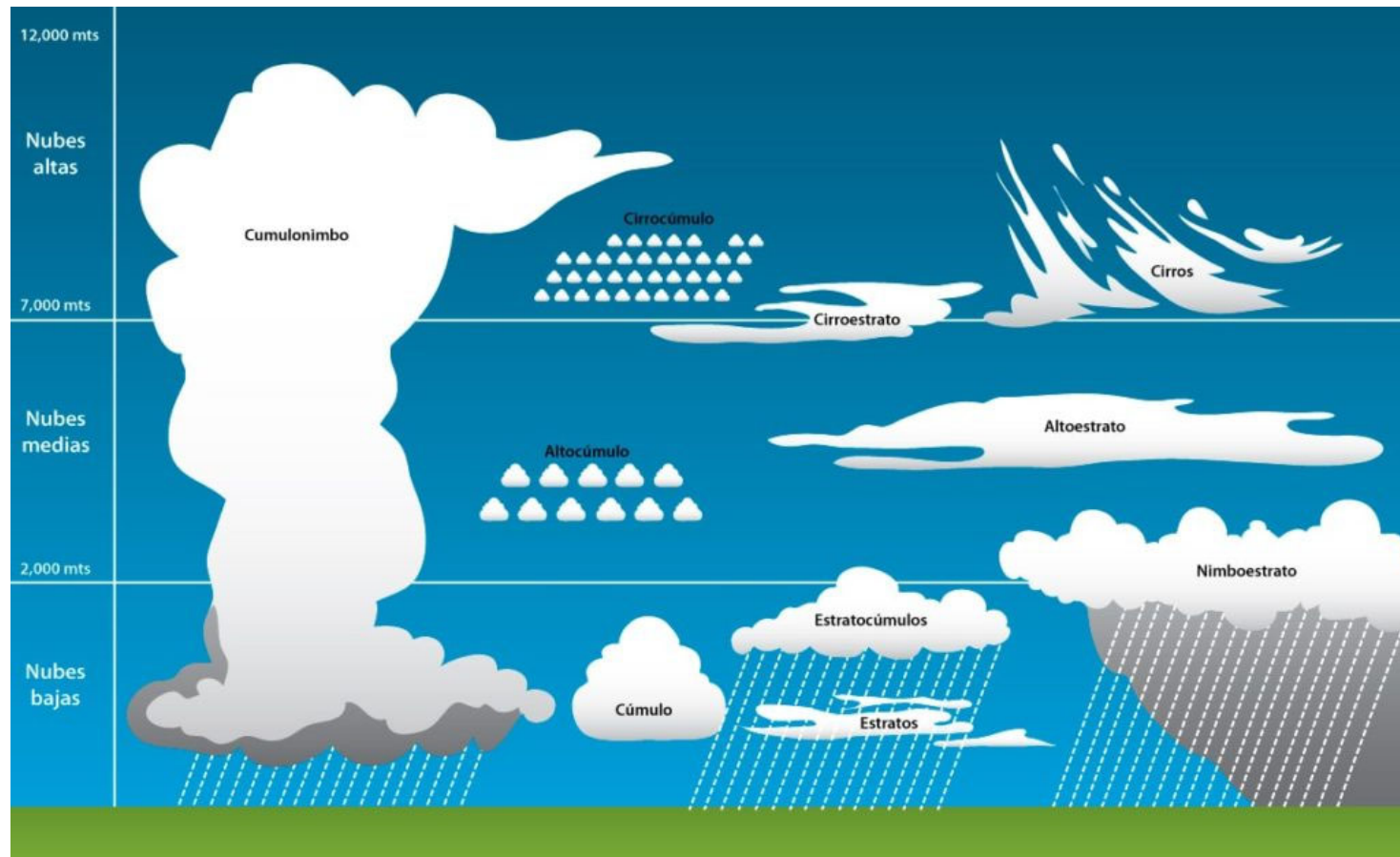
Cuando el aire caliente sube (baja densidad), provoca una fuerte circulación vertical por lo que las especies emitidas de la superficie de la tierra pueden ascender a la tropopausa (la región que separa la troposfera de la estratosfera) en unos pocos días o menos, dependiendo de las condiciones meteorológicas.



Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: TROPÓSFERA

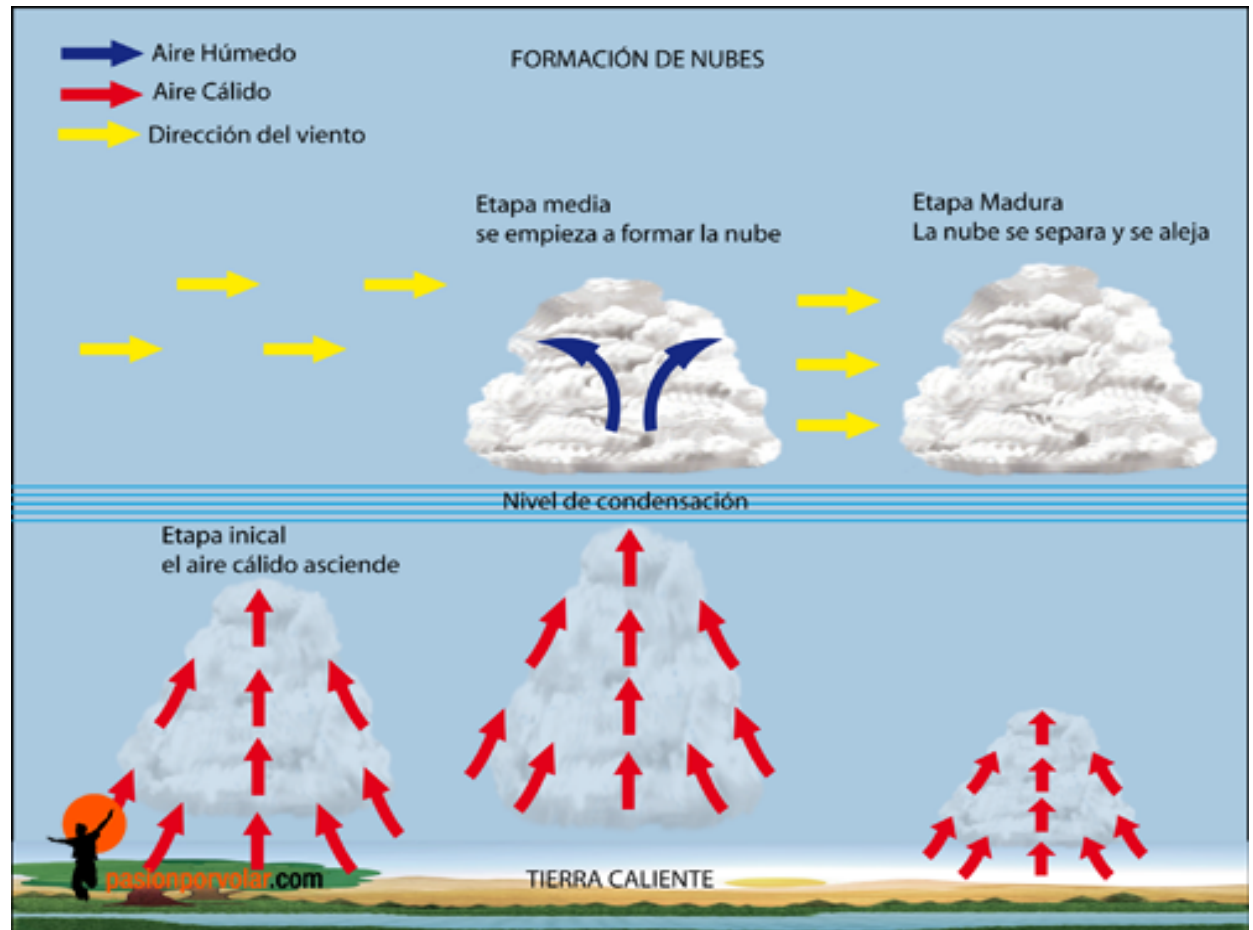
Tipos de nubes y su localización en la tropósfera



Capas de la atmósfera terrestre

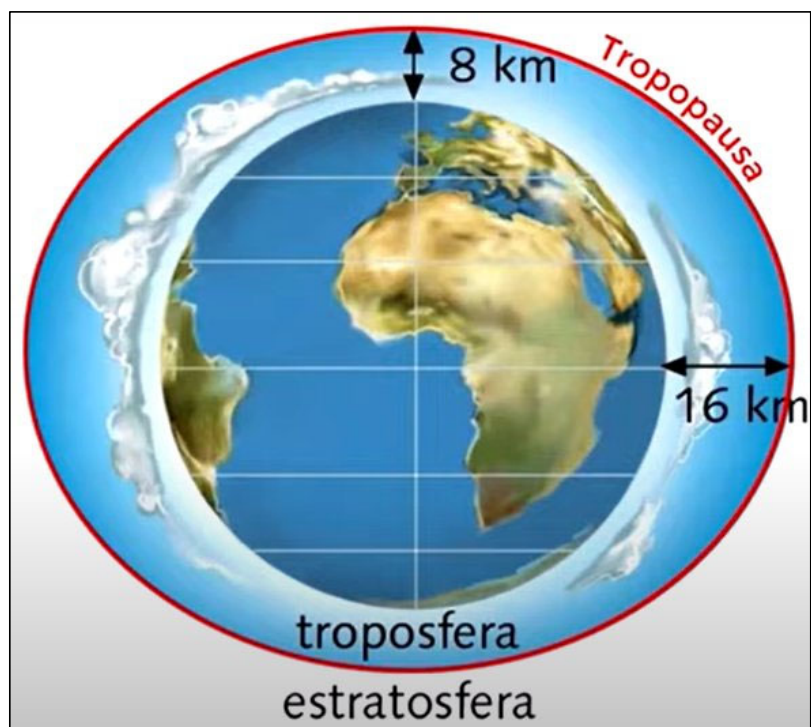
Clasificación física: TROPÓSFERA

Las precipitaciones proporcionan un importante mecanismo para la eliminación de contaminantes de la atmósfera (*precipitation scavenging*).

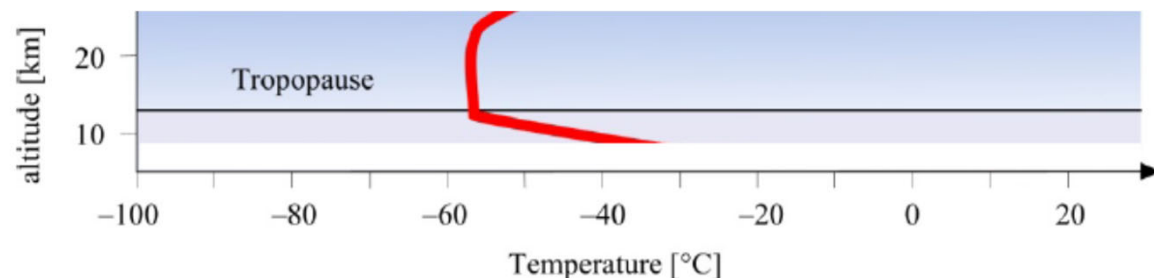


Capas de la atmósfera terrestre

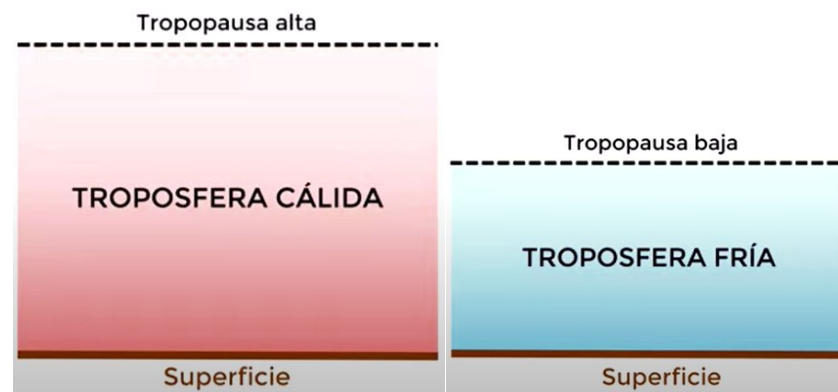
Clasificación física: TROPOPAUSA



Existe una diferencia brusca entre el gradiente de la tropósfera y el gradiente de la tropopausa



Su altitud depende de la temperatura de la superficie y por lo tanto de las estaciones del año y los fenómenos climáticos presentes en cada región.

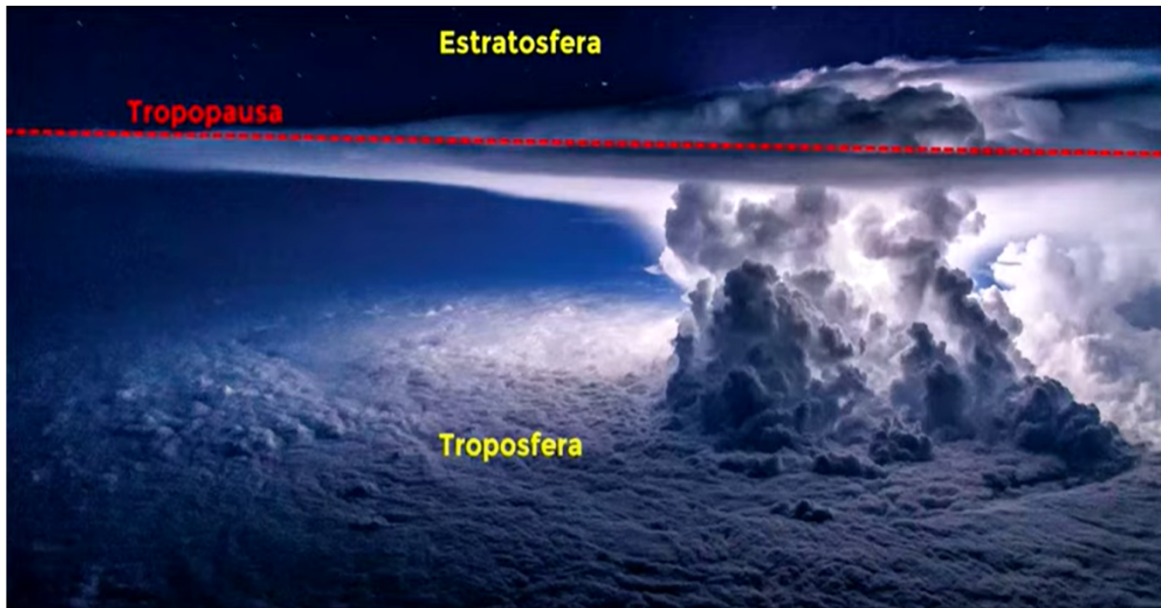


Gradiente vertical de la temperatura:

→ $-2 \text{ °C km}^{-1} \leq \nabla_h T(h) < 0$

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **TROPOPAUSA**



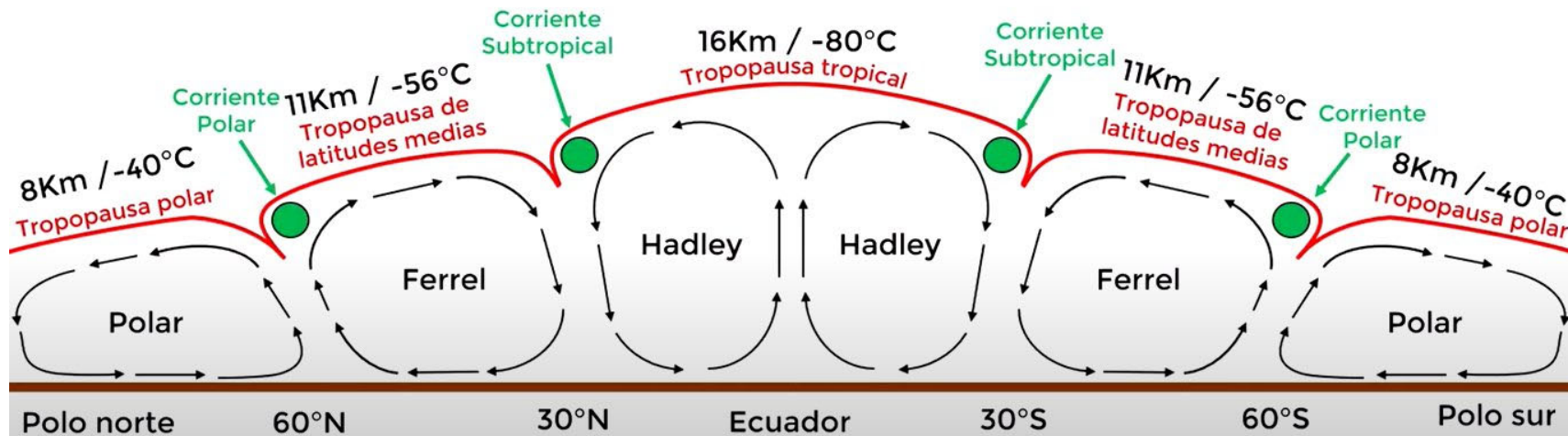
La diferencia en el gradiente vertical de temperatura entre la troposfera y estratosfera hace que la tropopausa actúe como un límite vertical para la circulación atmosférica

La tropopausa atrapa el vapor de agua, los aerosoles y la gran mayoría de los fenómenos meteorológicos asociados a la troposfera.

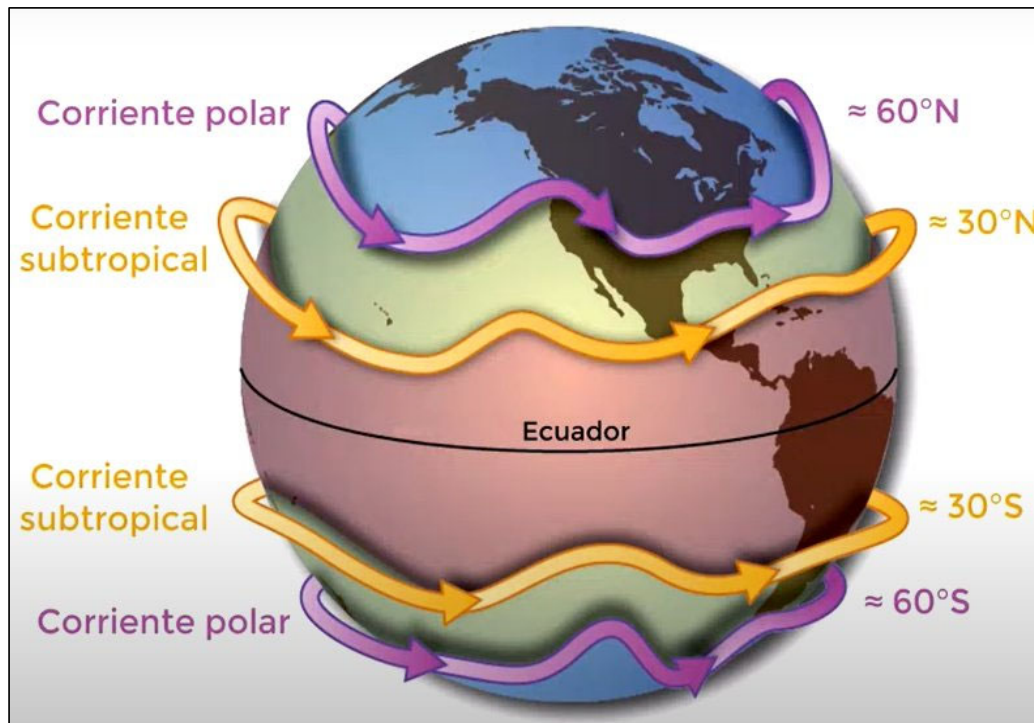
Capas de la atmósfera terrestre Clasificación física: TROPOPAUSA

Debido a las diferencias significativas de temperatura en la troposfera la distribución de la circulación atmosférica hace que la Tropopausa sufra rupturas en ciertas zonas, conocidas como Tropopausa Tropical (células de Hadley), Tropopausa de latitudes medias (células de Ferrel) y Tropopausa Polar (células Polares).

Estas rupturas contribuyen a la formación de corrientes en chorro (Jetstreams)



Corrientes en chorro (Jetstreams)



Fuertes y estrechas corrientes de aire concentradas a lo largo de un eje casi horizontal, caracterizadas por una fuerte cizalladura vertical y horizontal del viento.

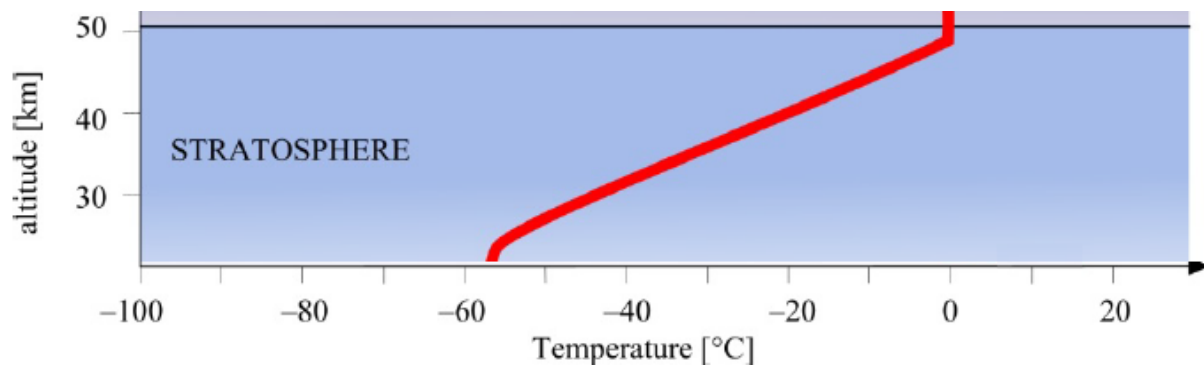
Es muy importante que las aeronaves consideren estas corrientes en chorro ya que afectan de manera importante la navegación aérea.

Capas de la atmósfera terrestre

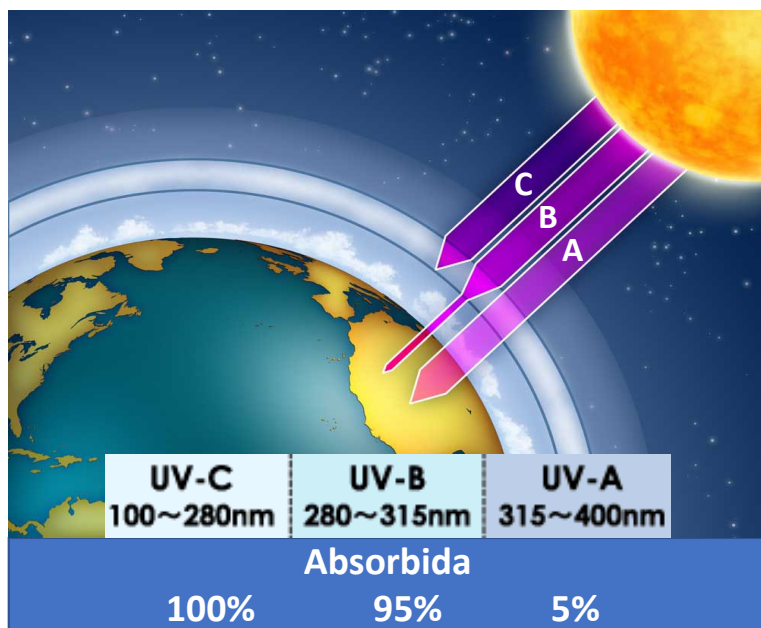
Clasificación física: **ESTRATÓSFERA**

Gradiente vertical de la temperatura:

$$\nabla_h T(h) \approx 6.5 \text{ }^\circ\text{C km}^{-1}$$



Esto se debe al ozono, que absorbe radiaciones con $\lambda < 290\text{nm}$.



La capa de ozono se localiza en los 2/3 superiores de la estratosfera y es esencial para la vida en la tierra. Gracias a ella la luz del Sol que llega a la tropósfera (radiación actínica) tiene $\lambda > 290\text{nm}$, lo que limita la fotoquímica troposférica. Solo las moléculas que absorben a $\lambda > 290\text{nm}$ pueden fotodisociarse en la tropósfera.

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: ESTRATÓSFERA

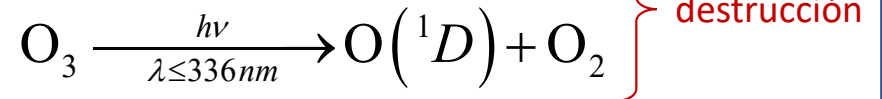
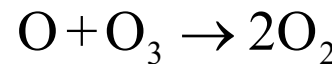
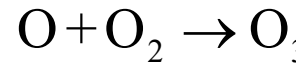
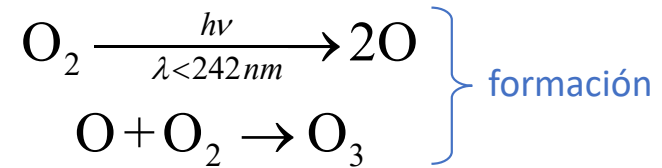
El ozono absorbe fuertemente la radiación solar entre los 200nm y los 310nm (Rayos UV) y absorbe débilmente las radiaciones más cercanas al visible.

La disociación a estados electrónicamente excitados O_2 ($^1\Delta_g$) y $O(^1D)$ requiere luz energéticamente equivalente a 310 nm.

Por lo tanto, el exceso de energía disponible después de la absorción de luz se libera como calor; también se libera energía de la reacción $O + O_2$.

Ambos dan lugar al aumento de temperatura en la estratosfera.

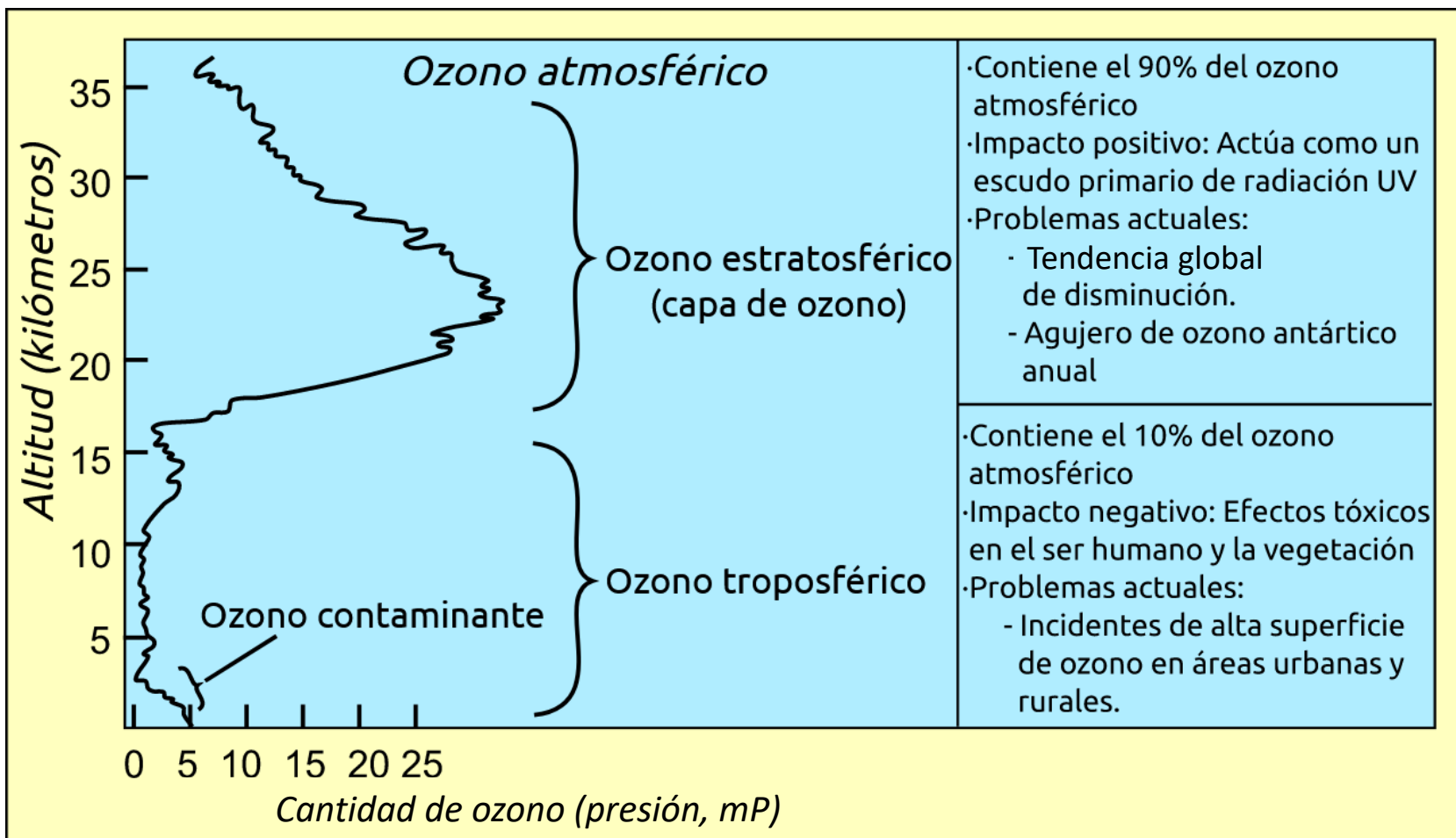
Ciclo de Chapman (1930)



Lo veremos en detalle cuando estudiemos la química de la estratosfera

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **ESTRATÓSFERA**



Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **ESTRATÓSFERA**

Contiene ~19% de la masa total de la atmósfera y solo pequeñas cantidades de vapor de agua. Las partículas que llegan a la estratósfera desde la tropósfera permanecen allí largo tiempo.



PSC: Polar Stratospheric Clouds.

Las nubes estratosféricas polares (PSC por sus siglas en inglés), también llamadas *nubes nacaradas* o *madreperla*, están compuestas por diminutos cristales de hielo (formados a partir de ácido nítrico o de agua); se forman entre los 15 y 30 km de altura a temperaturas de aproximadamente -83°C . Se pueden observar en la Antártida durante el invierno austral.

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **ESTRATÓSFERA**

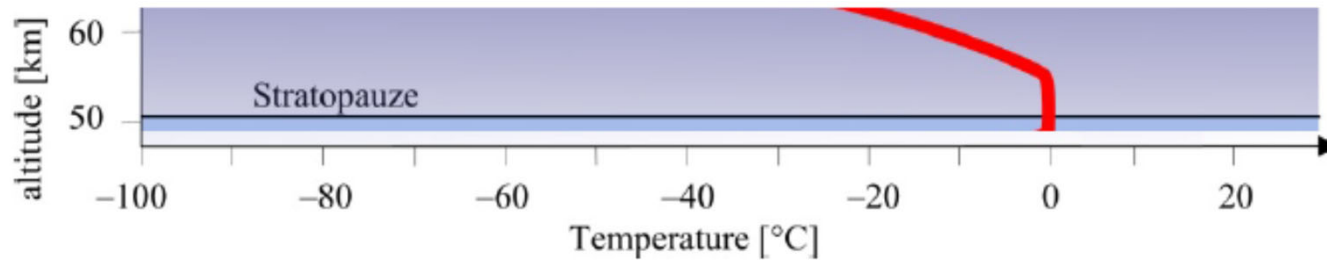


En la estratósfera, se produce una baja circulación vertical relativa y no se presentan precipitaciones en esta región.

Debido a estas condiciones, se ha observado que al realizar inyecciones masivas de partículas, como ocurre en erupciones volcánicas como la del Pinatubo, a menudo se forman capas de partículas que perduran durante largos períodos de tiempo.

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **ESTRATOPAUSA**



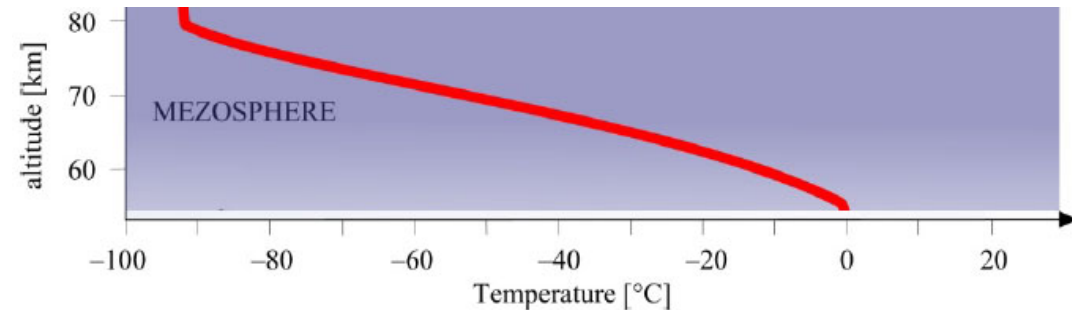
La estratopausa es la capa de transición situada entre la estratósfera y la mesósfera, donde está el punto de inflexión de la temperatura, la cual se mantiene en torno a 0°C. ($\nabla_h T(h) \approx 0 \text{ } ^\circ\text{C km}^{-1}$)

La mayor parte del ozono de la atmósfera se sitúa en torno a 22 kilómetros por encima de la superficie de la Tierra, en la región próxima a la estratopausa, en la parte superior de la estratosfera.

Los movimientos del aire en esta región son casi en su totalidad horizontales, siguiendo a los vientos de la estratosfera.

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **MESÓSFERA**



En la mesósfera la temperatura se reduce con la altitud hasta valores cercanos de -90°C . Esta tendencia se debe a la disminución en la concentración de O_3 con altitud.

Gradiente vertical de la temperatura:

$$\nabla_h T(h) \approx -2.75 \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$$

No es suficiente para que ocurran fenómenos de convección, por lo que es una capa estable.



Aquí se desintegran los meteoritos provocando las lluvias de estrellas o estrellas fugaces.

Es la capa más fría de la atmósfera (-100°C).

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **MESÓSFERA**

Contiene solo ~0,1 % de la masa total del aire. Sin embargo, es más densa que la siguiente (termósfera). Esa es la razón por la que ahí arden los meteoritos como resultado de la fricción con las moléculas presentes.

Se estima que cada día caen aproximadamente 40 toneladas de meteoritos hacia la tierra, pero la mesósfera es capaz de quemarlos antes de que lleguen y causen daño en su superficie.

Debido a que la mesósfera se encuentra por encima de la altitud máxima de globos y aviones, pero demasiado baja para los satélites artificiales, solo puede estudiarse con cohetes sonda durante tiempo limitado.

Por esta razón, es la zona peor entendida de la atmósfera y entre los científicos se le ha dado el apodo humorístico de *ignorósfera*.

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **MESÓSFERA**

En esta capa se forman las nubes mesosféricas polares o nubes noctilucentes, de colores azulados y/o violáceos. Aunque en esta altitud la humedad es muy baja se supone que el escasísimo vapor de agua se adhiere a partículas higroscópicas formando los pequeños cristales de hielo que, agrupados, dan origen a estas nubes.



Las partículas secas pueden ser de contaminación, hollín, polvo cósmico, restos de meteoritos o incluso proceder de erupciones volcánicas

En estas nubes mesosféricas se calcula que el aire es unas 100.000 veces más seco que el del desierto del Sahara

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **MESÓSFERA**

Este fenómeno solo se produce en torno al equinoccio de verano de ambos hemisferios. En el norte a finales de mayo, junio y julio, y en el sur de finales de noviembre, diciembre a enero.



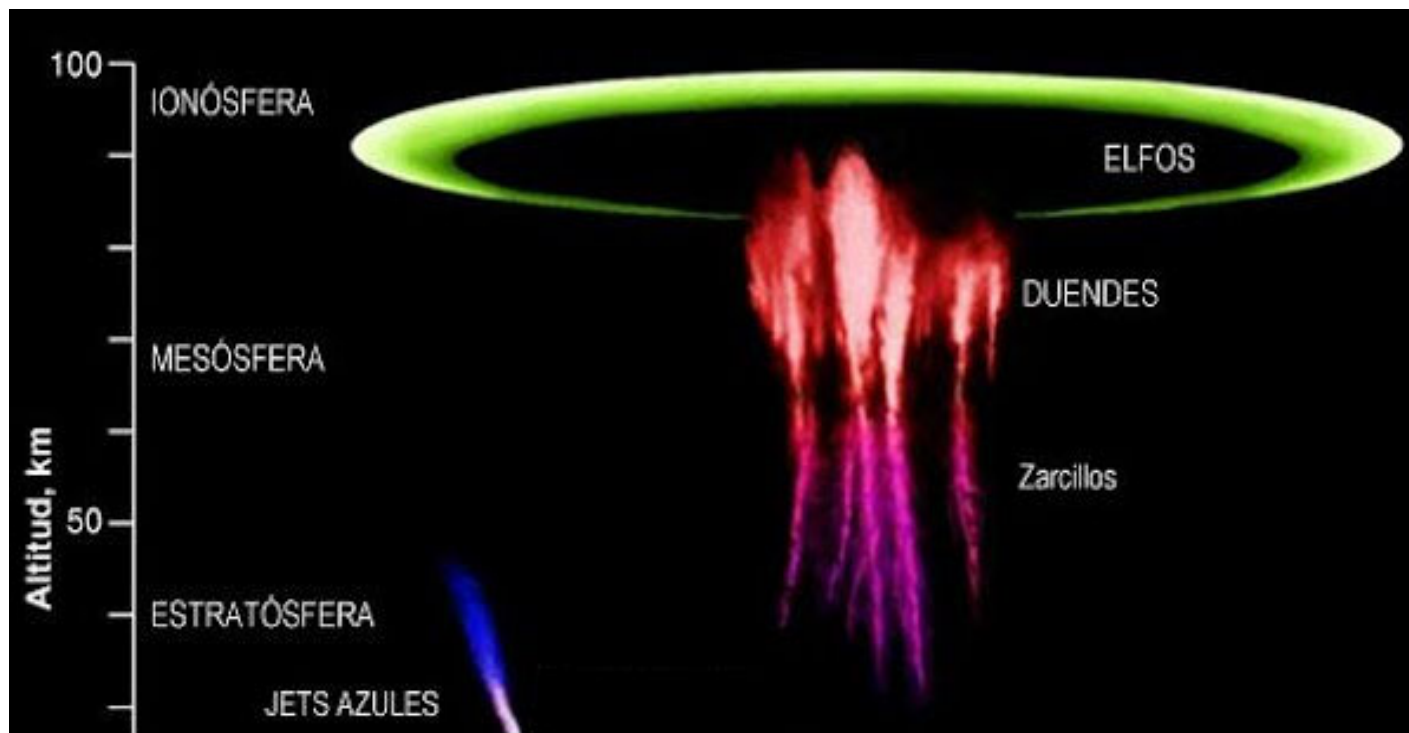
Solo se pueden ver después de la puesta del sol porque al estar tan arriba, todavía reciben rayos de sol.

Aunque en la Tierra hay una oscuridad total, a 80-85 kilómetros de altura los rayos del sol todavía llegan.

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: MESÓSFERA

Las descargas eléctricas que ocurren a partir de la mesósfera son difíciles de observar debido a que ocurren a grandes alturas y duran pocos milisegundos. Por su carácter misterioso se les puso nombres curiosos.

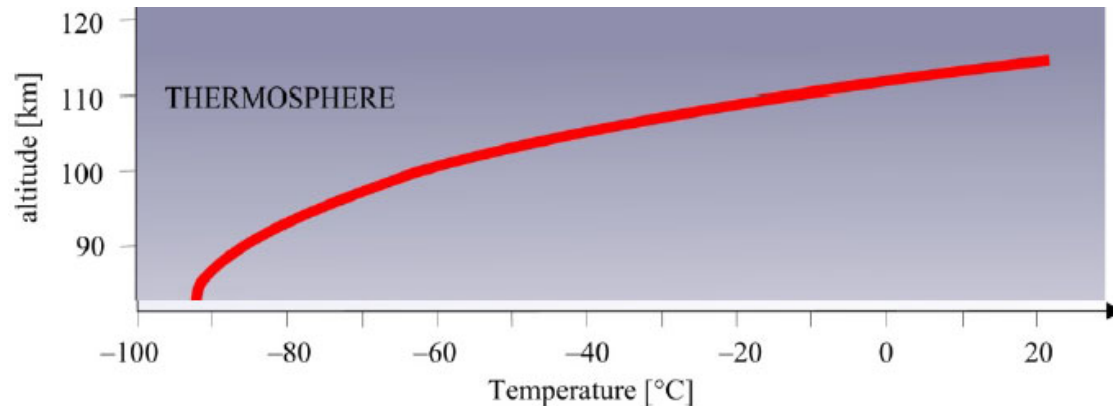


Los elfos tienen forma de un anillo de luz verde similar a un disco aplastado.

Los duendes son flashes luminosos de color rojo, de forma similar a una medusa y los chorros (jets) azules son conos de luz azulada.

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **TERMÓSFERA**



La temperatura aumenta con la altura debido a la absorción de energía solar por los gases que la conforman. T es altamente dependiente de la actividad solar (se estima que su temperatura es 200°C más baja en la noche que en el día) y puede alcanzar valores mayores a 1500°C.

Sin embargo, este valor no es comparable con los de las capas inferiores debido a que la densidad del aire es extremadamente baja en esta capa (tanto que las ondas sonoras no pueden viajar). Se estima que el 99.99% de la masa de la atmósfera terrestre está por debajo de la termosfera.

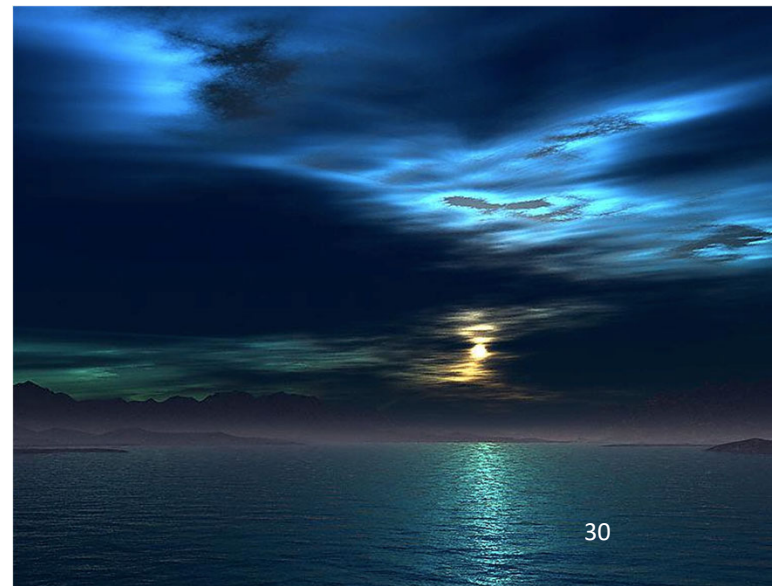
Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **TERMÓSFERA**

En base a la clasificación química, la termósfera es parte de la heterósfera ya que sus componentes se estratifican según sus masas. El oxígeno atómico (O), el nitrógeno atómico (N) y el helio (He) son sus componentes principales. Allí las partículas de gas chocan con muy baja frecuencia.

La termósfera ayuda a proteger y regular la temperatura de la Tierra al absorber gran parte de la radiación UV y los rayos X emitidos por el Sol. Cuando el Sol está más activo, la termosfera se calienta y aumenta de tamaño, incrementando su poder protector.

Dentro de la Termósfera se encuentra la Ionósfera, en donde ocurre la ionización de moléculas por la radiación solar de alta energía. En la Ionosfera se presentan las auroras (boreales o australes) y se reflejan las ondas de radio, permitiendo la comunicación entre los distintos lugares del globo terrestre.



Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **TERMÓSFERA**

Las auroras polares son un fenómeno en forma de luminiscencia que se presenta en el cielo nocturno, generalmente en zonas polares, aunque puede aparecer en otras zonas del mundo durante breves períodos. En el hemisferio sur es conocida como aurora austral y en el hemisferio norte como aurora boreal (de Aurora, la diosa romana del amanecer, la palabra latina Auster, que significa sur, y la palabra griega Bóreas, que significa norte).



Aurora boreal en Alaska.



Aurora austral en Nueva Zelanda.

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **TERMÓSFERA**

Cuando ocurre una erupción solar se liberan partículas cargadas eléctricamente que penetran en el campo magnético de la Tierra y colisionan con los átomos de la termósfera. Esta colisión produce los fotones que forman la aurora.

En función de los elementos que participen en la colisión, las auroras tienen diferentes tonos: el oxígeno produce auroras rojas y verdes, mientras que el hidrógeno produce auroras rosas y púrpuras.

Se producen en las regiones polares porque las partículas desprendidas por el Sol son atraídas por los campos magnéticos de los polos.



Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: EXÓSFERA

La exósfera es la capa de la atmósfera de un planeta o satélite en la que los gases poco a poco se dispersan hasta que la composición es similar a la del espacio exterior. Es la capa menos densa y su ubicación varía en cada astro: en el caso de la Tierra comienza a los 550 kilómetros del suelo y en el de la Luna se encuentra a nivel del suelo.

Su altitud mayor se considera $\approx 10,000$ km.

Es la zona de tránsito entre la atmósfera terrestre y el espacio interplanetario. Está compuesta principalmente por hidrógeno, helio y polvo cósmico.

Es el único lugar de la atmósfera de la Tierra donde los gases pueden escapar porque la fuerza de gravedad no es suficiente para retenerlos. Los gases que así se difunden en el vacío representan una pequeñísima parte de la atmósfera terrestre.

Capas de la atmósfera terrestre

Clasificación física: **EXÓSFERA**

En la Exosfera se encuentran los satélites terrestres a una altitud de $\approx 2,000$ km.



Introducción a la química atmosférica

Ejercicios:

4. Proponga un conjunto de ecuaciones que permitan estimar la temperatura en función de la altura para la:

- a) Tropósfera
- b) Estratósfera
- c) Mesósfera

5. Estime la temperatura a la cual se encuentran:

- a) Los duendes atmosféricos (mesosféricos).
- b) Un vuelo en altura crucero de 36000 ft.