

EL AGUA EN LA ATMÓSFERA. NUBES Y TORMENTAS

Luis Pardillo Vela 6/11/2024

La **troposfera** es la parte baja de la atmósfera, con unos 12 km de altura. Es en ella donde se desarrolla el clima y la vida. Contiene el 75% de la masa de toda la atmósfera y alrededor de 99 % del agua atmosférica, ya sea en forma de vapor, agua líquida o cristales de hielo, pero solo representa el 0,001% del agua del planeta.

Pero la importancia del agua en la atmósfera no reside en su cantidad, sino en su **dinámica**, la cual se ve favorecida por el descenso de temperatura con la altitud, un promedio de unos 6,5 °C por cada km que se asciende, lo que genera una estructura térmica inestable que permite la formación de movimientos convectivos, corrientes ascendentes y descendentes, que mezclan el aire, transportan vapor de agua y permiten el desarrollo de nubes y precipitaciones. Estos procesos constituyen la base del ciclo hidrológico y del clima en la Tierra.

La mayor parte del agua atmosférica (más del 99%) está en forma de **vapor de agua, invisible a simple vista**, a diferencia de las nubes, la niebla, la lluvia, el granizo o la nieve, **que sí son visibles**, y esa cantidad de vapor de agua presente en el aire, es lo que da origen al concepto de “**humedad**” que se puede expresar de dos formas:

Humedad absoluta: Es la **cantidad real de vapor de agua presente en un volumen de aire**, y se expresa en gramos por metro cúbico (**g/m³**), llegando a ser, en casos extremos, inferiores a 0,1 g/m³ sin llegar a 0, y cerca de 50 g/m³ como máximo.

Humedad relativa expresada en %: Es la forma más usual de indicar la humedad, **y es la relación entre la cantidad de vapor de agua que hay en el aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad que el aire puede contener a esa temperatura**.

Por ejemplo, si a 18 °C la humedad relativa es del 90 %, significa que el aire contiene el 90 % del vapor de agua que puede admitir esa temperatura de 18 °C.

Cuando el aire alcanza el 100 % de humedad relativa, no puede admitir más vapor de agua, y el exceso se condensa formando agua líquida. Este fenómeno se observa como **rocío** sobre superficies frías. Si la temperatura es inferior a 0 °C, el vapor sublima directamente en forma de cristales de hielo, originando la **escarcha**.

Precisamente se define **temperatura o punto de rocío**, como la temperatura a la cual el aire debe enfriarse para que la humedad existente pase a ser el 100% y en consecuencia cualquier aumento de la humedad o disminución de esa temperatura, el exceso de humedad **se condensa**, formando **gotas de agua (rocío, niebla o nubes) o cristales de hielo**, según la temperatura.

En definitiva, **las nubes** se forman cuando el aire con vapor de agua se enfría hasta alcanzar su **punto de rocío**. En ese momento, el vapor de agua sobrante se **condensa** formando pequeñas gotas de agua o cristales de hielo, según la temperatura. **Pero para que esto ocurra, no basta con que el aire esté saturado de vapor**, también se necesita la presencia de **minúsculas partículas en suspensión**, como polvo, polen o minúsculos cristales de sal marina, que actúan como superficies donde el vapor puede condensarse. A estas partículas se las llama **núcleos de condensación**.

Al respirar, expulsamos vapor de agua que es **invisible**, **pero el vaho que vemos al respirar en un día frío y húmedo** es, de hecho, una **pequeña nube momentánea**, ya que el aire exhalado se enfría por debajo de su punto de rocío y el vapor de agua en exceso se condensa sobre los núcleos de condensación presentes, formando esas minúsculas gotas de agua que vemos como humo o niebla.

En general, dado que el aire continental contiene más núcleos de condensación que el aire marino, más limpio, las nubes continentales están formadas por muchas gotas pequeñas y las marinas por menos gotas, pero más grandes.

Un litro de aire de nube puede contener entre unas **20.000 y más de un millón de gotas**, según se trate de una nube **marina o continental**. Las diminutas gotas iniciales, de apenas unas decenas de micrómetros, crecen al **chocar y unirse entre sí** (*coalescencia*). Cuando alcanzan diámetros del orden de **0,5 a 2 mm**, su masa es suficiente para que la **gravedad venza la resistencia del aire y las corrientes ascendentes** y las gotas comiencen a caer: **se inicia la lluvia**.

Pero antes de que empiece a llover veamos los distintos tipos de nubes

Se clasifican principalmente por la **altura** en la que se establecen y por su **forma**, y se dividen en tres niveles principales: altas, medias y bajas, y una cuarta categoría muy importante de nubes que abarcan varias alturas.

1. Nubes altas: Son de cristales de hielo. Están a alturas superiores a 6 km, donde hace tanto frío que solo hay **cristales de hielo**. Son finas y no producen lluvia.

Cirros (Ci): Parecen plumas, filamentos blancos y delgados o mechones. A menudo, anuncian que el tiempo va a cambiar.

Cirrostratos (Cs): Son un velo blanquecino y casi transparente. A veces crean un **halo** alrededor del Sol o la Luna, y señalan que se acerca un frente cálido.

2. Nubes medias: Se componen tanto de gotas de agua como de cristales de hielo. Están entre 2 y 6 km de altura.

Alto cúmulos (Ac): Nubes medianas, como montones de algodón, en grupos o filas.

Altostratos (As): Capas grises que cubren casi todo el cielo. El sol se ve muy borroso a través de ellas, y pueden traer **lluvia ligera**.

3. Nubes bajas: Formadas casi por completo de gotas de agua. Se encuentran desde unos pocos cientos de metros hasta 2 km de altura.

Estratos (St): Nubes bajas y grises que parecen una niebla densa y alta. Suelen producir **llovizna**.

Cúmulos (Cu): Son las nubes que todos dibujamos con una base plana y una cima redondeada, como una coliflor. Si crecen mucho se convierten en **cumulonimbos**, las nubes de tormenta que ahora veremos.

En realidad, la mayoría de las nubes no precipitan, sino que pasan por ciclos continuos de evaporación y condensación, y las nubes bajas, como los estratos, solo producen llovizna o niebla

4. El extra: Las nubes de precipitación fuerte.

Nimbostratos (Ns): Nubes grises, oscuras, sin forma y de gran extensión, tienen un aspecto uniforme y sombrío, cubriendo a menudo todo el cielo, con base algo menor a 2 km y llegando a alturas en la zona de 6 km. Dan **lluvia o nieve persistente**.

Cumulonimbos (Cb): Nubes gigantes de hasta 12-14 km de altura con forma de yunque en la cima. Traen **tormentas, rayos, granizo y chubascos** y posibles tornados.

Visto de otra forma: En los días despejados o con pocas nubes, son comunes los **cúmulos blancos de aspecto algodonoso**, que aparecen por la mañana y desaparecen al atardecer, son los **cúmulos de buen tiempo**. También pueden verse nubes altas, **cirros**, las que tienen forma de hilos, plumas o mechones.

En los días nublados sin lluvia, el cielo suele estar cubierto por **estratos**, nubes bajas, grises y uniformes, o por **altostratos**, más altas y finas, que dejan ver el sol de forma difusa. No producen lluvia, pero sí un encapotado con posible llovizna.

En los días lluviosos predominan los **nimbostratos**, nubes oscuras y espesas que descargan lluvias o nevadas continuas. También pueden aparecer **cumulonimbos**, las enormes nubes verticales que provocan **tormentas intensas**.

El cumulonimbo, la nube de tormenta, se forma cuando coinciden tres factores: **una atmósfera inestable, aire cálido y húmedo, y un empuje inicial.**

En una **atmósfera inestable**, donde el aire se enfría rápidamente con la altura, una masa o “paquete” de **aire cálido y húmedo** que comienza a ascender se enfría más lentamente que el aire circundante. Al mantenerse más caliente y menos denso, continúa elevándose por sí mismo, lo que permite que la nube crezca y alcance gran altura. **El ascenso** puede iniciarse por el calentamiento solar, el paso de un frente meteorológico o por el relieve (una montaña que obliga al aire a subir).

Los cumulonimbos pueden formarse en cualquier latitud si las condiciones atmosféricas son adecuadas, pero son más comunes en zonas tropicales, donde el calor y la humedad son constantes, y también en latitudes medias durante el verano y el otoño, cuando el calor del continente se combina con la humedad de mares cálidos, como el Mediterráneo, y la presencia de frentes.

Su desarrollo es asombrosamente rápido, pudiendo surgir en menos de una hora, alcanzar alturas de hasta 15 km y contener millones de toneladas de agua.

Los cumulonimbos son la única “fábrica” de granizo. La formación comienza cuando **pequeñas partículas**, arrastradas por fuertes corrientes ascendentes de aire cálido y húmedo, suben a las regiones más altas y frías de la nube, con temperaturas muy por debajo de los 0°C. En estas alturas, el agua aún puede existir en estado líquido, pero súper enfriada. Al chocar estas partículas con gotas súper enfriadas, estas se congelan sobre la partícula formando el núcleo de granizo. A medida que esta pieza de hielo crece, se vuelve demasiado pesada para ser sostenida por la corriente ascendente y empieza a caer. Sin embargo, mientras cae, puede encontrar otra fuerte corriente ascendente que lo lleve de nuevo hacia arriba. En cada uno de estos viajes de descenso y ascenso dentro de la nube, el granizo acumula nuevas

capas de hielo, engordando progresivamente hasta que se vuelve tan pesado que ninguna de las fuertes corrientes ascendentes puede sostenerlo, precipitándose finalmente a tierra. Este ciclo continuo de subida y bajada da al granizo su espesor y su estructura de capas concéntricas, tipo cebolla.

Los cumulonimbos son igualmente responsables de prácticamente todas las tormentas eléctricas debido a sus características físicas únicas. Dentro de estas nubes, las intensas corrientes de aire hacen chocar partículas de agua, cristales de hielo y granizo. En estas colisiones, las partículas más grandes como el granizo y el granizo blando (graupel) tienden a cargarse negativamente y caer hacia las zonas bajas de la nube, mientras que los pequeños cristales de hielo adquieren carga positiva y son arrastrados hacia la parte superior.

Esta separación genera un intenso campo eléctrico: la cima de la nube queda cargada positivamente y la base negativamente. El suelo, inicialmente neutro, se polariza por inducción, acumulando cargas positivas en su superficie y en objetos elevados. Cuando la diferencia de potencial entre la base de la nube y el suelo supera la **resistencia dieléctrica** del aire, se produce una descarga eléctrica: **el rayo**.

El proceso no es directo, sino que ocurre en varias etapas muy rápidas. Comienza con la propagación de un canal ionizado desde la nube, **llamado líder escalonado**, que avanza a saltos ionizando el aire. Cuando el líder escalonado se acerca al suelo, se generan pequeñas descargas ascendentes o **streamers**. Al conectarse ambos, el canal queda cerrado y se produce el **arco de retorno**: una corriente muy intensa de electrones de la nube al suelo que genera una luz muy brillante que se propaga del suelo hacia la nube, es decir la descarga de electrones es a tierra, pero el *rayo visible* (relámpago) sube (el arco de retorno), como se ha demostrado con grabaciones ultrarrápidas (que producen una visión ultra lenta).

La intensa descarga de electrones calienta instantáneamente el aire a temperaturas extremas, haciéndolo brillar (**relámpago**) y expandirse violentamente, lo que provoca la onda de choque sonora que percibimos como **trueno**.

En general, el rayo suele “**parpadear**”, ya que la nube puede liberar su carga en varios pulsos consecutivos que reutilizan el mismo canal. A simple vista, percibimos un único rayo intermitente, formado por unas 3-4 descargas sucesivas.

¿QUÉ ES UNA DANA? El **otoño**, es la época más favorable para la formación de una **DANA** (sept. oct y nov.). Para definir la DANA **debemos conocer la existencia de “las corrientes en chorro” polar y subtropical, bandas de viento de movimiento rápido en la troposfera superior, que fluyen como ríos ondulantes de oeste a este. Entonces, ocasionalmente, en una gran ondulación, un ramal de una corriente en chorro polar puede aislarse del flujo principal: esa porción aislada de aire frío en altura se denomina DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos), antes llamada gota fría**. Si este aire frío en altura se sitúa sobre una masa de aire más cálida y húmeda en superficie provoca fuertes **corrientes ascendentes de la masa de aire cálida y**

húmeda formando **cumulonimbos** de gran tamaño y el resultado ya lo sabemos, **lluvias torrenciales, granizo y tormentas eléctricas** concentradas en áreas localizadas, que pueden ser muy peligrosas y difíciles de predecir.

Las aguas del Mediterráneo, calientes al final del verano, ofrecen a la DANA el caldo de cultivo para formar los gigantescos cumulonimbos y sus peligrosas tormentas, más aún con el cambio climático que ha incrementado la temperatura del Mediterráneo.