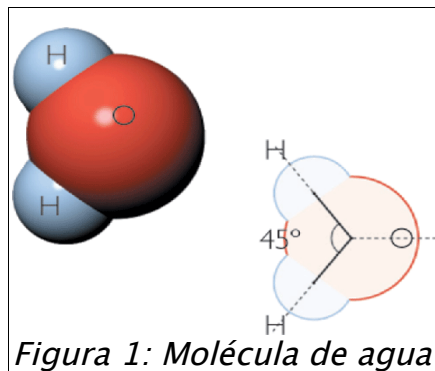


HUMEDAD EN LA ATMÓSFERA

El **agua** es un **elemento vital** para la vida en el planeta Tierra, pues participa en forma decisiva en diversos **procesos biológicos, geológicos, meteorológicos, químicos y físicos**.

- Es la **substancia más abundante** en el planeta.
- Constituye el **componente principal de la estructura celular**. La masa de los organismos está constituido entre 50 y 90 % por agua.
- Dado que la mayoría de las sustancias se disuelven en el agua, este líquido es considerado el **disolvente universal**.
- Es un **agente ionizante**.
- El **80% del efecto invernadero** en la atmósfera es debido al vapor de agua.

Agua es el nombre común que se le da al estado líquido del compuesto de hidrógeno (H) y oxígeno (O), H₂O (ver figura 1). El agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica normal, el punto de congelación del agua es 0 °C y su punto de ebullición es 100 °C. El agua alcanza su densidad máxima de 1000 kg m⁻³ a una temperatura de 4 °C y se expande al congelarse.



Como muchos otros líquidos, **el agua puede existir en estado sobreenfriado**, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar hasta unos -25 °C sin que se congele. El agua sobreenfriada se puede congelar descendiendo más su temperatura, agitándola o agregándole partículas de hielo o de algún cristal como yoduro de plata.

El agua es un elemento que se encuentra en la naturaleza en sus tres estados físicos: **gaseoso** (como vapor de agua), **líquido** (su estado más común) y **sólido** (como

hielo). Se distribuye tanto sobre la superficie del planeta (aguas superficiales) como abajo de ella (aguas subterráneas) y en la atmósfera (agua atmosférica). Al conjunto de estas masas de agua se denomina **hidrósfera**. La hidrósfera se extiende desde la superficie de la Tierra **hasta unos 15 kilómetros en la atmósfera** (la tropósfera o hidrósfera gaseosa) **y hasta aproximadamente un kilómetro por debajo de la litósfera** o corteza terrestre.



Figura 2. Agua, elemento omnipresente

La hidrósfera contiene aproximadamente 1400 millones de kilómetros cúbicos. La figura 3 muestra la distribución del agua en el planeta.

Al agua en estado de gas se le llama vapor de agua. El vapor de agua se encuentra sólo en pequeña proporción en atmósfera, con una concentración entre 0 y 4%, pero esta pequeña cantidad es de gran importancia, porque permite la formación de nubes y precipitación. Aunque las nubes y el vapor de agua representan sólo cuatro centésimas del 1% de toda el agua dulce, contienen seis veces más agua que todos los ríos del mundo. El vapor de agua en la atmósfera se mide en términos de la humedad relativa, que es la relación de la cantidad de vapor de agua en el aire a una temperatura dada, respecto al máximo de vapor que puede contener la atmósfera a esa temperatura.

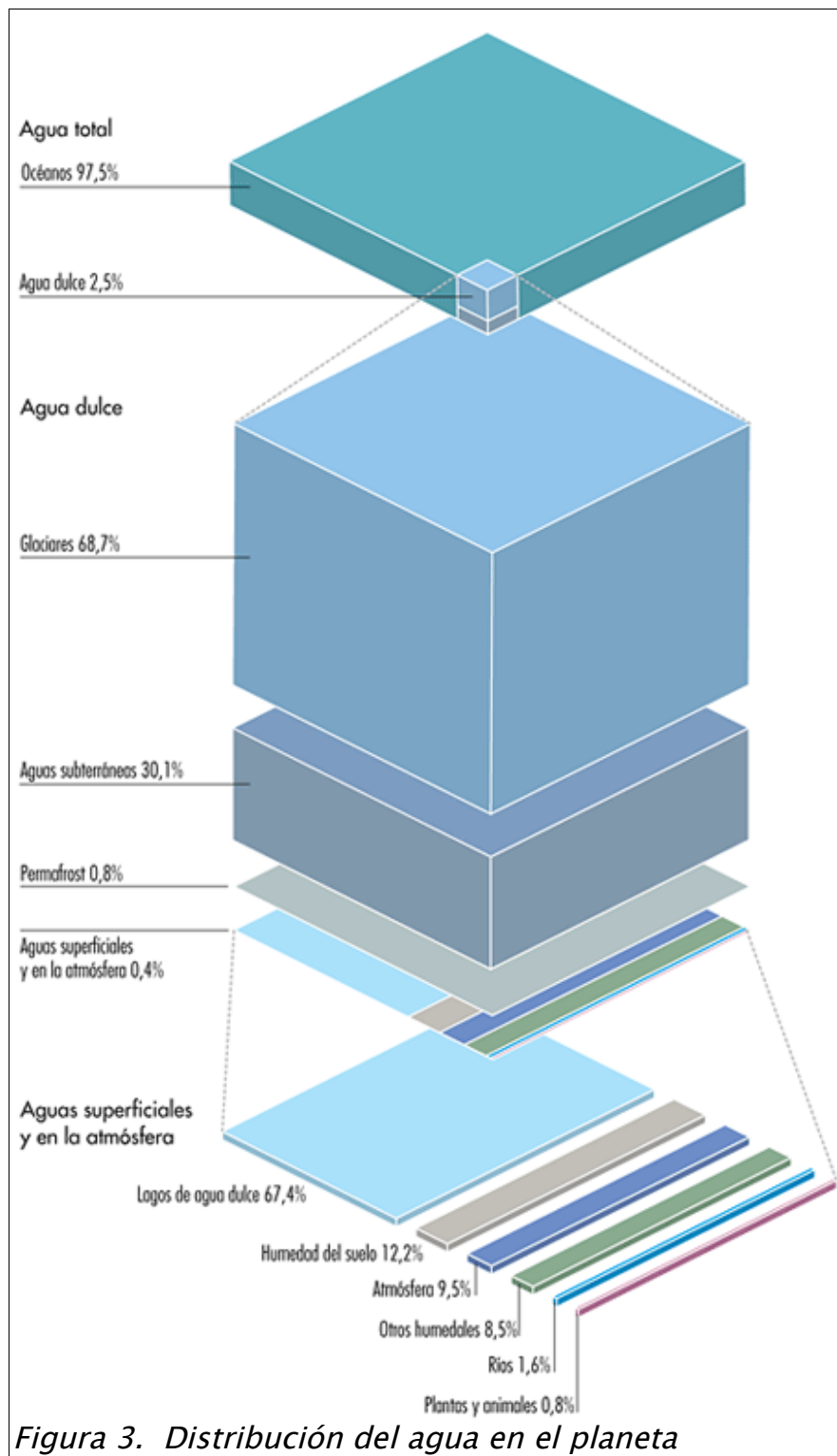
Ciclo hidrológico

El agua cambia de estado físico y de ubicación, pues es transportada de uno a otro lugar por diferentes procesos. Estos cambios son cíclicos, de manera que al conjunto de todos ellos se le denomina **ciclo del agua o ciclo hidrológico**. Si se considera el ciclo hidrológico a nivel global, puede decirse que el ciclo es un sistema cerrado. Sin embargo, en muchas ocasiones se requiere hacer estudios locales o regionales, lo que obliga a considerar un **ciclo hidrológico local, el cual es abierto**; consecuentemente, en el estudio deberán contemplarse y definirse las entradas y salidas al sistema.

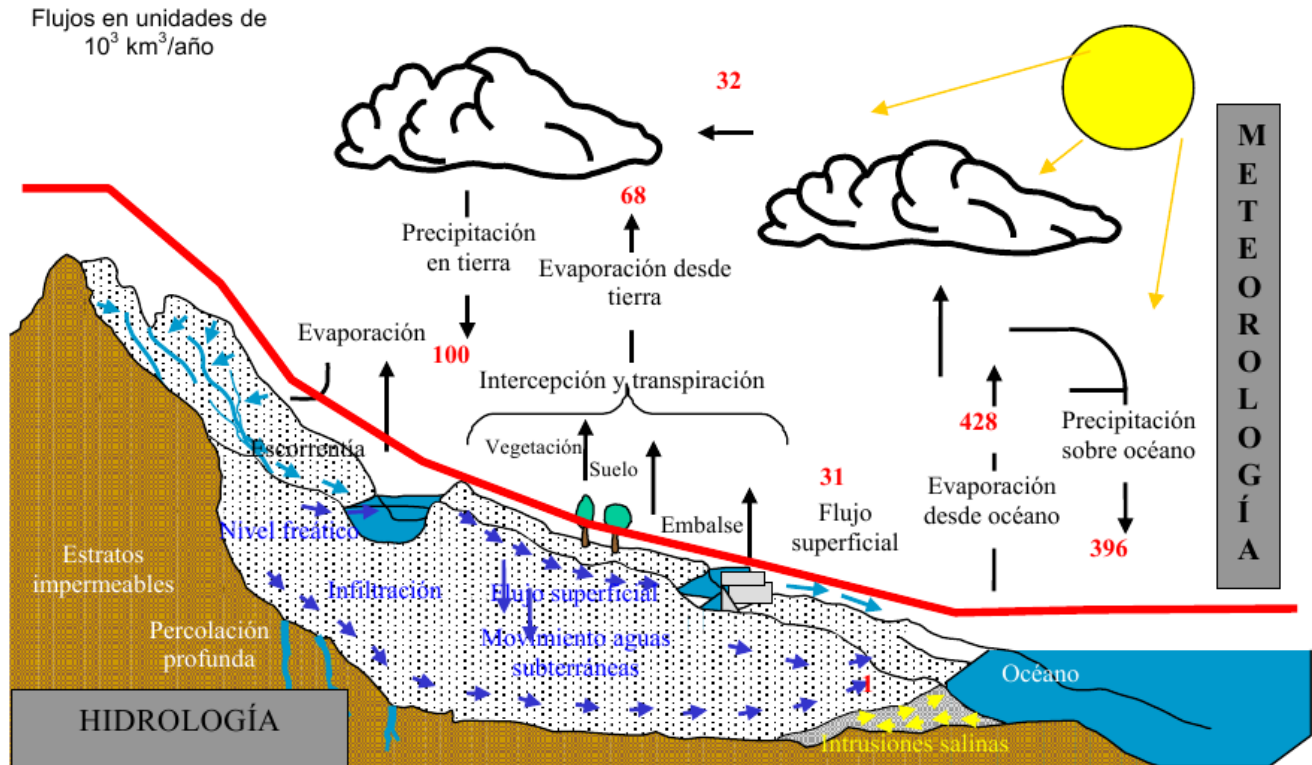
A grandes rasgos, puede decirse que los **procesos involucrados en el ciclo hidrológico** son:

- evaporación
- condensación
- precipitación
- infiltración
- escorrentía o escurrimiento superficial

La energía para mantener funcionando este sistema proviene del Sol. **La Tierra absorbe aproximadamente el 70% de la energía solar recibida, y refleja el 30%.**



La figura 4 representa la circulación del agua en el planeta.



El ciclo global del agua tiene dos partes principales. La parte terrestre del ciclo hidrológico comprende todo lo que tiene que ver con el transporte, el almacenamiento de las aguas en la Tierra y en el mar. La parte atmosférica por su parte, consta en el transporte de agua en la atmósfera principalmente en forma de vapor. Toda «pérdida» de agua por parte de la rama terrestre del ciclo supone una «ganancia» para la rama atmosférica y viceversa. Así pues es imposible considerar aisladamente las dos partes del ciclo hidrológico.

Figura 4: Ciclo hidrológico o ciclo del agua

El vapor de agua en la atmósfera puede cambiar a sus otros estados líquido o sólido a la temperatura y presión existentes en el ambiente, por eso el agua puede dejar los océanos como gas y regresar como líquido.

Los **procesos de cambio de estado** del agua (y de cualquier sustancia) requieren **absorción o liberación de calor**. Cuando se le agrega o quita calor a una sustancia, se producen variaciones de temperatura (aumento o disminución), este calor se llama **calor sensible**, porque el objeto siente el calor agregado o perdido al cambiar su temperatura. Pero en ciertas condiciones **se le agrega calor a una sustancia sin que cambie su temperatura**, por ejemplo cuando se evapora el agua, en ese caso se produce un cambio de estado o de fase y al calor necesario para producir el cambio de fase se le llama **calor latente**, porque este calor está presente y a punto para ser usado cuando termina el proceso de cambio de estado. Por ejemplo, si se hierve agua en un recipiente abierto a la presión atmosférica normal, la temperatura no aumenta por encima de los 100 °C por mucho calor que se suministre. El calor que se absorbe sin cambiar la temperatura del agua es el calor latente; no se pierde, sino que **se emplea en transformar el agua en vapor y se almacena como energía en el vapor**. Cuando el vapor se condensa para formar agua, **esta energía vuelve a**

liberarse, recuperándose el calor latente como calor sensible. Del mismo modo, si se calienta una mezcla de hielo y agua, su temperatura no cambia hasta que se funde todo el hielo. El calor latente absorbido se emplea para vencer las fuerzas que mantienen unidas las partículas de hielo, y se almacena como energía en el agua.

Cuando se evapora el agua por la radiación solar, el calor usado como calor latente, se libera después como calor sensible cuando el vapor otra vez se condensa en gotitas de agua. **La liberación de calor latente es una importante fuente de energía para la formación de tormentas, huracanes y temporales.** El calor latente es la energía térmica necesaria para que un kilogramo de una sustancia cambie de un estado a otro, se mide en J Kg^{-1} o cal gr^{-1} . **Existen calores latentes de fusión, de vaporización y de sublimación,** para los diferentes procesos de cambio de estado del agua.

Vaporización o evaporación

Es la **transformación de líquido a gas.** La evaporación es la conversión gradual de un líquido en gas **sin que haya ebullición,** que se realiza en la superficie del líquido. Las moléculas de cualquier líquido se encuentran en constante movimiento. La **velocidad media de las moléculas sólo depende de la temperatura,** pero puede haber moléculas individuales que se muevan a una velocidad mucho mayor o mucho menor que la media. A temperaturas por debajo del punto de ebullición, es posible que moléculas individuales que se aproximen a la superficie con una velocidad superior a la media tengan suficiente **energía para escapar de la superficie** y pasar al espacio situado por encima como moléculas de gas. Como sólo se **escapan las moléculas más rápidas, la velocidad media de las demás moléculas disminuye;** dado que **la temperatura, a su vez, sólo depende de la velocidad media** de las moléculas, **la temperatura del líquido que queda también disminuye.** Es decir, la **evaporación es un proceso de enfriamiento;** si se pone una gota de agua sobre la piel, se siente frío cuando se evapora. En el caso de una gota de alcohol, que se evapora con más rapidez que el agua, la sensación de frío es todavía mayor.

Si un líquido se evapora en un recipiente cerrado, el espacio situado sobre el líquido se llena rápidamente de vapor, y la evaporación se ve pronto compensada por el proceso opuesto, la condensación. Para que la evaporación continúe produciéndose con rapidez hay que eliminar el vapor tan rápido como se forma. Por este motivo, un **líquido se evapora con la máxima rapidez cuando se crea una corriente de aire sobre su superficie.**

Cuando después de que ha llovido la energía del Sol comienza a secar el suelo, el calor se consume en evaporar la humedad de la tierra, lo que hace disminuir la temperatura del aire, haciendo que los días sean más frescos que si no hubiese llovido. **Para convertir un gramo de agua en vapor se requiere agregar al líquido aproximadamente 540 calorías,** cantidad que se llama calor latente de vaporización,

$$L_v = 540 \text{ cal gr}^{-1}$$

Condensación

Es la **transformación de un gas a líquido**. Las moléculas de gas que se condensan entregan energía cinética a la superficie sobre la que condensan, por lo que este es un **proceso de calentamiento**. Cuando el vapor de agua en la atmósfera se transforma en gotitas para formar las nubes, se libera calor a la atmósfera, produciendo un aumento de temperatura. En la atmósfera, la conversión de un gramo de vapor en agua libera al ambiente la cantidad $L_c = 540 \text{ cal gr}^{-1}$, como calor latente de condensación.

Fusión o derretimiento

Es la **transformación de sólido a líquido** (en este caso hielo a agua). Para producir el derretimiento, se requiere agregar al hielo 80 calorías de energía como calor latente de fusión, $L_f = 80 \text{ cal gr}^{-1}$.

Solidificación o congelación

Es el **cambio de estado de líquido a sólido** (agua a hielo). Cuando un gramo de agua se congela a hielo, se liberan al ambiente las 80 calorías usadas en la fusión, como calor latente de solidificación, $L_f = 80 \text{ cal gr}^{-1}$.

Sublimación

Es la **transformación directa de sólido a gas**, sin pasar por la fase líquida. En este proceso se debe agregar 620 calorías de energía al hielo para convertirlo en vapor, como calor latente de sublimación, $L_s = 620 \text{ cal gr}^{-1}$.

Deposición

Es la **transformación directa de gas a sólido** (vapor a hielo). En este proceso se libera energía como calor latente de deposición, $L_s = 620 \text{ cal gr}^{-1}$.

Ebullición

Es un proceso en el cual el **líquido pasa al estado de gas en el interior del líquido**, donde el gas se concentra para formar burbujas que suben hasta la superficie y desde ahí escapan al aire adyacente. La presión dentro de las burbujas debe ser grande para vencer la presión del agua que las rodea.

Resumiendo, para cambiar el estado del agua de sólido a líquido y de líquido a gas, se debe agregar energía y en el proceso inverso se libera energía.

PARÁMETROS DE HUMEDAD

Se llama **parcela de aire** a un pequeño volumen de aire representativo de la atmósfera. Las variables del tiempo y clima se expresan por unidad de masa considerando una parcela de aire de masa unitaria.

La **humedad es el término usado para describir la cantidad de vapor de agua en el aire**. Se usan diferentes parámetros para expresar cuantitativamente el contenido de humedad en la atmósfera. Pero antes de considerar cada uno de estos métodos se debe conocer el concepto de saturación.

El aire a una temperatura dada puede contener una cantidad determinada de vapor de agua, con un máximo hasta un límite que depende de la temperatura. **Cuando se alcanza el límite, se dice que el aire está saturado de humedad**. Si se excede del límite, **el exceso de vapor se condensa** para convertirse en niebla o nubes. El concepto de humedad tiene importancia en la climatología, porque es un factor en la determinación de los tipos de climas. Además, la sensación de confort se relaciona básicamente con la humedad relativa, por lo que se tiene en cuenta en el uso del aire acondicionado en industrias, edificios, hogares, etc.

Humedad absoluta, U

Es la **cantidad de masa de vapor de agua contenida en una unidad de volumen de aire**, se mide en gr m^{-3} . Por tanto, la humedad absoluta constituye la densidad del vapor de agua existente en el aire. **Valores máximos de U** son del orden de 40 gr m^{-3} .

Humedad relativa, HR

Es la **proporción de vapor de agua real en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación** a la temperatura correspondiente. La humedad relativa indica que tan próxima está el aire a la saturación, más que decir la cantidad real de vapor de agua en el aire. Se mide en porcentaje entre 0 y 100, donde el 0 significa aire seco y 100% aire saturado de humedad.

Humedad específica, q

Es la **cantidad de gramos de vapor de agua contenidos en un kilogramo de aire húmedo**; es decir, en una mezcla de aire seco y vapor de agua. Se mide en gr kg^{-1} . Valores máximos de q son del orden de 40 gr kg^{-1} .

Presión de vapor, e

Es la **presión que ejerce sólo el vapor de agua contenido en la atmósfera**, sin considerar la presión de todos los otros gases. La máxima presión de vapor es del orden de 50 hPa.

Relación de mezcla, r

Es la cantidad de masa de vapor de agua contenida en una unidad de masa de aire seco, se mide en gr kg^{-1} . Las mediciones indican que el valor de relación de mezcla máxima es del orden de 40 gr kg^{-1} .

Temperatura del punto de rocío

Se define la temperatura de rocío, T_d , como aquella a la cual una parcela de aire debería ser enfriada a presión constante para alcanzar la saturación. Por lo tanto es una medida del contenido de humedad en la atmósfera.

Punto de rocío es la **temperatura a la cual, sin que se altere la presión, una parcela de aire alcanza la saturación de vapor de agua.**

Mientras más pequeña sea la diferencia entre la temperatura real T y la T_d , mayor es la humedad de la atmósfera. Cuando $T = T_d$, el aire se satura y comienza la condensación del vapor de agua en rocío, niebla o nubes. El término temperatura de rocío viene del hecho que durante la noche los objetos cerca del suelo se enfrían por debajo de T_d , formándose la condensación del vapor de agua en gotitas de agua sobre las superficies de los objetos, lo que se llama rocío. Por ejemplo, los metales pierden calor rápidamente cuando disminuye la temperatura, por lo que al poco tiempo de ponerse el Sol se enfrían hasta alcanzar la temperatura de rocío y comienza la condensación sobre el metal. Se puede ver con facilidad como en época de bajas temperaturas, se produce el rocío sobre los vehículos poco después que se ha puesto el Sol.

La escarcha no es rocío congelado. **La escarcha se forma cuando el punto de rocío T_d del aire es igual o menor que 0°C** , transformándose el vapor de agua directamente en gotitas de hielo sólido, que en conjunto forman la escarcha durante el proceso de deposición.

En resumen, la saturación se produce cuando se agrega vapor de agua al aire más de lo que puede contener o cuando el aire se enfría hasta alcanzar la temperatura de rocío, a la cual se produce la condensación.

MEDICIÓN DE LA HUMEDAD

La humedad absoluta y la relación de mezcla son difíciles de medir directamente, pero si se conoce la humedad relativa, esos parámetros se pueden obtener de tablas y/o gráficos.

Para medir la humedad relativa se usa el **higrómetro**. El higrómetro más simple se llama **psicrómetro** (figura 5). Está formado por dos termómetros idénticos ubicados uno



Figura 5:
Psicrómetro

al lado del otro, uno llamado termómetro seco y el otro termómetro húmedo porque el depósito de mercurio se rodea con un paño de muselina mojado en agua destilada. Un ventilador se ubica cerca de los termómetros, cuya función es hacer circular el aire través de los mismos. El aire entonces circula continua y libremente por este termómetro evaporando el agua de la muselina, absorbiendo calor del termómetro, por lo que disminuye su temperatura. La cantidad de enfriamiento es directamente proporcional a la sequedad del aire; mientras más seco el aire, mayor enfriamiento. La diferencia entre ambas temperaturas es una medida de la humedad del aire, a mayor (menor) diferencia menor (mayor) humedad relativa. Si el aire está saturado, no se produce evaporación y los dos termómetros marcan la misma temperatura. Se han construido tablas para obtener las relaciones y valores entre las temperaturas seca y húmeda y entre la humedad relativa y el punto de rocío.

Otro instrumento para medir la humedad relativa se llama **higrómetro de cabello**, que mide la humedad relativa directamente (figura 6). Su operación se basa en que el cabello humano cambia su longitud con los cambios de humedad relativa, el pelo se alarga si la humedad relativa aumenta. Para medir la humedad, un haz de cabellos se tensa y se conecta a un elemento sensible llamado "bimetalico", que está conectado a un sistema de transmisión y amplificación el cual posee un brazo inscriptor con una plumón de tinta en su extremo, registrando los cambios de humedad sobre el diagrama calibrado entre 0 y 100% de humedad relativa. Si en este instrumento se miden simultáneamente la humedad y la temperatura, se le llama **higrotermógrafo**.

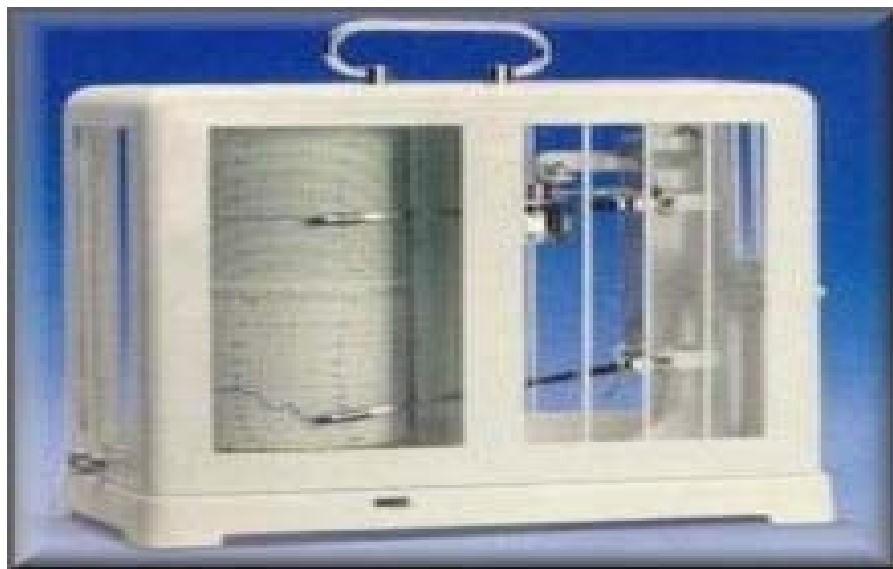


Figura 6: Higrótermógrafo

Cambios de humedad por variación en el vapor de agua

Cuando se le agrega vapor de agua a una parcela de aire, su humedad relativa crece hasta que puede ocurrir la saturación y tener 100% de humedad.

Se le puede seguir agregando vapor de agua a la parcela de aire, pero la humedad no puede superar el 100%, entonces el exceso de vapor se condensa en gotas de agua.

Cambios de humedad por variación de temperatura

Para un contenido de vapor de agua constante, un descenso (aumento) de la temperatura del aire produce un aumento (disminución) de la humedad relativa. Cuando el aire se enfría por debajo del nivel de saturación, comienza la condensación del vapor en gotas de agua para formar las nubes. Como una nube es agua líquida, esta humedad no es parte del contenido de vapor de agua del aire.

En la naturaleza, los cambios de humedad relativa causados por variaciones de temperatura pueden ser de tres formas:

- Variaciones diarias de temperatura.
- Movimiento de aire de un lugar a otro.
- Movimiento vertical del aire.

CAMBIOS ADIABÁTICOS DE TEMPERATURA

La condensación se produce cuando el vapor se enfría lo suficiente para condensarse en líquido, produciendo rocío, niebla o nubes. Cerca del suelo, en la noche la superficie intercambia calor con el aire adyacente enfriándose, lo que hace condensarse al vapor de agua cerca de la superficie o sobre ella, produciéndose la niebla o el rocío. Las nubes que se pueden formar aún en días cálidos, tienen otro mecanismo de gestación, por el cual el aire en altura se enfría lo suficiente para condensar al vapor de agua y producir las nubes. En ambos casos hay intercambios de calor.

Pero la temperatura del aire puede cambiar sin agregarle ni quitarle calor al medio, estas variaciones sin intercambios de calor se llaman **procesos adiabáticos**. La temperatura que se mide en un proceso sin intercambio de calor se llama Temperatura Potencial o adiabática, y se puede obtener cuando el aire se comprime o expande sin agregarle calor. Estos procesos tienen que realizarse termodinámicamente muy lentamente. Cuando el aire se expande, disminuye la presión de una parcela de aire y se enfría. Por el contrario, cuando se comprime, aumenta la presión y se calienta, es decir, las variaciones de presión producen variaciones de temperatura, que pueden ser adiabáticas.

Cada vez que el aire se eleva, llega a regiones de menor presión, como resultado se expande y se enfría adiabáticamente. Inversamente, si el aire desciende llega a niveles de mayor presión, se comprime y se calienta. La variación de temperatura en los movimientos verticales de aire no saturado se llama gradiente adiabático seco, y las mediciones indican que su valor es aproximadamente $9.8 \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$.

Si el aire se eleva lo suficiente, se enfría hasta alcanzar el punto de rocío, y se produce la condensación. En este proceso, el calor que fue absorbido como calor sensible durante la evaporación se libera como calor latente, y aunque la parcela de aire continua enfriándose, lo hace en una proporción menor, porque la entrega de calor latente al ambiente produce aumento de temperatura. En otras palabras, la parcela de aire puede ascender con un gradiente adiabático seco hasta una altura llamada nivel de condensación, que es la altura donde comienza la condensación. Sobre ese nivel la tasa de enfriamiento con la altura se reduce por la liberación de calor latente y ahora se llama gradiente adiabático húmedo; su valor varía desde $5\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$ a $9\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$ de disminución con la altura, dependiendo de si el aire tiene un alto o bajo contenido de humedad.

La condensación es la transformación del vapor de agua a agua líquida. El resultado de este proceso puede ser la formación de rocío, niebla o nubes. Aunque cada uno de estos procesos de condensación son diferentes, todos tienen dos propiedades en común:

- a) Para que se produzca la condensación del vapor de agua, **el aire debe estar saturado de humedad**. La saturación se puede lograr por dos mecanismos diferentes: cuando el aire se enfría hasta alcanzar la temperatura del punto de rocío o cuando al aire se le agrega suficiente vapor de agua. Estos dos procesos pueden producirse en forma independiente o simultáneos.
- b) Para que se produzca la condensación del vapor de agua, **debe existir una superficie sobre la cual el vapor pueda condensarse**. Cuando la condensación se produce sobre la superficie de los objetos en el suelo como pasto, cemento, metal, etc., se forma el rocío en esas superficies.

Para que la condensación se produzca en el aire, debe haber partículas microscópicas en suspensión, que son las superficies sobre las cuales el vapor de agua puede posarse para condensar. Estas partículas microscópicas existen y se llaman núcleos de condensación.

Núcleos de condensación

Actúan como núcleos de condensación todo tipo de impurezas en la atmósfera como partículas de sal, polvo, humo, polen, etc., los que abundan en la baja atmósfera. Los núcleos de condensación son importantes, porque si no existieran, el vapor de agua no tendría una superficie donde condensar y la humedad relativa podría superar el 100 %, sin que se forme la condensación. Si eso ocurre, se dice que el aire está sobresaturado de humedad. Las partículas más efectivas como núcleos de condensación para formar las gotas de nubes se llaman núcleos higroscópicos, que significa que son buenos absorbedores del agua. Algunos alimentos tienen esta propiedad, como cereales o galletas, razón por la cual absorben rápidamente la humedad cuando quedan expuestos al aire y se añejan, o la sal común que se humedece fácilmente. Los núcleos higroscópicos más comunes son pequeños cristales de sulfato y compuestos de nitrato, introducidos a la atmósfera principalmente por la combustión de incendios forestales, vehículos, quemados de

carbón y otros combustibles, y partículas de sal producidas por el rompimiento de las olas de los océanos.

Clasificación de las nubes

Las nubes se clasifican sobre la base de dos criterios: según la forma que presentan y según la altura donde se ubican.

Según su forma se reconocen tres clases básicas de nubes. Todas las nubes caen dentro de algunas de estas tres formas básicas o de una combinación de ellas.

- a) *Cirrus*: nubes altas, blancas y delgadas.
- b) *Cumulus*: masa de nube globular, de base plana y que se eleva como domos o torre.
- c) *Stratus*: aparecen en capas cubriendo gran parte del cielo.

Según su altura, se reconocen por su ubicación en tres niveles típicos. Estos no son valores categóricos, ya que pueden variar según la época del año y la latitud.

- a) **Nubes altas**: normalmente tienen base sobre los 6 km de altura.
- b) **Nubes medias**: se encuentran entre 2 y 6 km de altura.
- c) **Nubes bajas**: desde la superficie hasta los 2 Km. de altura

Formación de las nubes

Antes de entrar en clasificaciones sería interesante saber qué es exactamente una nube y cómo se forma.

Al contrario de lo que se suele escuchar erróneamente, **una nube no es vapor de agua ya que este es invisible.**

Una nube es un conjunto de minúsculas gotitas de agua o cristales de hielo, o una combinación de las dos. Estas gotitas de agua o cristales de hielo suelen tener un tamaño muy pequeño (el diámetro común es de 0,01 mm) y por lo tanto pueden flotar en el aire, formando un número de unas 1000 por centímetro cúbico.

Las nubes se forman por condensación (paso de vapor de agua a agua líquida) **o por sublimación** (directamente de vapor de agua a cristales de hielo), estas dos reacciones se producen sobre algunas partículas sólidas microscópicas en suspensión que se encuentran en la atmósfera que reciben el nombre de núcleos de condensación y de sublimación, por lo que en una nube podemos encontrar finalmente las tres formas acuosas que las forman; gotitas de agua, gotitas de agua congelada y cristales de hielo.

Los procesos que forman la condensación y sublimación y a la vez las nubes son sobre todo los ascensos de aire. Al ascender el aire cada vez se enfría más, ya que está cada vez menos oprimido por el volumen superior de aire; el aire frío admite menos vapor de agua que el caliente, por lo que llegado un momento se satura y se produce la condensación o la sublimación si la temperatura es muy baja, por lo que en consecuencia se forma una nube.

Los **mecanismos que hacen que el aire suba son cuatro tipos**; por convección, por orografía, las borrascas y los frentes.

Convección

Como ejemplo en este caso se puede tomar el de una cacerola en la que se calienta agua...el agua situada en el fondo en contacto con la llama o fuente de calor se calienta ascendiendo y a su vez es reemplazada por la superficial más fría.

Así, el aire caliente en contacto con la superficie terrestre recalentada comienza a ascender enfriándose progresivamente según gana altura, condensando a menudo el vapor de agua, mientras el aire frío superior y de alrededor desciende ocupando el lugar que ha dejado, formándose así una célula convectiva o térmica.

De esta manera se forma también una nube normal, o una gran nube de tormenta (cumulonimbo) cuando numerosas células convectivas alcanzan un determinado punto de altitud condensándose y formando protuberancias y redondeces en la nube formada con apariencia de coliflor. La base de la nube normalmente se verá horizontal indicando así el nivel altitudinal donde se inicia la condensación del vapor de agua.

Orografía

Esta es una de las más claras y visibles: en ocasiones un relieve como puede ser una montaña, una cordillera u otro tipo, aunque no sea muy acusado, obstaculiza el flujo de aire. Esta masa de aire en movimiento en el intento de salvar este obstáculo en parte lo rodea y otro porcentaje se ve obligada a ascender originando así el proceso de condensación o sublimación conocidos. Cuando esto sucede suele verse claros contrastes de tiempo entre la vertiente de barlovento, expuesta al viento, y la de sotavento, que se encuentra resguardada. En la de barlovento la nubosidad puede ser abundante e incluso con precipitaciones, mientras que en la de sotavento el aire desciende calentándose, disminuyendo su humedad y dejando un tiempo despejado.

Una variante de este efecto pero que se recrudece más en la zona de sotavento es el llamado efecto "Foehn" tomando el nombre de un característico viento de los Alpes del norte.

Mientras que en la parte de la montaña que da el viento se producen importantes precipitaciones, en la otra hay buen tiempo, e incluso el aire pierde humedad y baja más seco y algo cálido siendo en algunos casos importante el aumento de

temperatura. Este calentamiento puede producir alteraciones en el manto de nieve que puede desencadenar la formación de aludes.

Este fenómeno es común en los Alpes, en la parte del Pirineo Español y en la zona de levante con vientos de poniente.

Borrascas

En las borrascas el aire sigue una espiral en sentido antihorario en el hemisferio norte convergiendo hacia el interior. Como el aire no puede acumularse indefinidamente se ve obligado a ascender condensándose y formando bastante nubosidad provocando situaciones generalizadas de "mal tiempo", precipitaciones, etc.

Al contrario en los anticiclones, el aire tiende a salir en sentido horario divergiendo y descendiendo haciéndose seco y relativamente cálido, con lo que nos encontraremos generalmente con "buen tiempo".

Frentes

Los frentes los componen dos masas de aire con características de humedad y temperatura diferentes, los de menor densidad tienden a elevarse por encima del otro.

Hay **tres tipos de frentes**; cálidos, fríos y ocluidos.

Un **frente cálido** es la parte frontal de una masa de aire tibio que avanza para reemplazar a una masa de aire frío que retrocede. Generalmente, con el paso del frente cálido la temperatura y la humedad aumentan, la presión sube y aunque el viento cambia no es tan pronunciado como cuando pasa un frente frío.

En el frente cálido, este por tener una masa de aire con mayor temperatura, asciende por la suave rampa que forma el frente frío. Éste ascenso suave forma nubes estratiformes formando bancos y capas dando lugar a lluvias.

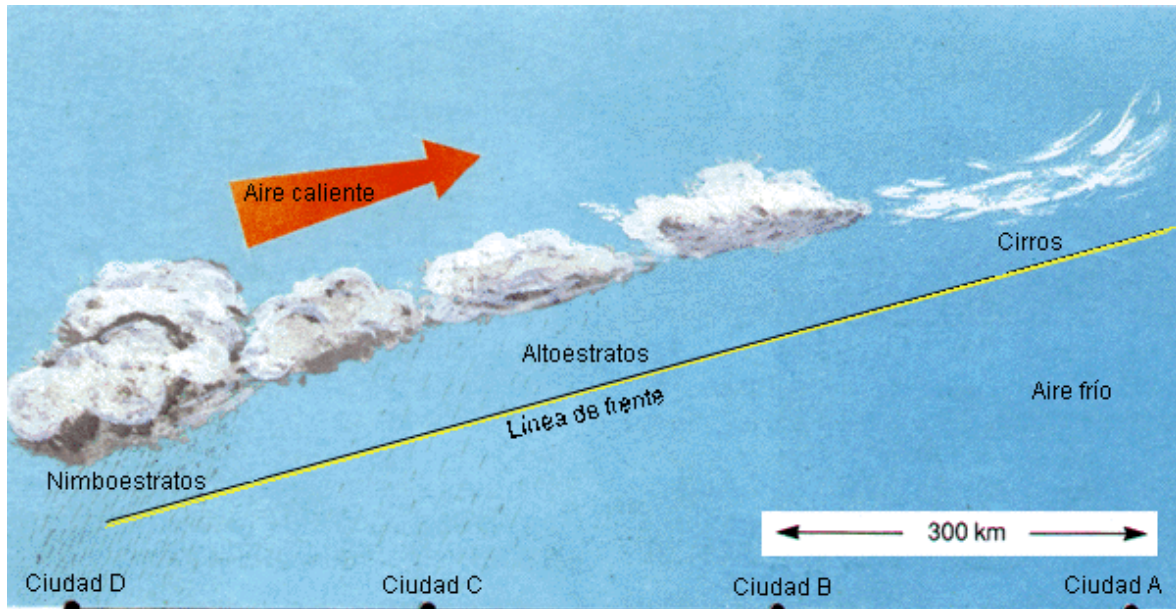


Figura 7: Frente cálido

El **frente frío** es una franja de mal tiempo que ocurre cuando una masa de aire frío se acerca a una masa de aire caliente. El aire frío, siendo más denso, genera una cuña y se mete por debajo del aire cálido y menos denso.

Los frentes fríos se mueven rápidamente. Son fuertes y pueden causar perturbaciones atmosféricas tales como tormentas de truenos, chubascos, tornados, vientos fuertes y cortas tempestades de nieve antes del paso del frente frío, acompañadas de condiciones secas a medida que el frente avanza.

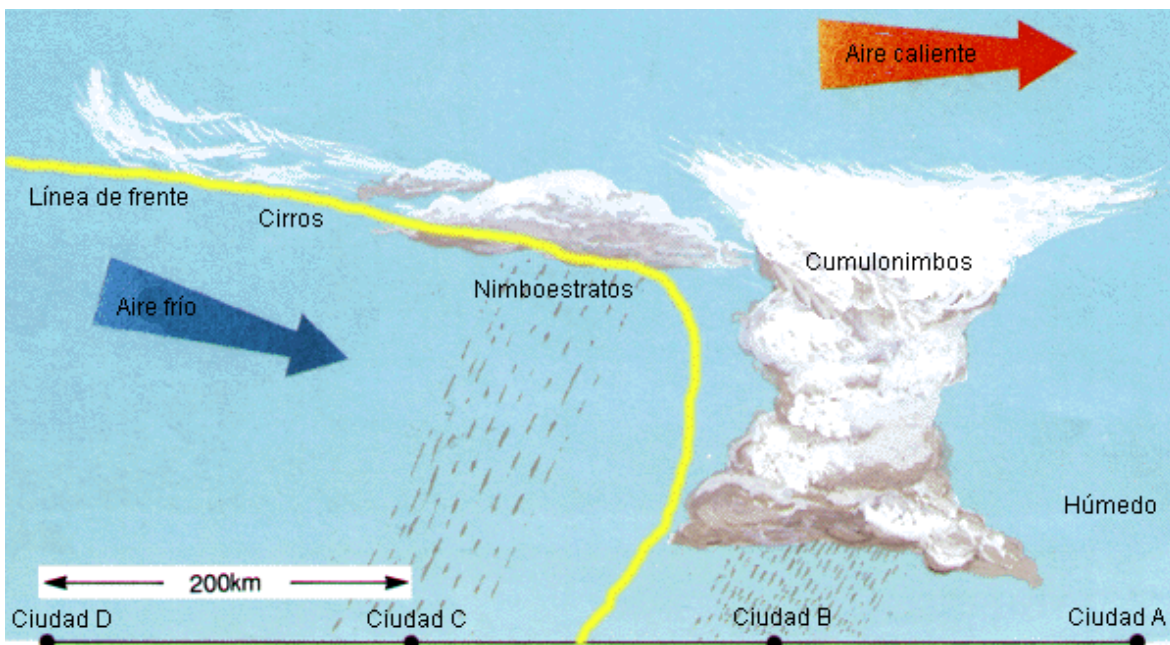


Figura 8: Frente frío

Un **frente ocluido** se forma donde un frente caliente móvil más lento es seguido por un frente frío con desplazamiento más rápido. El frente frío, ya con forma de cuña, alcanza al frente caliente y lo empuja hacia arriba. Los dos frentes continúan moviéndose uno detrás del otro, y la línea entre ellos es el frente ocluido.



Clasificación de las Nubes

El aspecto exterior de las nubes depende de la naturaleza, las dimensiones y la distribución de los cristales de hielo o de las gotitas de agua que las forman y de la luz que reciben. Con todo, es posible señalar un número concreto de formas características que pueden reunirse en diferentes grupos, admitiéndose también subdivisiones posteriores (especies y variedades). Actualmente se distinguen **diez géneros principales de nubes**: *cirros*, *cúmulos*, *estratos*, *cirroestratos*, *cirrocúmulos*, *estratocúmulos*, *nimboestratos*, *cumulonimbus*, *altoestratos* y *altocúmulos*. **Por su altura las nubes pueden ser altas, medias bajas y de desarrollo vertical.** Las primeras se forman a un nivel medio de 6 000 m (*cirros*, *cirrocúmulos* y *cirroestratos*); son nubes medias los *altocúmulos* y los *altoestratos*, formados entre los 6 000 m y los 2 000 m; son nubes bajas los *estratocúmulos*, los *estratos* y los *nimboestratos*, que se forman a un nivel inferior a los 2 000 m, y son nubes de desarrollo vertical los *cumulonimbus*, que tienen su base desde los 500 m y cuya cima puede superar con mucho los 6 000 m. Cada nube de estos géneros pueden tener peculiaridades que permiten distinguir un total de quince especies, las cuales reciben nombres latinos que hacen referencia a una particularidad de la nube: *fibratus* indica una estructura fibrosa, *castellanus* señala la presencia de protuberancias, *fractus* se aplica a la existencia de discontinuidades, *mediocris* indica un grado escaso de desarrollo, *stratiformis* da cuenta de una estratificación, etc. Finalmente, cada especie puede presentarse en distintas variedades, que corresponden a su aspecto óptico: *translucidus*, *opacus*, etc.

Las gotitas de agua que componen las nubes medias y bajas tienen diámetros comprendidos entre diez micrones (*estratos* y *estratocúmulos*) y 50 micrones (*cúmulos* congestos), aunque se han registrado valores extremos de 2 y de 200 micrones. El número de gotas por centímetro cúbico varía desde 50 en ciertos *cumulonimbus* hasta 600 en algunos *estratos*. En consecuencia, el peso del agua en un metro cúbico de nube puede variar entre 0,3 y 5 g. Los cristales de hielo que forman las nubes altas pueden alcanzar fácilmente algunas décimas de milímetro e incluso 3 ó 4 mm, pero el contenido de cristales de hielo por centímetro cúbico es

mucho menor que el de gotas de agua. Una nube se mantiene gracias al equilibrio dinámico entre la formación de gotas en las regiones superiores y su desaparición en las inferiores. Este proceso se halla reforzado en ciertas nubes por la existencia de corrientes verticales interiores que elevan nuevamente hacia la cima las gotas de agua que han llegado a las regiones inferiores; con ello se impide su evaporación.

Clasificación de las nubes

(adoptada por la Organización Meteorológica Mundial en 1891)

Cirro (Ci) – Elevado, de color blanco y estructura fibrosa. Constituido por cristales de hielo.

Cúmulo (Cu) – Denso, se eleva en forma de cúpula o torre a partir de una base horizontal de bajo nivel. Constituido por gotas de agua, que se pueden transformar en cristales de hielo a temperatura inferior a 0 °C.

Estrato (St) – De color gris, cuya base puede dar lugar a niebla, agujas de hielo o nieve granulada. Constituido por gotas de agua que se convierten en cristales de hielo cuando la temperatura es muy baja.

Cirroestrato (Cs) – Transparente, de aspecto fibroso o liso; forma el halo. Constituido principalmente por cristales de hielo.

Cirrocúmulo (Cc) – Blanco y transparente. Constituido por gránulos de cristales de hielo y gotas de agua subfundidas.

Estratocúmulo (Sc) – Gris o blanquecino, de estructura ondulada o aborregada. Constituido por gotas de agua.

Altocúmulo (Ac) – Blanco o gris. Constituido por elementos en forma de losa o guijarros y por gotas de agua.

Altoestrato (As) – Blanco o gris, de aspecto estriado de gran extensión horizontal. Constituido por gotas de agua y cristales de hielo. Es causa de lluvia o nieve.

Nimboestrato (Ns) – Gris; provoca la caída de lluvia o nieve, lo que enturbia el aspecto de la nube. Constituido por gotas de agua y de lluvia, copos y cristales de nieve.

Cumulunimbo (Cb) – Denso, de gran extensión vertical en forma de montaña; suele presentarse aislado o varios en filas formando una muralla. Constituido por gotas de agua y en la zona superior por cristales de hielo.

Observando su forma se clasifican de la siguiente manera:

Estratiformes (nubes estratificadas): blanquinosas y ocupan grandes extensiones. Pueden ocasionar mucha precipitación en forma de lluvia o nieve.

Cumuliformes (nubes globulosas): Son como burbujas de aire calentado ascendiendo por menor densidad que el aire circundante. Provoca precipitaciones sobre áreas pequeñas.

Observando la altura en que se encuentran, se clasifican de la siguiente forma:

Alta (6–12 Km):

Cirros: nube delicada, arrizada formando rayas o líneas en el cielo. No impide el paso de la luz solar o lunar. Se mueven a gran velocidad, aunque para un observador en tierra parece todo lo contrario.

Cirrostratos: formada por cristales de hielo. (Produce un halo alrededor de la luna o el sol)

Cirrocúmulos: cuando la capa nubosa aparece como una formación de piezas globulares.

Media (2–6 Km):

Altostratos: capa blanquecina suavemente distribuída, apariencia grisosa y base alisada. El sol aparece como una mancha brillante en la nube. Se asocian con la proximidad de mal tiempo.

Altocúmulos: capa de masas nubosas individuales muy próximas una de otra siguiendo un patrón geométrico. De color blanquecino, algo gris en la periferia y entre nube y nube se puede observar el azul del cielo. Se asocian con buenas condiciones climáticas.

Baja (0–2 Km):

Estratos: nube densa, baja, gris oscura. Si produce lluvia o nieve se la denomina nimbostratos.





Estratocúmulos: nubes bajas, formada por masas individuales entre las cuales aparece el cielo. Forman los "caminos de las nubes", orientadas en ángulo recto a la dirección del viento y movimiento de las nubes. Asociadas con buen tiempo o mejoría pero pueden ocasionar alguna precipitación.





Las nubes con mucho desarrollo vertical se ubican a alturas mayores o iguales a su dimensión horizontal. El cúmulo es una masa nubosa blanca. Los más pequeños se asocian con buen tiempo.





Los grandes se ven con una base plana y superficie muy abultada. Tienen un blanco puro por el lado iluminado por el sol, pero en los laterales y base son de gris oscuro.





Bajo ciertas condiciones, éstas masas individuales crecen desmesuradamente formando los cumulonimbos, que es la nube típica de tormenta que originan muchas lluvias, fuertes vientos y grandes descargas eléctricas.



Los cumulonimbos pueden ir desde los 500 mts en la base hasta los 9 ó 12 Km. en la cima. Desde lejos se ven de un color blanco luminoso, pero vistas desde abajo oscurecen el cielo como si fuese a anochecer.


Altura	Género	Símbolo y código	Descripción	Aspecto
Alta	Cirrus	 Ci	Nubes separadas en forma de filamentos blancos y delicados o de bancos de formas estrechas, blancos o en su mayor parte. Estas nubes tienen un aspecto fibroso (de cabellos) o un brillo sedoso, o ambas cosas.	
	Cirrostratus	 Cs	Velo nuboso transparente y blanquecino, de aspecto fibroso (de cabellos) o liso, que cubre total o parcialmente el cielo, dando lugar por lo general a fenómenos de halo.	

Altura	Género	Símbolo y código	Descripción	Aspecto
	Cirrocumul us	 Cc	<p>Banco, manto o capa delgada de nubes blancas, sin sombras propias, compuesta por elementos muy pequeños en forma de gránulos, de ondas, etc., soldados o no, y dispuestos más o menos regularmente; la mayoría de los elementos tienen una anchura aparente inferior a un grado.</p>	
Media	Alto cumulu s	 Ac	<p>Banco, manto o capa de nubes blancas o grises, o a la vez blancas y grises que tienen generalmente sombras propias, compuestos por laminillas, guijarros, rodillos, etc., de aspecto a veces parcialmente fibroso o difuso, soldados o no; la mayor parte de elementos pequeños dispuestos con regularidad tienen generalmente una anchura aparente comprendida entre</p>	

Altura	Género	Símbolo y código	Descripción	Aspecto
			uno y cinco grados.	
	Altostratus	 As	<p>Manto o capa nubosa grisácea o azulada, de aspecto estriado, fibroso o uniforme, que cubre total o parcialmente el cielo, presentando partes suficientemente delgadas para dejar ver el Sol al menos vagamente, como a través de un vidrio deslustrado. Este género no presenta fenómenos de halo.</p>	
	Nimbostratus	 Ns	<p>Capa nubosa gris, frecuentemente sombría, cuyo aspecto resulta borroso por las precipitaciones más o menos continuas de lluvia o nieve que, en la mayoría de los casos, alcanzan el suelo. El espesor de esta capa es en todas sus partes suficiente para para ocultar completamente el Sol. Por debajo de la capa, existen frecuentemente nubes bajas</p>	

Altura	Género	Símbolo y código	Descripción	Aspecto
			desgarradas, soldadas o no con ella.	
Baja	Stratocumu lus	 Sc	<p>Banco, manto o capa de nubes grises o blanquecinas, que tienen casi siempre partes oscuras, compuestos por losas, guijarros, rodillos, etc., de aspecto no fibroso, excepto cuando en su parte inferior se forman regeros de precipitaciones verticales u oblicuas (virga) que no alcanzan el suelo. La mayor parte de los elementos pequeños dispuestos con regularidad tienen una anchura aparente superior a cinco grados.</p>	
	Stratus	 St	<p>Capa nubosa generalmente gris, con base bastante uniforme, que puede dar lugar a llovizna, prismas de hielo o granizo blanco. Cuando el Sol es visible a través de la capa,</p>	

Altura	Género	Símbolo y código	Descripción	Aspecto
			<p>su contorno es claramente discernible. Este género no da lugar a fenómenos de halo, salvo eventualmente a muy bajas temperaturas. A veces se presenta en forma de bancos desgarrados.</p>	
	Cumulus	 Cu	<p>Nubes separadas, generalmente densas y con contornos bien delimitados, que se desarrollan verticalmente en forma de redondeces, de cúpulas o de torres, cuya región superior protuberosa parece frecuentemente una coliflor. Las partes de estas nubes iluminadas por el Sol son amenudo de un blanco brillante; su base, relativamente oscura, es sensiblemente horizontal. Están a veces desgarradas.</p>	

Altura	Género	Símbolo y código	Descripción	Aspecto
	Cumulonim bus	 Cb	<p>Nube densa y potente, con un dimensión vertical considerable, en forma de montaña o de enormes torres. Una parte al menos de su región superior es generalmente lisa, fibrosa o estriada, y casi siempre aplastada; esta parte se extiende frecuentemente en forma de yunque o de amplio penacho. Por debajo de la base de esta nube, a menudo muy sombría, existen frecuentemente nubes bajas desgarradas, soldadas o no con ella, y precipitaciones, a veces en forma de regeros verticales u oblicuos (virgas) que no alcanzan el suelo.</p>	