

CAPITULO 6. NUBES Y PRECIPITACIÓN.

Las nubes, la niebla, la lluvia, la nieve, etc., que es la forma condensada de humedad atmosférica, compuesta de pequeñas gotas de agua o de diminutos cristales de hielo, son el principal fenómeno atmosférico visible del tiempo meteorológico. Como tales, representan un paso transitorio, aunque vital, en el ciclo del agua. Este ciclo incluye la evaporación de la humedad desde la superficie terrestre, su transporte hasta niveles superiores de la atmósfera, la condensación del vapor de agua en masas nubosas y el retorno final del agua a la tierra en forma de precipitaciones de lluvia y nieve. Las partículas que componen las nubes tienen un tamaño que varía entre 5 y 25 micrómetros (0,005 y 0,025 milímetros), son tan pequeñas que las sostienen en el aire corrientes verticales leves.

En este capítulo trataremos de entender el comportamiento de cada uno de estos eventos y analizaremos preguntas como ¿se puede controlar un evento de tiempo tal como la niebla o heladas?, ¿puede la tecnología moderna de modificación artificial del tiempo aumentar la precipitación que cae de las nubes? Por otro lado, para aprender cosas tan simples como los nombres y esquemas básicos de clasificación de las nubes, se debe saber que para la formación de una sola gota de lluvia promedio se requiere juntar del orden de un millón de gotas de nubes, por medio de complejos procesos físicos.

6.1 CONDENSACIÓN Y FORMACIÓN DE NUBES.

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 me-

canismos 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.

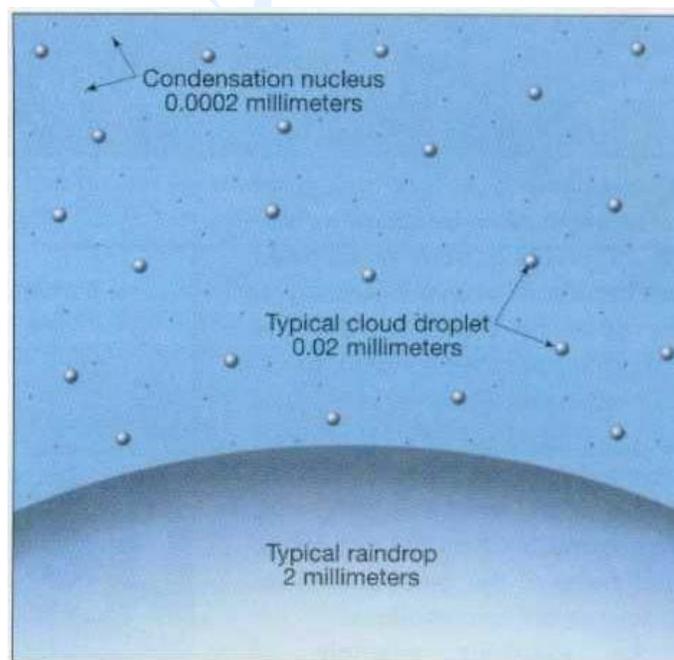
- b) Para que se produzca la condensación del vapor de agua, debe existir una superficie sobre la cual el vapor pueda condensarse. Cuando la condensación se produce sobre la superficie de los objetos en el suelo como pasto, cemento, metal, etc., se forma el rocío en esas superficies. Para que la condensación se produzca en el aire, deben 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**.

6.1.1 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 absorbentes 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. Su concentración es enorme, del orden de $10^2 - 10^3$ núcleos/cm³.

La condensación se inicia en los núcleos de condensación, inicialmente el crecimiento de las gotas es rápido, pero este disminuye en un corto tiempo, porque se consume rápidamente el vapor de agua disponible por el gran número de gotas que se van formando. El resultado es una nube que consta de billones de pequeñas gotitas de agua, que por ser muy pequeñas permanecen en suspensión en el aire, y no caerán como lluvia hasta que las gotas crezcan para tener suficiente volumen que les permita caer por su propio peso. La inmensa diferencia de tamaño entre una gota de nube y una de lluvia, que se muestra en la figura 6.1 (aproximadamente un millón de gotas de nubes forman una gota de lluvia) sugiere que la condensación no es el único proceso responsable para la formación de gotas grandes que puedan caer como lluvia; debe haber algún otro mecanismo que produzca el crecimiento de las gotas de nubes.

Figura 6.1 Tamaño relativo de los núcleos de condensación, gotas de nube y gotas de lluvia.



Otro aspecto importante en la formación de nubes es el proceso de ascenso del aire. Cuando una parcela de aire asciende, pasa a regiones sucesivas de menor presión, como resultado el aire se expande y se enfría adiabáticamente. En el nivel de condensación por ascenso la parcela alcanza la temperatura del punto de rocío, la humedad relativa aumenta hasta la saturación y si continua elevándose se produce la condensación y se formarán las nubes.

6.2 NUBES.

Una expresión importante de los procesos físicos en la atmósfera, es la nube, cuyo carácter visible le confiere la propiedad de ser testigo revelador del tiempo presente. Las nubes son la forma condensada de la humedad atmosférica compuesta de pequeñas gotas de agua o de diminutos cristales de hielo, que se encuentran en suspensión en la atmósfera; puede también contener impurezas. Es como mejor vemos una concentración visible de pequeñas gotas de agua o cristales de hielo. Además de en ocasiones ofrecer un espectacular aspecto del cielo, son de permanente interés meteorológico, porque proporcionan una indicación visible del comportamiento actual de la atmósfera. Una nube es un hidrometeoro. Para comprender la expresión hidrometeoro, se debe saber que un meteoro es por definición un fenómeno observado en la atmósfera, consistente en una suspensión o depósito de partículas líquidas o sólidas o una manifestación de naturaleza óptica o eléctrica. Entonces un hidrometeoro es un meteoro consistente en un conjunto de partículas de agua líquida o sólida, suspendidas en la atmósfera como nubes o niebla, o que caen a través de ella como lluvia, nieve o granizo.

Cuando miramos al cielo encontramos una amplia variedad de esas masas blancas y grises que se mueven en el cielo con un aspecto confuso, pero con un esquema conocido de clasificación, esa confusión desaparece. Una buena observación y clasificación del tipo de nubes, permite obtener una primera evaluación de los grados de estabilidad y de agitación del aire, elementos esenciales para la formulación de un buen pronóstico del

tiempo. Los patrones de tiempo están asociados con nubes o combinación de nubes específicas, por lo que es importante reconocer las características de las nubes.

6.2.1 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.

6.2.2 Géneros.

Todas estas características específicas dan lugar a un alto índice de variabilidad morfológica de las nubes, no obstante lo cual es posible identificar un número determinado de formas bien definidas que se pueden observar en cualquier parte del globo y que permiten establecer una clasificación de las nubes en diferentes grupos o géneros. Se distinguen diez

géneros de nubes, cuyos nombres se dan en la tabla 6.1 y se muestran en un diagrama esquemático de la figura 6.2. Estos diez grupos principales se excluyen mutuamente, es decir que una determinada nube sólo puede pertenecer a uno de los géneros enunciados. Pero dentro de estos géneros se admiten subdivisiones en **especies** y **variedades** de nubes. Existen, también las denominadas **nubes especiales**, cuya detección no es frecuente, y que normalmente no son incluidas en las especificaciones antes consideradas.

Tabla 6.1 Géneros de nubes.

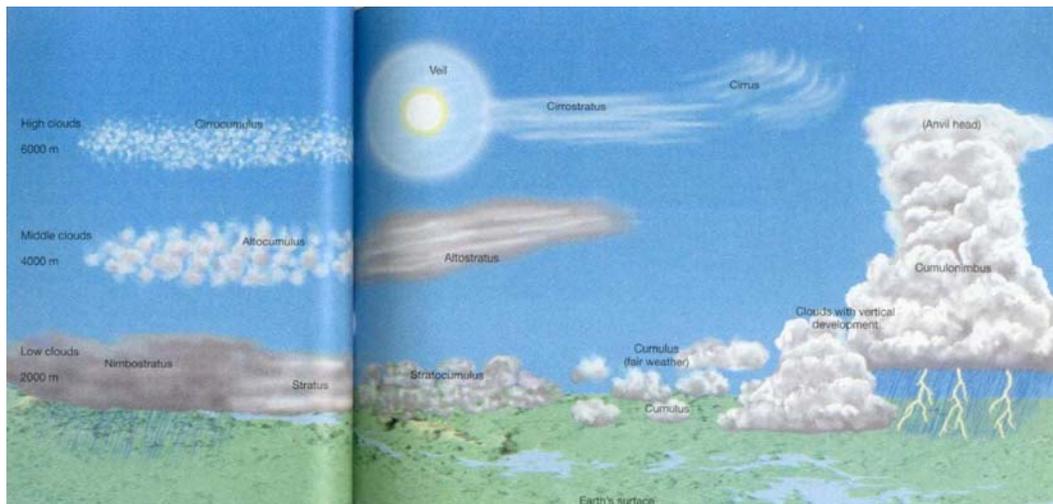
<i>Nube</i>	<i>Símbolo</i>
Cirrus	Ci
Cirrocúmulus	Cc
Cirrostratus	Cs
Altocúmulus	Ac
Altostratus	As
Nimbostratus	Ns
Stratus	St
Stratocúmulus	Sc
Cúmulus	Cu
Cumulonimbus	Cb

6.2.3 *Especies.*

Las particularidades observadas en cuanto concierne a la forma de las nubes y a las diferencias existentes en su estructura interna, han llevado a la necesidad de subdividir la mayoría de los géneros en **especies** nubosas, cuyo número alcanza a catorce. Una nube perteneciente a un género determinado, puede llevar el nombre de una sola especie. Esto significa que las especies se excluyen mutuamente. Por otra parte, ciertas especies pueden ser comunes a varios géneros. Por ejemplo, es frecuente observar

en los géneros Cirrocúmulus, Altocúmulus y Stratocúmulus, nubes cuyo perfil se asemeja a la forma de una lenteja o de una almendra. En consecuencia, los tres géneros mencionados tienen en común una especie que recibe el nombre de “lenticularis”.

Figura 6.2



6.2.4 Variedades.

Las nubes pueden también presentar características especiales en cuanto se refiere, por ejemplo, a la disposición diferente de sus elementos, y a su mayor o menor transparencia. Estas características hacen posible la especificación de distintas variedades. Una variedad determinada puede ser común a varios géneros, y también puede darse el caso de que una misma nube presente características propias de más de una variedad. Algunas de ellas son denominadas, por ejemplo, radiatus, lacunosus, translúcidos, opacus, perlúcidos, etc.

6.2.5 Rasgos suplementarios y nubes accesorias.

Por otra parte, ciertas nubes pueden tener partes características unidas a su cuerpo principal o separadas de él, tales como protuberancias colgantes, estelas de precipitación, fragmentos de nubes bajas, etc. Estas partes características son conocidas como *rasgos suplementarios* y *nubes accesorias*. Una nube determinada puede presentar simultáneamente uno o varios de estos rasgos suplementarios o de esas nubes accesorias. Los rasgos suplementarios son especialmente importantes por cuanto pueden dar una idea de las características significativas de la dinámica de la atmósfera local. Ejemplo de una clasificación completa de una formación nubosa sería: *Cirrocúmulus* (género), *Stratiformis* (especie), *Lacunosus* (variedad), *Virga* (rasgo suplementario). La abreviatura con la que aparecería según el [Atlas Internacional de Nubes](#) sería: *Cc str la vir*.

6.2.6 Distribución en distintos niveles.

La observación continua ha permitido corroborar empíricamente, que un mismo tipo de nube, aparece siempre en idénticas condiciones meteorológicas y entre límites de altura bien determinados, razón que permite ensayar un nuevo tipo de clasificación de mayor funcionalidad que el anterior, y que en los últimos años se ha impuesto por su racionalidad. A la troposfera, se la supone dividida en tres pisos o niveles, que quedan definidos precisamente, por los géneros de nubes que en ellos se presentan: los Cirrus, Cirrocúmulus y Cirrostratus, se forman en el nivel superior y se conocen como nubes altas C_H ; los Altocúmulus, Altostratus y Nimbostratus, en el nivel medio por lo que se llaman nubes medias C_M y los Stratocúmulus y Stratus en el nivel inferior llamadas nubes bajas C_L . No quedan localizados con igual precisión los grandes Cúmulus y los Cumulonimbus, que aunque tengan sus bases en el piso inferior, alcanzan a menudo una extensión vertical ubicable en el nivel medio, e incluso en el superior, estas se llaman *nubes de desarrollo vertical*. En la tabla 6.2 se resumen la ubicación mas probable de las nubes en los distintos niveles, para diferentes latitudes.

Tabla 6.2 Ubicación de las nubes en diferentes niveles.

<i>Nivel</i> →	Inferior, nubes bajas, C _L	Medio, nubes medias, C _M	Superior, nubes altas, C _H
<i>Región</i> ↓			
Tropical	De la superficie de la Tierra a 2 km	2 a 8 km	8 a 18 km
Templada	De la superficie de la Tierra a 2 km	2 a 7 km	6 a 12 km.
Polar	De la superficie de la Tierra a 2 km	2 a 4 km.	4 a 8 km.

Desde el punto de vista de la física del aire, lo interesante es el significado de la aparición en el cielo en un momento dado, de un determinado tipo de nubosidad, hecho que no responde a la casualidad, sino que es consecuencia directa de un estado concreto de la capa atmosférica en la cual se ha originado. Algunas nubes tienen un significado inequívoco, mientras que en otras su actividad esta ligada a complejas consideraciones de la situación meteorológica general. La aparición de stratus puede indicar una atmósfera estable, mientras que los cúmulus (densos y aborregados, de desarrollo vertical), presagian normalmente, un aumento de la inestabilidad atmosférica. En cambio los stratocúmulus no están relacionados con tiempo desapacible. Los nimbostratus, capa amorfa y oscura de gran espesor, están asociados a lluvias intensas, y en ciertas situaciones, a vientos fuertes.

6.3 DEFINICIONES DE LAS NUBES.

Las definiciones de los géneros de nubes que se detallan no abarcan todos los aspectos posibles, sino que se limitan a una descripción de los tipos principales y sus características esenciales, necesarias para llegar a una distinción entre un género determinado y aquellos géneros que presenten un aspecto similar. Las imágenes son del [Atlas Internacional de Nubes](#).

Cirrus: Nubes separadas, en forma de filamentos blancos y delicados, de bancos o de bandas angostas, totalmente o en su mayor parte blancas. Estas nubes tienen un aspecto fibroso (piloso), o brillo sedoso, o ambas características al mismo tiempo.

Cirrocúmulos: Banco, manto o capa delgada de nubes blancas, sin sombras propias, compuestas por elementos muy pequeños en forma de grupos, rizos, etc., soldados o no, y dispuestos más o menos regularmente.

Figura 6.3 Cirrus y cirrocúmulos.



Cirrostratus: Velo nuboso transparente y blanquecino, de aspecto fibroso (piloso) o liso, que cubre entera o parcialmente el cielo, produciendo generalmente fenómenos de halo (ver capítulo 12).¹

Altocúmulus: Banco, capa o manto de nubes, blanco o gris, o de ambos colores al mismo tiempo, que generalmente tiene sombras propias, compuesto de láminas, guijarros, rollos, etc., que a veces son en parte fibrosos o difusos y que pueden estar soldados o no; la mayoría de los pequeños elementos dispuestos regularmente.

¹ Un halo es un anillo blanco o de color pálido, de gran diámetro, que aparece a veces alrededor del Sol o de la Luna, que se forma por reflexión en los cristales de hielo de las capas de cirrus.

Figura 6.4 Cirrustratus y altocúmulos.



Altostratus: Capa o manto nuboso, grisáceo o azulado, de aspecto estriado, fibroso o uniforme, que cubre entera o parcialmente el cielo y que tiene partes suficientemente delgadas como para permitir que se vea el Sol, por lo menos vagamente como a través de un vidrio esmerilado. El altostratus no produce fenómenos de halo.

Nimbostratus: Capa nubosa gris, frecuentemente oscura, cuyo aspecto resulta difuso por lluvia o nieve que cae más o menos continuamente y que en la mayoría de los casos llega al suelo. El espesor de esta capa es, en toda su extensión, suficiente como para ocultar el Sol. Con frecuencia existen debajo de la capa, nubes bajas rasgadas con las cuales puede estar soldada o no.

Stratus: Capa nubosa generalmente gris, de base bastante uniforme, que puede dar lugar a precipitaciones en forma de llovizna, prismas de hielo o gránulos de nieve. Cuando es visible el Sol a través de la capa, su contorno se destaca claramente. El stratus no produce fenómenos de halo, excepto eventualmente con muy bajas temperaturas. En ocasiones el stratus se presenta en forma de bancos desgarrados.

Stratocúmulus: Banco, manto o capa de nubes grises o blanquecinas a la vez, que casi siempre tienen partes sombreadas, compuestas de mosaicos,

guijarros, rollos, etc., no fibrosas y que pueden o no estar soldadas entre sí; la mayor parte de los elementos pequeños dispuestos regularmente.

Figura 6.5 Altostratus y nimbostratus.



Figura 6.6 Stratus y stratocúmulos.



Cúmulus: Nubes separadas, generalmente densas y de contornos bien definidos, que se desarrollan verticalmente en forma de promontorios, cúpulas o torres, cuyas partes superiores salientes se asemejan a veces a una coliflor. Las partes de las nubes que ilumina el Sol generalmente son de un blanco brillante; su base es relativamente oscura y casi horizontal. A veces el Cúmulus es desgarrado.

Figura 6.7 Cúmulus humilis y cúmulos congestus.



Cumulonimbus: Nube densa y potente, de considerable desarrollo vertical, en forma de montaña o torres enormes. Por lo menos una porción de su parte superior suele ser lisa, fibrosa o estriada, y casi siempre achata-da; esta parte muchas veces se extiende en forma de un yunque o de un gran penacho en la dirección del viento. Debajo de la base de la nube, que frecuentemente es muy oscura, muchas veces hay nubes bajas rasga-das, soldadas o no con aquéllas y también precipitaciones, las que se pro-ducen en forma de chaparrón. Los Cumulonimbus se subdividen, según sus características y grado de desarrollo, en las dos siguientes especies:

Cumulonimbus calvus: en las que las protuberancias de su parte supe-rior han comenzado a perder sus contornos cumuliformes típicos, se aplastan y luego se transforman en una masa blanquecina, brillante, con contornos mas o menos difusos y estrías verticales. No presentan nubes cirriformes, pero a menudo se forman cristales de hielo con gran rapidez. Muy frecuentemente estas nubes son acompañadas por chaparrones. Por convención, el nombre de Cumulonimbus calvus es asignado a una nube cumuliforme cualquiera pero que esté altamente desarrollada y que pro-duzca relámpagos, truenos y también granizo, aunque su cima no muestre indicios de formación de hielo.

Cumulonimbus capillatus: Son una especie de nube Cumulonimbus caracterizada por la presencia, principalmente en su porción superior, de partes cirriformes bien diferenciadas, frecuentemente con el aspecto de un yunque (incus), un penacho o una masa más o menos desordenada de “cabellos”. Esta nube es normalmente acompañada por chaparrones, tormentas eléctricas, y a menudo por turbonadas y por granizo o pedrisco.

Figura 6.8 Cumulonimbus calvus y cumulonimbus capillatus.



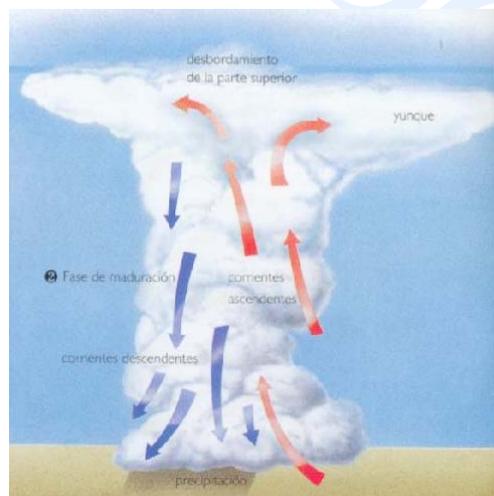
Las características morfológicas sobresalientes de los Cumulonimbus pueden resumirse así: están constituidas por gotitas de agua en su parte inferior, y por cristales de hielo en su tope o cima, también contienen copos de nieve, nieve granulada, granizo, y pedrisco de gran tamaño.

Sus dimensiones son muy considerables, la base se encuentra usualmente por debajo de los dos kilómetros, y su extensión vertical (entre la base y la cima) fluctúa entre 3 y 15 kilómetros. La agitación en el interior de estas nubes es muy fuerte; la atraviesan corrientes ascendentes de gran violencia, y en su superficie exterior se produce el fenómeno contrario, es decir que el aire desciende a gran velocidad y arrastra los cristales de hielos que van engrosándose al cubrirse de sucesivas capas de agua congelada, convirtiéndose así en notables trozos de hielo que son lanzados otra vez hacia arriba, hasta que finalmente su peso los hace caer hacia el sue-

lo, al que llegan algo disminuidos en su masa y su tamaño ya que se funden parcialmente durante la caída. En la figura 6.9 se muestra un esquema del desarrollo de una tormenta en un Cumulonimbus.

Lo más llamativo y a la vez espectacular de los Cumulonimbus, es sin duda la complejidad eléctrica de la que suelen ir acompañadas, la que se manifiesta en forma de rayos y centellas, truenos y relámpagos (ver capítulo 12). El rayo se produce en razón de que el número de cargas eléctricas en el interior del Cumulonimbus aumenta hasta cantidades muy considerables, incrementándose el valor de la diferencia de potencial entre una y otra nube, o entre una nube y el suelo. Es fácil imaginar el peligro que representa este tipo de nubes; aguaceros intensos, granizadas destructoras de los cultivos, y serios trastornos para el desarrollo del vuelo que han quedado registrados por la historia de la aviación, y otros tipos de adversidades y catástrofes debidas a este fenómeno atmosférico. A objeto de evitar, o al menos disminuir estos riesgos, las aeronaves comerciales actualmente en operación, están dotadas de equipos de radar que les permiten ubicar con precisión esas áreas de tormentas, pudiendo así los pilotos conducir sus aeronaves con mayor seguridad y comodidad.

Figura 6.9 Formación de una tormenta en un Cumulonimbus.



6.4 ORIGEN DE LOS NOMBRES DE LAS NUBES.

GÉNEROS

Cirrus	Del latín "cirrus", que significa rizo de cabello o mechón de crines penacho o copete de pájaro.
Cirro cúmulos	Del latín "cirrus" y "cúmulos", que significa acumulación, montón, pila.
Cirrostratus	Del latín "cirrus" y "stratus", participio pasado del verbo "sternere", que significa extender, difundir, aplanar, cubrir con una capa.
Alta cúmulus	Del latín "altum", que significa lugar elevado, altura, aire superior, y "cúmulus".
Altostratus	Del latín "altum" y "stratus".
Nimbostratus	Del latín "nimbus", que significa nubes lluviosas, y "stratus".
Stratocúmulus	Del latín "stratus" y "cúmulus".
Stratus	Del latín "stratus".
Cúmulus	Del latín "cúmulus".
Cumulonimbus	Del latín "cúmulus" y "nimbus".

ESPECIES

Fibratus	Del latín "fibratus", que significa fibroso, que tiene fibras, filamentos.
Uncinus	Del latín "uncinus", que significa en forma de gancho.
Spissatus	Del latín "spissatus", participio pasado del verbo "spissare", que significa espesar, condensar.
Castellanus	Del latín "castellanus", derivado de "castellun", que significa castillo o muralla de una fortaleza.

Floccus	Del latín "floccus", que significa vellón de lana, borra o pelusa de la tela de lana.
Stratiformis	Del latín "stratus" y "forma", que significa forma o apariencia.
Nebulosus	Del latín "nebulosus", que significa lleno de neblina, cubierto por niebla, nebuloso.
Lenticularis	Del latín "lenticularis", que deriva de "lenticula", diminutivo de "lens", que significa lenteja.
Fractus	Del latín "fractus", participio pasado del verbo "frangere", que significa destrozar, quebrar, fracturar, hacer pedazos.
Humilis	Del latín "humilis", que significa próximo al suelo, bajo, de tamaño pequeño.
Mediocris	Del latín "mediocris", que significa mediano, que se mantiene en el medio.
Congestus	Del latín "congestus", participio pasado del verbo "congerere", que significa apilar, amontonar, acumular.
Calvus	Del latín "calvus", que significa calvo, y en su aspecto más amplio, se aplica a todo lo que sea despojado o desnudo.
Capillatus	Del latín "capillatus", que significa peludo, derivado de "capillus", que significa pelo.

VARIEDADES

Intortus	Del latín "intortus", participio pasado del verbo "intorquere", que significa retorcer, doblar, entrelazar.
Vertebratus	Del latín "vertebratus", que significa provisto de vértebras, en forma de vértebras.
Undulatus	Del latín "undulatus", que significa con ondas, ondulado, de "undula", que significa onda, ola.

Radiatus	Del latín "radiatus", derivado del verbo "radiare", que expresa la idea de irradiar, tener rayos, ser radiante.
Lacunosus	Del latín "lacunosus", que significa con agujeros, derivado de "lacuna", que significa agujero, cavidad, intersticio, laguna.
Duplicatus	Del latín "duplicatus", participio pasado del verbo "duplicare", que expresa la idea de doblar, repetir, duplicar.
Translúcidus	Del latín "translucidus", que significa transparente, diáfano.
Perlúcidus	Del latín "perlúcidus", significa dejar ver a través, que deja pasar la luz a través de él.
Opacus	Del latín "opacus", que significa sombreado, espeso, opaco.

RASGOS SUPLEMENTARIOS

Incus	Del latín "incus" que significa yunque. Región superior de un Cumulonimbus, extendida en forma de yunque, de aspecto liso, fibroso, estriado.
Mamma	Del latín "mamma" que significa ubre o pecho. Protuberancias pendientes de la superficie inferior de una nube que toman el aspecto de mamas. Este rasgo suplementario se observa muy a menudo en los Cirrus, Cirrocúmulus y Cumulonimbus.
Virga	Del latín "virga" que significa vástago, rama, vara. Estelas de precipitación verticales u oblicuas que parten de la superficie inferior de una nube y no llegan a la superficie de la tierra. Este rasgo suplementario se presenta muy a menudo en los Cirrocúmulus, Altocúmulus, Altostratus, Nimbostratus, Stratocúmulus, Cúmulus y Cumulonimbus.
Praecipitatio	Del latín "praecipitatio" que significa caída (a un precipicio). Precipitaciones (lluvia, llovizna, nieve, granizo, etc) que caen de una nube y alcanzan la superficie de la tierra. Esta particularidad suplementaria se presenta muy frecuentemente en los Altostratus, Nimbostratus, Stratocúmulus, Stratus, Cúmulus, y Cumulonimbus.

Arcus Del latín "arcus" que significa arco, arcada, bóveda. Rodillo horizontal, denso con los bordes más o menos deshilachados, situado en la parte inferior de ciertas nubes y que forma cuando esta extendido, el aspecto de un arco oscuro y amenazante. Este rasgo suplementario se presenta en Cumulonimbus y más raramente en los Cúmulus.

Tuba Del latín "tuba" que significa trompeta y en un sentido más amplio, tubo, conducto. Columna nubosa, o cono nuboso invertido en forma de embudo, que sobresale de la base de una nube; constituye la manifestación nubosa de un vórtice más o menos intenso. Este rasgo suplementario se presenta en Cumulonimbus y más raramente en los Cúmulus.

NUBES ACCESORIAS

Pileus Del latín "pileus" significa" bonete o capuchón. Nube accesoria de poca extensión horizontal en forma de bonete o capuchón, situada sobre la cima de una nube cumuliforme o unida a su región superior, la cual con frecuencia traspasa el pileus. Se observan muy frecuentemente varios pileus superpuestos. El pileus se presenta principalmente en los Cúmulos y Cumulonimbus.

Velum Del latín "velum" que significa vela de barco, toldo de una carpa. Velo nuboso, accesorio de gran extensión horizontal unido o agregado a la parte superior de una o varias nubes cumuliformes, las que frecuentemente penetran en él. El velum se presenta principalmente en los Cúmulus y los Cumulonimbus.

Pannus Del latín "pannus" que significa trozo de tela, jirón, harapo. Jirones desgarrados, que constituyen a veces una capa continua situada debajo de otra nube y en ocasiones soldados con ella. Esta nube accesoria se presenta muy frecuentemente en los Altostratus, Nimbostratus, Cúmulus y Cumulonimbus.

NUBES ESPECIALES

Nubes nacaradas
Nubes noctilucientes
Estelas de condensación

TABLA DE CLASIFICACION DE LAS NUBES.

Ver imágenes en el Atlas Internacional de Nubes.

GENEROS	ESPECIES	VARIETADES	Rasgos Suplementarios y nubes accesorias	NUBES MADRES	
				GENITUS	MUTATUS
Cirrus	fibratus uncinus spissatus castellanus flocus	intortus radiatus vertebratus duplicatus	mamma	Cirrocúmulus Altocúmulus Cumulonimbus	Cirrostratus
Cirrocúmulus	stratiformis lenticularis castellanus flocus	undulatus lacunosus	virga mamma		Cirrus Cirrostratus Altocúmulus
Cirrostratus	fibratus nebulosus	duplicatus undulatus		Cirrocúmulus Cumulonimbus	Cirrus Cirrocúmulus Altostratus
Altocúmulus	stratiformis lenticularis castellanus flocus	translúcidos perlúcidos opacus duplicatus undulatus radiatus lacunosus	virga mamma	Cúmulus Cumulonimbus	Cirrocúmulus Altostratus Nimbostratus Stratocúmulus
Altostratus		translúcidos opacus duplicatus undulatus radiatus	virga praecipitatio pannus mamma	Altocúmulus Cumulonimbus	Cirrostratus Nimbostratus
Nimbostratus			praecipitatio virga pannus	Cúmulus Cumulonimbus	Altocúmulus Altostratus Stratocúmulus
Stratocúmulos	stratiformis lenticularis castellanus	translúcidos perlúcidos opacus duplicatus undulatus radiatus lacunosus	mamma virga praecipitatio	Altostratus Nimbostratus Cúmulus Cumulonimbus	Altocúmulus Nimbostratus Stratus
Stratus	nebulosus fractus	opacus translúcidos undulatus	praecipitatio	Nimbostratus Cúmulus Cumulonimbus	Stratocúmulus
Cúmulus	humilis mediocris congestus fractus	radiatus	pileus velum arcus pannus tuba praecipitatio virga	Altocúmulus Stratocúmulus	Stratocúmulus stratus
Cumulonimbus	calvus capillatus		praecipitatio virga pannus incus mamma pileus velum arcus tuba	Altocúmulus Altostratus Nimbostratus Stratocúmulus Cúmulos	Cúmulus

6.5 NIEBLAS.

La niebla es un fenómeno atmosférico que se presenta como una nube de espesor y densidad variable cuya base está en contacto con la superficie terrestre, y que generalmente produce una disminución de la visibilidad horizontal a valores menores que un kilómetro. Este fenómeno puede afectar seriamente el tránsito terrestre, marítimo y aéreo, ya sea impidiendo su normal desarrollo, alterando las frecuencias de los viajes o retrasándolos, y lo que es mas grave, produce situaciones de riesgo que en ocasiones pueden transformarse en verdaderas catástrofes.

Físicamente no hay diferencia entre niebla y nube. Una diferencia esencial entre ambas es el método y lugar de formación. Una nube se forma cuando el aire se eleva y enfría adiabáticamente. Una niebla se forma por enfriamiento o por aumento del vapor de agua hasta la saturación. Cuando es ligera, la visibilidad se reduce a 2 - 3 km y se llama neblina; si es mas densa se llama niebla, y la visibilidad se puede reducir a unos pocos metros, como se ve en la figura 6.10, siendo así un peligro para el transporte terrestre y la navegación aérea y marítima.

Figura 6.10 Niebla.



Las nieblas se clasifican de acuerdo a los procesos físicos que la forman, los que le dan características particulares de espesor vertical, densidad, persistencia y tiempo de ocurrencia. Ya sabemos que para que se produzca niebla el aire tiene que alcanzar el punto de saturación, y que la saturación se puede alcanzar por dos procesos: 1) aumentando el contenido de vapor de agua en el aire y 2) disminuyendo la temperatura hasta el punto de rocío. Las nieblas formadas por el proceso 1) se llaman nieblas de evaporación y las formadas por el proceso 2) se llaman nieblas por enfriamiento.

6.5.1 Nieblas formadas por evaporación.

Se producen cuando se evapora agua en el aire frío. Este cambio de estado puede ocurrir aumentando el contenido de vapor cuando una corriente de aire frío y seco fluye o permanece en reposo sobre una superficie de agua de mayor temperatura, formándose nieblas llamadas nieblas de vapor, o bien cuando llueve si el agua que cae tiene una temperatura mayor que el aire del entorno, las gotas de lluvia se evaporan y el aire tiende a saturarse, formando nieblas frontales. Estos tipos de nieblas se describen a continuación.

- a) **Nieblas de vapor:** cuando el aire frío se mueve sobre agua cálida y se produce evaporación desde la superficie del agua, el vapor se eleva, al mezclarse con el aire frío de arriba, se satura, formándose la condensación con apariencia de vapor, dándole el nombre a estas nieblas. La niebla de vapor se produce generalmente sobre la superficie de los lagos y ríos, en otoño o comienzos de invierno, cuando el agua aun esta mas caliente que el aire. Son muy superficiales, ya que al elevarse, se reevapora en el aire no saturado. También es común en zonas polares cuando las corrientes de aire frío se mueven sobre las porciones de los mares sin hielo formándose columnas de nieblas que vistas desde lejos parecen chimeneas humeantes, por lo que se conocen como los “humos del mar ártico”.

- b) **Niebla frontal:** en un frente, el aire cálido se eleva sobre el aire frío; la lluvia que cae sobre el aire frío que tiene una temperatura cercana a la de rocío, puede evaporarse, produciendo niebla, llamada niebla frontal. Son muy espesas y generalmente muy persistentes.

Las nieblas de vapor y frontal se producen al agregarle humedad al aire. Como la capacidad del aire para mantener el vapor de agua a bajas temperaturas es pequeña, se requiere mucha evaporación adicional para producir la saturación y formación de nubes.

6.5.2 Nieblas formadas por enfriamiento.

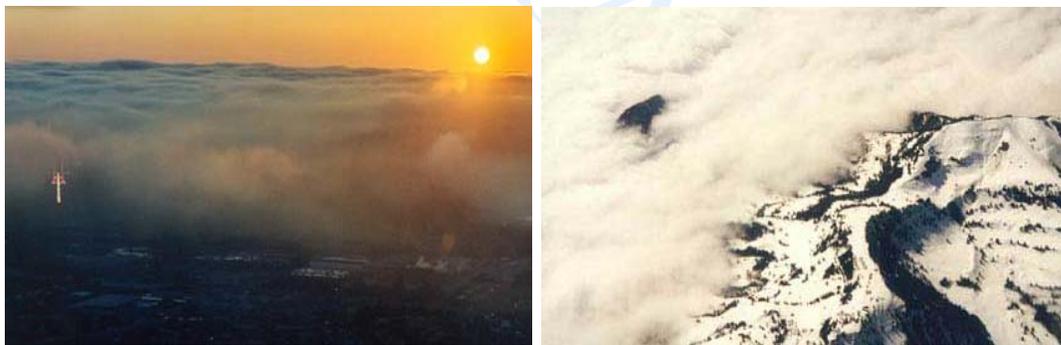
Se generan por la disminución que experimenta la capacidad del aire para retener vapor de agua cuando disminuye la temperatura. Se clasifican según su origen en nieblas de radiación, de advección y orográficas.

- a) **Nieblas de radiación:** producidas por el enfriamiento radiativo de la tierra y del aire adyacente, cuando la temperatura de una capa de aire en contacto con el suelo disminuye hasta el punto de rocío, formándose la niebla (figura 6.11 izquierda). Generalmente se producen en las noches con cielos claros y alta humedad relativa. Si el aire está en calma, la capa de niebla puede ser menor que un metro. Si existe brisa, se forma suficiente turbulencia como para elevar la capa de niebla a 20 - 30 o más metros. Como el aire con esta niebla es relativamente frío y denso, se mueve pendiente abajo en terrenos montañosos, por lo que la capa de niebla es más espesa en los valles, mientras que en torno a las cimas es más clara o no hay. Su duración típica es de 1 - 3 horas después de la salida del sol, y se dice que la niebla “se levanta”, pero físicamente no se eleva, sino que el calentamiento la evapora, disipándola. Se producen solo sobre tierra ya que el agua se enfría muy poco por efecto de la irradiación nocturna.
- b) **Nieblas de advección:** cuando el aire cálido y húmedo es soplado por el viento a una superficie fría, se enfría por el contacto con esta, y si la

humedad es suficiente, se produce niebla llamada de advección. Se requiere que haya suficiente viento, 15 - 25 km/hr al menos, para facilitar tanto el movimiento horizontal como la mezcla de aire en la vertical. Si los valores son mayores que esos, la niebla se puede desprender del suelo y elevarse, formando stratus y si el aire es muy calmo el exceso de vapor forma rocío. Diferente a las de radiación, esta niebla es “gruesa”, aproximadamente 500 metros de altura o mas y persistente en el tiempo. Son frecuentes a lo largo de las costas, especialmente en invierno.

- c) **Nieblas orográficas:** se produce cuando el aire húmedo se mueve por un terreno plano con una pendiente gradual, o cuando sube por la pendiente de alguna montaña, expandiéndose el aire y enfriándose adiabáticamente. Si se llega a alcanzar el punto de rocío, se forma la niebla orográfica (figura 6.11 derecha).

Figura 6.11 Nieblas de radiación y orográfica.



6.5.3 Rocío y escarcha.

Ya habíamos comentado la formación de estos dos tipos de condensación en el capítulo 5, pero no está demás recordarlos como fenómenos de condensación y distinguirlos de las nubes y nieblas.

- a) **Rocío:** es la condensación del vapor de agua sobre los objetos que han radiado suficiente calor como para disminuir su temperatura por debajo del punto de rocío (figura 6.12 izquierda). Como los objetos diferentes radian calor en tasas diferentes, el rocío se forma en algunas superficies y no en otras. Por ejemplo, sobre un vehículo se forma poco después de ponerse el sol, pero sobre el cemento puede no formarse en toda la noche.
- b) **Escarcha:** se forma cuando el punto de rocío del aire es menor que 0° C, y el vapor de agua se transforma directamente en hielo cuando se deposita sobre las superficies, generalmente cerca del suelo. También se conoce con el nombre de helada (figura 6.12 derecha).

Figura 6.12 Rocío y escarcha.



6.5.4 Recomendaciones para el tráfico terrestre.

- Reducir la velocidad.
- Mantener limpio el parabrisas.
- Evitar adelantar.
- No usar luces altas.
- Pisar con frecuencia suavemente el freno para resaltar las luces traseras.

- Si estaciona, hacerlo bien fuera del camino, con todas las luces encendidas.
- Como el pavimento esta generalmente húmedo, para prevenir problemas de frenado, mantener una distancia prudente con el vehículo anterior.
- No viajar con la radio encendida, abrir la ventanilla para escuchar el ruido de otros vehículos; sonar intermitentemente la bocina.

6.6 FORMACION DE LA PRECIPITACION.

Las gotas de nubes tienen un diámetro del orden de 20 micrómetros o 0,02 milímetros (el cabello humano tiene un diámetro de aproximadamente 75 micrómetros). Por ser muy pequeñas son muy ligeras y su velocidad de caída es muy baja. Si cayeran desde un kilómetro de altura tardarían 2 días en llegar al suelo, pero no lo logran ya que se evaporan antes de llegar al suelo. Una gota de agua está sometida a la aceleración de gravedad hacia abajo y a medida que su velocidad aumenta mientras cae, la fuerza producida por el roce con el aire que la rodea, también aumenta, hasta que después de un corto tiempo equilibra al peso de la gota. Desde ese momento la gota cae con una rapidez constante, llamada velocidad límite. En la tabla 6.3 se dan algunos valores típicos para gotas esféricas. Si el aire mismo tuviese movimiento vertical, las gotas caerían relativa al aire con esas velocidades. Una gota grande puede estar sostenida en el aire si la corriente ascendente es de unos 10 m/s y las gotas mas pequeñas ascenderían entonces en la nube. Corrientes verticales de tales velocidades se producen generalmente en las tormentas. Cuando hay gotas de diferentes tamaños como se ve en la figura 6.13, sus velocidades de caída variarán en un amplio rango, lo que produce muchas oportunidades de choques entre ellas.

Otra característica importante es cuando una gota crece hasta tener un diámetro mayor que 6 mm, en cuyo caso su velocidad de caída es superior a los 10 m/s. A velocidades tan altas, las gotas se aplastan y se desmenuzan en muchas gotas mas pequeñas, tales como gotas de llovizna.

Este es un límite superior para el tamaño de las gotas que pueden caer en la atmósfera. Si se vaciase un cubo de agua desde lo alto de un edificio, el agua caería en forma de gotitas de lluvia corrientes, a menos que el aire este tan seco que las gotas se evaporen antes de llegar al suelo.

Tabla 6.3

Clase de gota	Diámetro en mm	Velocidad de caída m/s
Gota de lluvia grande	5	9
Gota de lluvia pequeña	1	4
Lluvia fina	0.5	2.5
Llovizna	0.2	1.5
Gotita de nube grande	0.1	0.3
Gotita de nube común	0.05	0.08
Núcleos de gotitas incipientes	0.01	0.003
	0.002	0.0001
	0.001	0.00005

Figura 6.13 Gotas de lluvia.



Las nubes están formadas por billones de gotas y su crecimiento por condensación es muy poco. Una gota de lluvia suficientemente grande para llegar a tierra sin evaporarse debe contener aproximadamente un millón de gotas de nubes (figura 6.1). Por lo tanto para que se forme la precipitación, deben juntarse millones de gotitas de nubes en gotas suficientemente grandes para formar gotas de lluvia, que logren persistir durante su descenso. Para esto se han propuesto dos procesos de formación de precipitación, llamados uno de ellos proceso de los cristales de hielo y el otro proceso de captura.

6.6.1 Proceso de Bergeron o de los cristales de hielo.

Tor Bergeron (1891 – 1971) fue un meteorólogo Sueco, quien propuso este método en 1928. Se basa en dos propiedades del agua en las nubes:

- a) Las gotas de agua en las nubes no se congelan a 0° C, sino que aproximadamente a -20° C. El agua en estado líquido bajo 0° C se llama sobreenfriada, y se congela rápidamente con cualquier agitación. Las gotas sobreenfriadas se congelan en contacto con partículas sólidas con estructura cristalina similar al hielo (por ejemplo yoduro de plata), llamados núcleos de congelación, necesarios para comenzar el proceso de congelación, similar a la condensación en los núcleos de condensación. Los núcleos de congelación son escasos en la atmósfera. Las nubes con temperaturas entre 0 y -10° C están formadas por agua sobreenfriada, entre -10° a -20° C por agua y cristales de hielo, y menores a -20° C por cristales de hielo, como los cirrus.
- b) La presión de vapor de saturación sobre los cristales de hielo es mucho menor que sobre el agua sobreenfriada. Por lo tanto las moléculas de agua escapan fácilmente de una gota de nube sobreenfriada por encontrarse esta sometida a mayor presión. En la figura 6.14 se muestra el esquema del interior de una nube con un cristal de hielo rodeado de miles de gotas y moléculas de agua. Las moléculas chocan con el cris-

tal, este crece lo suficiente para empezar a caer. En su caída el hielo choca con gotas de nube, crece mas, el movimiento del aire puede romper ese cristal produciendo mas núcleos de congelación y se repite el proceso. Esta reacción en cadena desarrolla muchos cristales de nieve y por crecimiento forman grandes masas llamadas copos de nieve, formados por 10 a 30 cristales de nieve. Mientras caen pueden derretirse y continuar su caída como lluvia. Este es el proceso común de la lluvia frontal de latitudes medias.

Figura 6.14 Esquema del proceso de los cristales de hielo.



6.6.2 Proceso de coalescencia o de captura por choques.

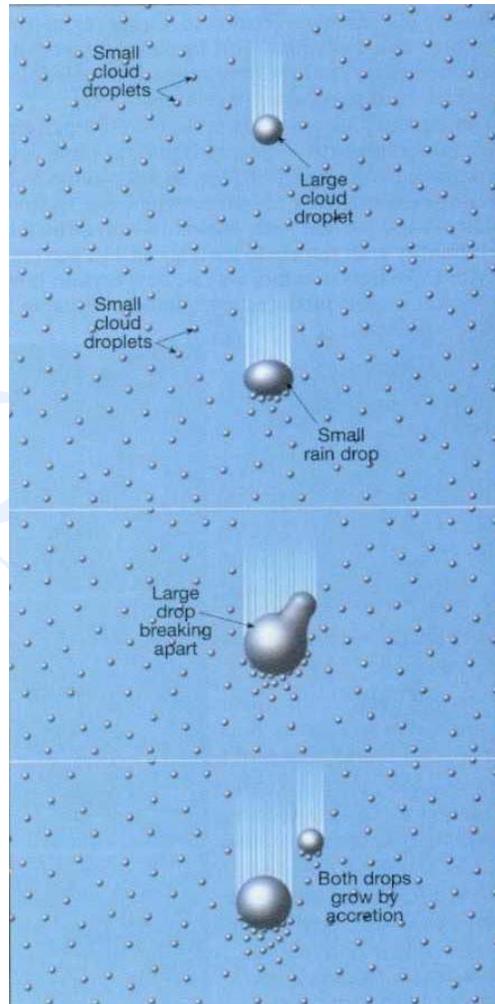
Existen muchas nubes con temperaturas mayores que las de congelación de las gotas, se llaman nubes cálidas, donde no es posible la existencia de cristales de hielo, por lo que existe otro proceso de precipitación llamado

de coalescencia. En las nubes se pueden formar grandes gotas cuando hay núcleos de condensación gigantes, mayores que 20 micrómetros, o con núcleos higroscópicos que pueden crecer rápidamente. Estas gotas de nubes grandes caen más rápidamente que las pequeñas (figura 6.15). Por ejemplo si una gota tiene un diámetro entre 2 y 5 milímetros, su rapidez de caída varía entre 20-35 km/hr. A medida que esta gota cae, choca con las gotas de nubes más pequeñas que se le unen, la gota crece y cae aún más rápido (o si las corrientes de aire son muy fuertes puede ascender lentamente) y aumenta el número de choques con las gotitas de nubes y sigue creciendo. Cuando ha capturado del orden de un millón de gotas, cae a superficie sin evaporarse. Si una gota crece más que 5 mm de diámetro cayendo a 35 km/hr (10 m/s), su tensión superficial no la puede mantener en ese estado y se rompe, dividiéndose en muchas otras gotas pequeñas que repiten un proceso similar, produciéndose la lluvia. Pero los choques de las gotas no garantizan su unión (o coalescencia), porque la corriente de aire que forma la gota en su caída puede alejar las gotitas, o porque las gotas pueden tener carga eléctrica de igual signo y se repelen; en este caso la electricidad de la atmósfera puede ser importante en generar gotas grandes y precipitaciones. Este es el proceso más común de lluvias convectivas de zonas tropicales.

6.7 TIPOS DE PRECIPITACIÓN.

El ciclo del agua en la atmósfera consta de tres partes diferentes, que son la evaporación, la condensación y la precipitación. Mientras cualquiera reconoce la diferencia entre evaporación y condensación, se percibe menos la distinción entre la condensación y la precipitación. El proceso de condensación es la acumulación de moléculas de vapor de agua en gotitas muy pequeñas. En cambio, en el proceso de precipitación se reúnen muchas de tales gotitas para formar gotas (o cristales de hielo) del tamaño de las de lluvia (o nieve). Una gota de lluvia típica tiene un radio del orden de 1 mm, mientras que la gota de agua de una nube tiene un radio bastante menor que 20 micrómetros.

Figura 6.15 Esquema del proceso de coalescencia.

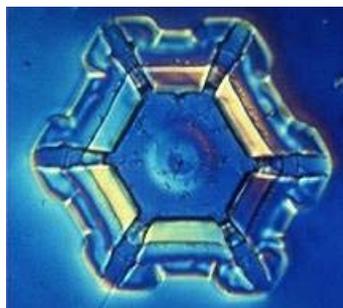


6.7.1 Clasificación morfológica.

Se llama precipitación a toda el agua que cae en forma líquida o sólida. Puesto que las condiciones atmosféricas varían mucho geográfica y estacionalmente, son posibles diferentes formas de precipitación. Las más comunes son la lluvia y nieve. Según la apariencia de los elementos, la precipitación se clasifica en:

- a) **Lluvia**: se define como una precipitación de agua líquida que llega al suelo, con gotas de diámetro entre 0.5 y 5 milímetros. Si la lluvia no llega al suelo, porque se evapora a medio camino al pasar por una capa de aire seco, se forma una especie de cortina que cuelga de la base de la nube, llamada virga, que como no llega al suelo, no es lluvia.
- b) **Llovizna**: Riego tenue de gotitas pequeñas, de diámetro menor que 0.5 milímetros, muy denso o compacto. Se puede considerar débil, moderada o fuerte dependiendo de la visibilidad.
- c) **Neblina o garúa**: llovizna mucho mas tenue aún.
- d) **Nieve**: la nieve se forma de cristales de hielo cuando el vapor de agua se congela en diminutas partículas sólidas en niveles donde las temperaturas son muy inferiores a 0° C. Los cristales de hielo se van uniendo para formar los copos de nieve. Cuando los copos de nieve tienen suficiente peso, caen al suelo. Su tamaño, forma y concentración depende de la temperatura de donde se formen y por donde pasan y tienen una gran variedad de formas, pero todos tienen la característica de ser hexagonales, con un motivo único que no se repite. La nieve es transparente, aunque las reflexiones de los muchos lados de sus cristales hacen que parezca blanca. Una fotografía ampliada de un cristal de nieve muestra su simetría y diseño hexagonal (figura 6.16).

Figura 6.16 Cristal de nieve.



- e) **Aguanieve**: Nieve fundente o mezcla de nieve y lluvia.
- f) **Lluvia helada**: Se produce cuando la temperatura en el nivel de las nubes son negativas y las gotas de lluvia están sobreenfriadas. La lluvia se congela al llegar a la superficie y chocar con los objetos.
- g) **Agujas de hielo**: Delgadas barritas o pequeñas chapas de hielo muy livianas que flotan.
- h) **Granizo**: se forma cuando las gotas de agua sobreenfriadas circulan en una zona de corrientes ascendentes en el interior de un cumulonimbus. El granizo cae de la nube como precipitación sólida de terrones de hielo duro, redondeados o irregulares, cuando adquiere demasiado peso para que las corrientes ascendentes lo mantengan en el aire. Es tal vez la forma más destructiva de precipitación, pueden provocar daños materiales por miles de millones de dólares cada año. En el año 1986, una tormenta de granizo sobre Bangladesh con piedras de más de un kilo de peso, mató a 92 personas. Los signos que pueden indicarnos si una tormenta será de granizo pueden ser un tono verdoso de la base de la nube o el color blanquecino de la lluvia. Si parece probable que caiga granizo, mejor póngase a cubierto.

6.7.2 Clasificación genética.

La clasificación de la precipitación que se ha descrito anteriormente, se basa solo en el aspecto de los elementos de la misma. También se puede clasificar la precipitación en forma genética, relacionada directamente con el proceso de formación. El amplio espectro de esta clasificación se puede resumir en continua, chubascos y llovizna, como sigue:

- a) **Precipitación continua**: sin variaciones bruscas en su intensidad, tal como la lluvia o nieve que cae suavemente de una capa de altostratus y nimbostratus. Esta precipitación es debida a movimientos de gran-

des masas de aire que ascienden lentamente en una amplia extensión horizontal. Estos son los sistemas asociados corrientemente con los frentes y los ciclones.

- b) **Chubascos:** precipitación de corta duración y con intervalos en claro. Esta clase de precipitación procede de los Cumulonimbus y es señal de una estratificación inestable en la que tienen lugar rápidos movimientos verticales del aire.
- c) **Llovizna:** gotas pequeñas y numerosas cayendo de una niebla o de una capa baja de stratus. Son indicios de estratificación estable, sin ningún movimiento vertical de consideración. En buena parte, las pequeñas gotas pueden caer por la ausencia de movimiento vertical del aire hacia arriba.

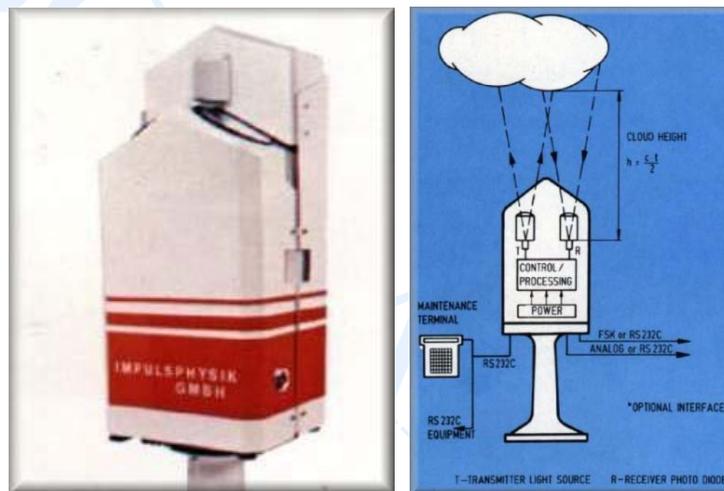
6.8 MEDICIÓN DE LA NUBOSIDAD Y DE LA PRECIPITACIÓN.

Los elementos tales como forma de nubes, cubierta de nubes, formas de precipitación, etc., se indican con símbolos que intentan dar a entender el tipo de fenómeno al que se refieren. La cobertura nubosa es reportada por el observador meteorológico en octavos de cielo cubierto por nubes, por un número entre cero y nueve. El 0 indica cielo despejado, esto es sin una sola nube ni aún en el horizonte y el 9 indica que no se tiene información sobre el estado de nubes en el cielo, por ejemplo en la noche o por obstrucción con humo. Cielo parcial nublado se reporta con valores entre uno y cuatro octavos de cielo con nubes, nublado se informa con valores entre cinco y siete octavos de cielo con nubes y cubierto es ocho octavos y es el caso en que no se ve un solo claro de cielo. Esta graduación es realizada por el observador normalmente solo haciendo una inspección visual del estado del cielo y estimando la cantidad de nubes en el momento de la observación.

Para medir la altura de la base de las nubes se utiliza un instrumento de principio electrónico llamado *nefobasímetro* laser, que se muestra en la

figura 6.17 izquierda. Su funcionamiento (figura 6.17 derecha) consiste en el envío de un pulso laser dirigido hacia la base (parte inferior) de las nubes. Una vez que ha sido detectada, el rayo es devuelto nuevamente hacia el instrumento, el equipo calcula el tiempo que demora en regresar el pulso y mediante el empleo de electrónica avanzada, calcula y determina la altura a la cual se encuentra la base nubosa. Este ciclo de mediciones es repetido continuamente. La unidad de medida entregada por este instrumento es metros.

Figura 6.17 Nefobasímetro laser.



La lluvia se mide con el más elemental de los instrumentos, que se llama pluviómetro, formado por un envase cilíndrico, en cuyo extremo superior tiene una entrada de 200 cm^2 de área por donde ingresa el agua de lluvia, que cae por un embudo a un envase colector interior graduado en mm, que se encuentra aislado del exterior por una capa de aire intermedia que evita la evaporación del agua. Una sofisticación a este instrumento es el pluviógrafo de sifón, que se muestra en la figura 6.18. Al igual que el pluviómetro posee una entrada en la parte superior por donde ingresa el agua hacia un depósito llamado cámara de sifonaje, en cuyo interior

existe un flotador, el cual al recibir una cierta cantidad de precipitación (10 mm) provoca una sifonada hacia un colector que esta en la parte inferior del instrumento. Este ciclo se va repitiendo hasta que el periodo de precipitación termina. El flotador tiene incorporado un pequeño brazo con un plumón de tinta, el cual, grafica las variaciones de la precipitación en un *pluviograma* (figura 6.19) que está adherido a un tambor de relojería semanal.

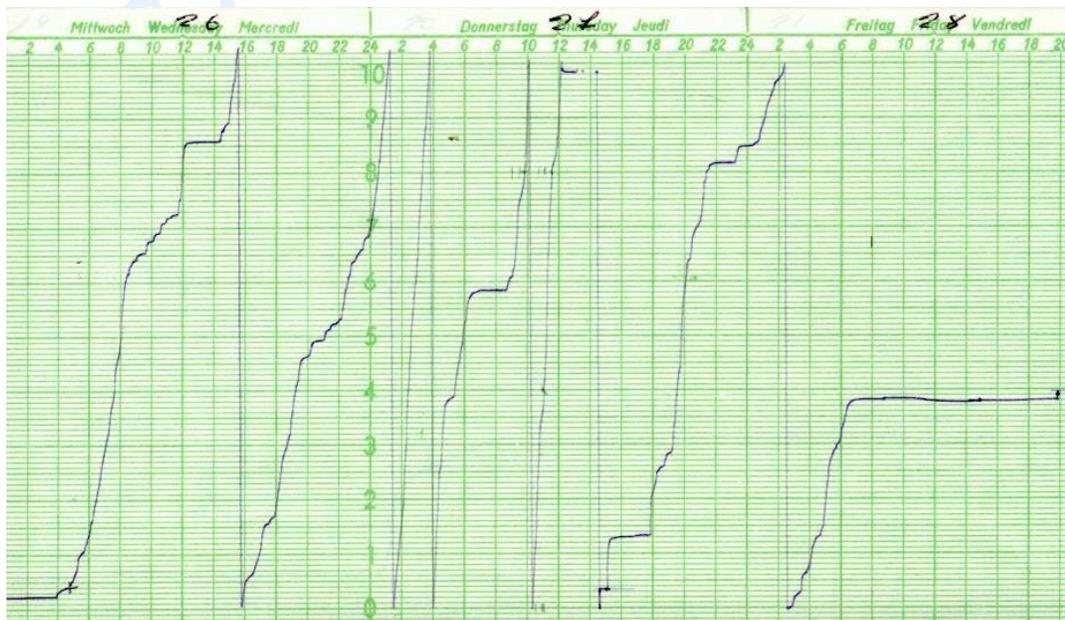
Figura 6.18 Pluviógrafo.



La nieve se mide considerando su profundidad media, obtenida de mediciones en diversos lugares, y la cantidad de agua equivalente, que se obtiene derritiendo la nieve y midiéndola como lluvia. La precipitación se mide en milímetros de agua caída, donde un milímetro corresponde a un litro de agua por metro cuadrado de superficie. Por ejemplo 15 mm de

agua caída significa que sobre cada metro cuadrado de superficie ha llovido 15 litros de agua. Un ejemplo de una fracción de un pluviograma semanal para Concepción se muestra en la figura 6.19, en este gráfico en el eje vertical se tiene la cantidad de lluvia en milímetros hasta un máximo de 10 mm, cuando se alcanza ese valor se produce el sifonaje; y en el eje horizontal el tiempo en horas, durante tres días.

Figura 6.19 Ejemplo de pluviograma de Concepción.



6.9 MODIFICACIÓN ARTIFICIAL DEL TIEMPO.

El ser humano ha intentado modificar intencionalmente el tiempo, tratando de influir en los procesos atmosféricos con diferentes fines, principalmente para reducir el daño que pueden producir las condiciones meteorológicas adversas, tales como sequías o heladas. Esto no es nuevo, por ejemplo, la danza de la lluvia de los indios tenía ese fin.

6.9.1 Siembra de nubes.

Las nubes que tengan una temperatura superior a la de congelación pueden no contener cristales de hielo y no producen lluvia. Como el hielo seco puede estimular el crecimiento de las gotas de nubes, a las nubes cálidas se les puede agregar hielo seco lanzado desde aviones, que la enfriarían y servirían como núcleos de congelación, con el objeto de activar la formación de precipitación por el proceso de los cristales de hielo. Otra forma es intentar engañar a la nube, rociándola desde aviones con yoduro de plata, que tiene una estructura similar a la del cristal de hielo, esto podría estimular la precipitación. Las nubes más efectivas para la precipitación deben ser de gran espesor, los stratus producen una lluvia pequeña y luego se disuelven.

6.9.2 Dispersión de niebla y stratus.

Un método similar al de la estimulación artificial de precipitación, se usa para disolver niebla y estratos que dificultan la visibilidad en lugares como puertos y aeropuertos, para reducir el riesgo de accidentes. Para disipar la niebla también se puede calentar el aire para evaporarla, usando máquinas apropiadas para ello.

6.9.3 Eliminación del granizo.

El granizo causa severos daños y pérdidas económicas y se han hecho esfuerzos desde la antigüedad para eliminarlos. Los daños y pérdidas en cosechas y propiedades causados por una granizada pueden ser enormes. Como las nubes cumulonimbus donde se puede producir el granizo, tienen pocos núcleos de congelación, las gotitas de agua sobreenfriadas se unen alrededor de los pocos núcleos, haciéndolos crecer. Además en estas nubes las corrientes verticales de aire pueden ser muy intensas por lo cual los en principio pequeños granizos pueden elevarse e ir creciendo al

chocar con las gotitas de agua, y pueden crecer mucho, hasta que por fin grandes y pesados caen de la nube cumulonimbus como piedras, produciendo un enorme daño. Por su mecanismo de crecimiento, los intentos actuales para eliminar el granizo son introducir cristales de yoduro de plata en las nubes de tormenta, que actúan como núcleos de congelación, evitando el crecimiento de los granizos, lo que los hace menos destructivos. Las experiencias indican que no se ha tenido mucho éxito en este procedimiento.

6.9.4 Prevención de heladas.

La helada o escarcha (figura 6.20) se puede producir por dos formas: 1) cuando una masa de aire frío se mueve a alguna región, haciendo bajar las temperaturas del lugar al cual llega, manteniendo condiciones de congelación por largos períodos en grandes áreas y 2) por enfriamiento radiativo nocturno, en este caso ocurre sólo en la noche y sobre las áreas de tierra bajas o valles pequeños. Esta es más fácil de combatir.

Figura 6.20 Heladas.



Se puede prevenir la formación de helada tratando de conservar el calor del suelo, cubriendo las plantas con materiales aislantes tales como plásticos, papel, telas o generando una capa de partículas en suspensión que reduzca la tasa de enfriamiento en la noche, tal como humo ennegrecido con hollín. Pero esto no es muy satisfactorio, ya que produce contaminación y si el humo frío y pesado permanece al día siguiente, reduce al calentamiento por la radiación solar. Otro método es calentar el aire con calentadores, que dan buenos resultados, pero el costo en combustible puede ser significativo. También se puede calentar el aire rociando agua, esto genera calor por liberación de calor latente cuando el agua se enfría, o bien mezclando el aire con remolinos, esto se practica cuando el aire en algunos metros sobre el suelo tiene al menos 5° C más que el suelo, los remolinos mezclan el aire cálido de arriba con el aire frío de la superficie, evitando la formación de la escarcha.

6.10 NUBOSIDAD EN CONCEPCION.

El gráfico de la figura 6.21 muestra los valores medios mensuales de nubosidad, en porcentaje de octas respecto a 8/8 de nubes o cielo cubierto, y las horas de sol o insolación, en porcentaje respecto a la máxima insolación u horas de sol posible, que corresponde a la cantidad de horas de sol desde que sale hasta que se pone. La insolación se mide con un instrumento llamado heliógrafo, que se muestra en la figura 6.22, es una esfera de vidrio, de unos 15 cm de diámetro, montada sobre una estructura diseñada para ello, que actúa como una lente convergente o lupa dejando una huella quemada sobre un papel especial colocada en su foco, posible observar en la figura 6.20, graduado en horas, donde queda registrado el número de horas de sol cada día, según se produce el tránsito aparente del Sol por el lugar.

Las mediciones son las realizadas en la estación meteorológica del Departamento de Física de la Atmósfera y del Océano de la Universidad de Concepción. Se observa que, en valores medios mensuales, nunca se ha registrado la máxima insolación posible, porque, naturalmente, en cual-

quier época del año hay diverso tipo de nubosidad, que reduce las horas de sol, y que en los meses de invierno se tienen los menores valores de insolación, como es de esperar. Por otra parte, los menores valores de nubosidad se producen en verano e inversamente en el invierno.

Figura 6.21

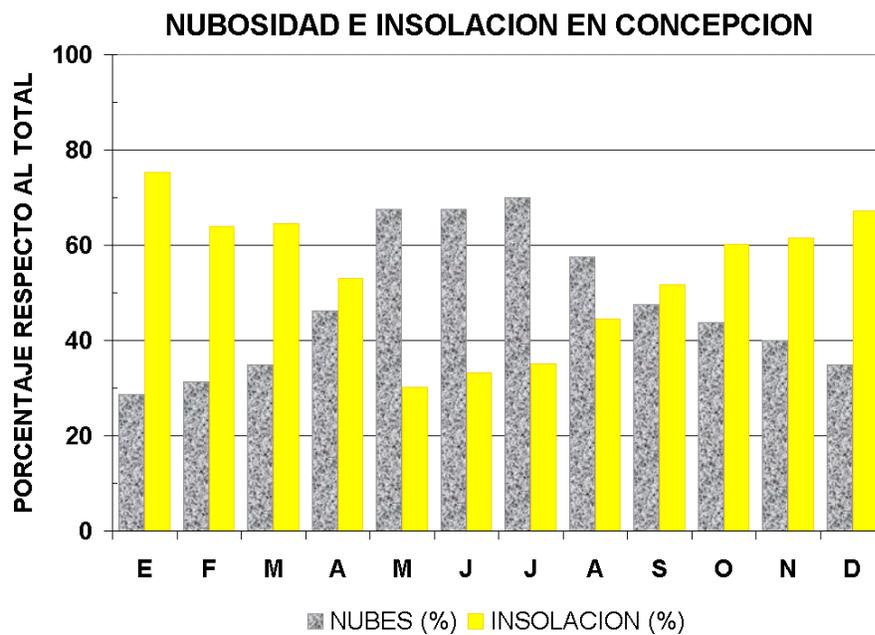


Figura 6.22 Heliógrafo.



PREGUNTAS.

1. Describir los dos criterios básicos para clasificar las nubes.
2. Describir cada uno de los diez tipos de nubes.
3. Explicar el proceso de formación de nubes.
4. Explicar los procesos de formación de nieblas.
5. Explicar los procesos de formación de precipitación.
6. Explicar los procesos de formación de nieve y de granizo.
7. Describir los diferentes métodos de modificación artificial del tiempo.
8. Si una gota de lluvia tiene un diámetro 100 veces mayor que una gotita de nube, demostrar que contiene del orden de un millón de gotas de nube.
9. Suponga que un día de abril la temperatura del aire en Concepción, a las 7 PM es 18°C , la humedad relativa es 50% y que durante la noche no cambia el contenido de vapor de agua. Si la temperatura del aire durante la noche disminuye 1°C cada dos horas, ¿se formará niebla al amanecer?
10. En las condiciones del problema anterior, pero en Los Angeles, si la temperatura del aire durante la noche disminuyera en 1°C cada una hora, ¿se formará niebla? ¿A qué hora? ¿Qué tipo de niebla será?