

CAPITULO 5

EL AGUA EN LA ATMOSFERA

1. VAPOR DE AGUA:

La atmósfera terrestre contiene cantidades variables de agua en forma de vapor. La mayor parte se encuentra en los cinco primeros kilómetros del aire, dentro de la troposfera, y procede de diversas fuentes terrestres gracias al fenómeno de la evaporación. el cual es ayudado por el calor solar y la temperatura propia de la Tierra. La evaporación es el paso de una sustancia líquida al estado de vapor. Este proceso se realiza solamente en la superficie del líquido y a cualquier temperatura aunque, en igualdad de condiciones, este fenómeno es acelerado cuanto mayor es la temperatura reinante.

El vapor de agua que se encuentra en la atmósfera proviene, principalmente, de la evaporación de los mares. Este proceso es facilitado por las olas que se abaten contra las rocas y acantilados de las costas, pulverizándose el agua y elevándose en el aire minúsculas gotas que, al evaporarse, dejan en libertad microscópicos núcleos de sal, los cuales flotan constantemente en la atmósfera y contribuyen a la formación de las precipitaciones.

2. LA EVAPORACIÓN:

Este proceso presenta dos aspectos: el físico y el fisiológico. El primero es el que se conoce mejor y tiene lugar en todos los puntos en que el agua está en contacto con el aire no saturado, sobre todo en las grandes superficies líquidas: mares, lagos, pantanos, estanques, charcas y ríos. Por su parte, la evaporación fisiológica también es importante y corresponde a la transpiración de los vegetales, la cual restituye a la atmósfera una gran cantidad de agua, que primero había sido absorbida. La cantidad de vapor de agua, en un volumen dado de aire, se denomina humedad.

El evaporímetro, es el instrumento que permite medir la evaporación que se produce en una masa de agua, y con ello la capacidad de evaporación del aire en un tiempo determinado.



Para valorar la evaporación se utilizan diferentes sistemas. Así, en el **evaporímetro de Wild** se dispone de una vasija con agua, suspendida de una balanza de resorte que indica directamente la cantidad de agua evaporada. En el **evaporímetro de Piché**, la evaporación se mide en una escala graduada situada en un tubo que contiene el líquido.

3. LA HUMEDAD:

Las precipitaciones suelen acompañar al aire muy húmedo, mientras que el aire seco tiende a hacer que el agua terrestre se evapore, en vez de enviar más líquido sobre la Tierra.

Es muy difícil medir directamente la cantidad de agua presente en la atmósfera, pero este factor no es especialmente importante para un meteorólogo. Lo que interesa es saber cuánto vapor de agua existe expresado como porcentaje de la cantidad máxima que puede contener el aire saturado a una determinada temperatura. Este porcentaje es conocido como humedad relativa y se expresa en tanto por ciento, siendo un dato más significativo, a efectos comparativos que la humedad absoluta, que se define como el peso en gramos del agua contenida en un metro cúbico de aire.

El contenido de agua en la atmósfera depende, principalmente, de la temperatura. Cuanto más caliente está una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que puede retener. En contrapartida, a temperaturas bajas puede almacenar menos vapor de agua. Cuando una masa de aire caliente se enfría, por la causa que fuere, se desprende del vapor que le sobra en forma de precipitación.

4. LA SATURACIÓN:

Cuando una masa de aire contiene la máxima cantidad de vapor de agua admisible a una determinada temperatura, es decir, que la humedad relativa llega al cien por ciento, el aire está saturado. Si estando la atmósfera saturada se le añade más vapor de agua, o se disminuye su temperatura, el sobrante se condensa. Cuando el aire contiene más vapor de agua que la cantidad que tendría en estado de saturación, se dice que está sobresaturado.

Hay que destacar que una masa de aire saturado en contacto con una superficie de agua a la misma temperatura no pierde ni gana ninguna molécula de vapor de agua, pues existe un equilibrio dinámico en el sentido de que el número de moléculas de agua que pasan al aire es el mismo que el de moléculas de vapor de agua que se condensan sobre la superficie del líquido.

5. PUNTO DE ROCIO:

Si una masa de aire se enfría lo suficiente, alcanza una temperatura llamada *punto de rocío*, por debajo de la cual no puede mantener toda su humedad en

estado de vapor y éste se condensa, convirtiéndose en líquido, en forma de gotitas de agua. Si la temperatura es lo suficiente baja se originan cristales de hielo.

Casi siempre se necesita algo, sobre lo que el vapor pueda condensarse, es decir, superficies o cuerpos apropiados donde depositarse. Y en la atmósfera ese "algo" son partículas diminutas, impurezas procedentes de la Tierra. La mayoría de estas partículas son tan pequeñas que no pueden verse a simple vista y se conocen como *núcleos de condensación*.

6. LA PRECIPITACION:

La precipitación puede, producirse por la caída directa de gotas de agua o de cristales de hielo que se funden, las gotas son mayores cuanto más alta está la nube que las forma y más elevada es la humedad del aire, ya que se condensa sobre ellas el vapor de las capas que van atravesando. Además, durante el largo recorrido, muchas gotas llegan a juntarse, fenómeno que también se presenta en los cristales de hielo.

Estas gotas caen en virtud de su peso, y lo hacen a una velocidad que varía entre 4 y 8 m/s, según sea el tamaño de las mismas y la influencia del viento. En cuanto a su tamaño, varía entre 0,7 y 5 milímetros de diámetro. No obstante, una típica gota de precipitación denominada lluvia tiene un milímetro de diámetro, lo que representa que su volumen, aproximadamente, es un millón de veces mayor que el de una gotita primitiva de nube.



El agua de lluvia no es pura como la destilada. Contiene varias sustancias en suspensión y disolución, y esto aunque se trate de lluvia recogida en el mar o a gran distancia de las costas. Casi siempre es portadora de sustancias nitrogenadas (nitratos y amoníaco), que son beneficiosas para la agricultura.

En el fondo, como la lluvia resulta del ascenso y enfriamiento del aire húmedo, ya que a menos temperatura no puede retener todo su vapor de agua, parte del cual

se condensa rápidamente, existe más de un sistema para conseguirlo. El más sencillo es el llamado de *convección*, y se produce cuando una masa de aire asciende debido a que su temperatura es mayor y, por tanto, es más ligera que el aire que la rodea. El resultado es que la masa se enfría y se origina el proceso de condensación, lo que da lugar a la lluvia por convección.

Por otra parte, una masa de aire también puede ser forzada a subir a niveles más fríos, cuando encuentra una cadena montañosa en su camino, por ejemplo. La lluvia producida por este método se denomina *lluvia orográfica o de relieve*.

Un proceso similar tiene lugar cuando una masa de aire caliente se encuentra con una gran masa de aire frío, lo que en el argot meteorológico se conoce como una montaña de aire frío. Como las masas de aire generalmente no se mezclan, el aire caliente asciende, deslizándose por encima del frío. La lluvia que nace de este encuentro recibe el nombre de *lluvia frontal o ciclónica*.

Nombres de la lluvia

La lluvia, según la forma de presentarse y su intensidad, recibe varios nombres y está afectada por diversas circunstancias y fenómenos físicos y geográficos. Se denomina *lluvia* si es continua, regular y el diámetro de sus gotas es superior a 0,5 milímetros. Cuando las gotas que caen son menudas, con un diámetro inferior al citado, y se presentan de forma pulverizada, como flotando en el aire, se conoce por *llovizna*. Se llama *chubasco, chaparrón o aguacero*, si cae de golpe, con intensidad, y por poco rato, como durante el verano y climas tropicales. Si la lluvia es tan violenta y abundante que provoca riadas e inundaciones se denomina *tromba o manga de agua*.

Medición de la precipitación

El pluviómetro, es el instrumento que se emplea en los centros de investigación meteorológica para la recogida y medición de la lluvia caída.



Se compone de un recipiente cilíndrico, abierto y con el eje vertical, que termina por su parte superior en un borde de latón de filo cortante. El cilindro termina por abajo en una especie de embudo cónico, que en su extremidad inferior lleva una

espita; al abrir ésta, la lluvia recogida durante un determinado periodo, se transvasa a recipientes graduados. Conociendo la superficie de la base circular del cilindro se obtiene la cantidad de lluvia caída por unidad de superficie en el terreno de la zona. Dicha cantidad se expresa en milímetros, que representan la altura de la capa de agua caída. La dimensión normal de la superficie anteriormente citada en estos instrumentos es de $0,1 \text{ m}^2$, por lo que un litro de agua recogida en el recipiente (equivale a 1 dm^3) representa 10 mm de lluvia.

Hoy en día los pluviómetros son del tipo cazoletas basculantes. El agua de lluvia es recogida por un primer embudo superior dotado de una embocadura metálica mecanizada con gran precisión. El agua recogida es guiada hasta un segundo embudo con sistema de rebose destinado a disminuir los efectos de la inercia antes de alcanzar las cazoletas basculantes. La primera cazoleta bascula después de recoger una cantidad de agua dada, cuyo volumen es función de la calibración del instrumento. Al bascular las cazoletas, se genera un cierre momentáneo de un relé reed, posicionándose además la segunda cazoleta para recoger el agua procedente del embudo. Una vez llena, las cazoletas basculan en sentido contrario produciéndose un nuevo contacto de relé y repitiéndose el ciclo.

7. LA NIEVE:

Así como la lluvia cae en gotas más o menos gruesas, la nieve baja en copos más o menos grandes que, examinados al microscopio, presentan una estructura cristalina de variadas formas, aunque lo más corriente es que adopten forma de estrella de seis puntas. La nieve se forma cuando la temperatura es tan baja que el agua adquiere estado sólido. Los copos nacen cuando las gotas, al caer, atraviesan una capa de aire frío, por debajo de cero grados, y cerca del suelo.



Al igual que la lluvia, la nieve también puede formarse a partir de los cristales de hielo que integran una nube. Tan pronto como los cristales comienzan a caer a través de la nube, chocan con las gotitas de nube y con otros cristales de distintos

tamaños, uniéndose y formando pequeños núcleos congelados. A este proceso se le llama de *coalescencia*. Se ha demostrado que cuando los cristales tienen un diámetro superior a los 200 micrones, la velocidad de crecimiento por coalescencia es mayor que la de crecimiento por fijación directa de moléculas de agua sobre el cristal de hielo. Este fenómeno también tiene lugar en la *lluvia por coalescencia*, en que las gotas mayores barren a las menores en su caída.

En invierno, cuando la temperatura al nivel del suelo es inferior a la de fusión, el conglomerado de cristales de hielo alcanza la superficie terrestre en forma de nieve. Cuando la temperatura es superior a 0° C., la nieve se funde y se convierte en lluvia. A veces ocurre que hay una capa de aire caliente inmediatamente sobre el suelo, a pesar de que la temperatura de éste se halla por debajo del punto de fusión. Por ejemplo, la temperatura de la superficie terrestre y del aire en contacto con la misma puede ser de menos 2° C., mientras que a 1.200 metros de altitud puede haber una temperatura de 3° C. En este caso, cuando los copos de nieve atraviesan la capa donde la temperatura es superior a 0°, se funden y se transforman en gotas de lluvia. Luego, a medida que éstas continúan cayendo, atravesándola capa más fría, se congelan nuevamente, en parte o por entero, para alcanzar el suelo en forma de *aguanieve*.

Si la capa de aire frío cercana al suelo no tiene suficiente espesor o no es lo bastante glacial como para que las gotas se congelen, éstas llegan a la superficie terrestre como *agua sobreenfriada*. Al entrar en contacto con los objetos terrestres, mucho más fríos, el agua se solidifica rápidamente, recubriéndolo todo con una capa de hielo de caprichosas y exóticas formas. Esto se conoce como *lluvia congelada o helada*.

8. EL GRANIZO:

Se conoce como *granizo* los granos o corpúsculos de hielo más o menos duros que caen de las nubes. El tamaño de estas partículas oscila, normalmente, entre unos milímetros y dos o más centímetros. Al contrario de la nieve, que se da casi siempre en invierno o regiones heladas propicias, el granizo se produce, generalmente, tanto en verano como en la estación invernal. El mecanismo de esta precipitación violenta de gránulos de hielo está relacionado con las tormentas, principalmente en plena canícula, en las que interviene la convección como elemento esencial en su formación, y con los fenómenos eléctricos.



Si el gránulo de hielo alcanza un tamaño superior a los 5 milímetros recibe el nombre de *pedra o pedrisco*. El granizo y la piedra, que tienen la misma constitución y sólo se diferencian por su grosor, se componen de esferitas irregulares de hielo de diferente grado de dureza. Generalmente constan de un núcleo congelado envuelto por varias capas de hielo transparente y opaco. Algunas veces se han recogido piedras de más de 13 centímetros de diámetro. En cuanto a su peso, han caído piedras de más de un kilo, lo que da idea de lo perjudicial que puede resultar una precipitación de tal naturaleza, especialmente para la agricultura.

Para la génesis de tormentas de granizo la atmósfera debe encontrarse inestable, es decir, deben reinar especiales condiciones de temperatura y humedad que permitan el desarrollo de tormentas eléctricas con violentas corrientes ascendentes de aire. Cuando existe una corriente de aire cálido y húmedo que se mueve cerca de la superficie terrestre, y un chorro de aire más seco sopla a mayor altitud, en sentido transversal, las condiciones son favorables para iniciarse una tormenta eléctrica, aunque hay que tener presente que no todas esas tormentas producen granizo.

Una característica común de los gránulos de granizo y de piedra es que el hielo que los constituye no es uniforme. Casi todos están conformados, en parte, por hielo transparente y, en parte, por hielo lechoso u opaco.

Generalmente el granizo pequeño tiene forma esférica muy acusada, pero a medida que aumenta de tamaño, convirtiéndose en piedra, adopta la de pera o de cebolla, si se prefiere. Como caen con el vértice hacia arriba, el agua congelada se acumula en la superficie chata inferior.

El trozo de granizo está constituido por varios cientos de diminutos cristales de hielo. Las capas de hielo opaco están formadas por pequeños cristales y burbujas de aire atrapadas, mientras que las de hielo transparente lo están por cristales grandes.

El porqué los cristales se disponen en capas alternadas, según su tamaño, dando lugar a un trozo de granizo o de piedra, tiene su explicación en la velocidad a la cual se recoge y congela el agua de las nubes. Cuando el granizo cae a través de una región de nubes bajas, e intercepta pequeñas cantidades de agua sobreenfriada, ésta puede congelarse casi instantáneamente, formando la capa opaca. En cambio, si la piedra o granizo acumula grandes cantidades de agua, ésta no puede congelarse de forma instantánea, y más si capta el líquido de las partes más calientes de la nube. Entonces, el granizo se humedece y el proceso de congelación continúa lentamente, a medida que los cristales grandes crecen, y expulsan el aire retenido, dando así origen a la capa transparente. O sea que la existencia de estas diversas capas se atribuye al hecho de que el granizo es arrastrado muchas veces hacia lo alto de la nube por las fuertes corrientes y elevado de nuevo, como un prolongado torbellino, hasta que alcanza tal tamaño y peso que cae a tierra.

Otras veces, el granizo se origina gracias a la presencia de los consabidos cristalitos de hielo. Una vez que éstos comienzan a nacer, el crecimiento se efectúa con mucha rapidez. La mayor parte de las gotas de agua de la nube se ordena

alrededor de los mismos, los cuales toman la forma que determinan las condiciones reinantes en el interior de la nube.

Como los cristales de hielo se agitan turbulentamente, rozan unos con otros, ya uniéndose, ya puliendo sus superficies, convirtiéndose muchas veces en cuerpos esféricos bastante perfectos. Cuando las corrientes ascendentes y descendentes, en el interior de la nube de tormenta, son de tal clase y naturaleza que los trozos de granizo suben y bajan varias veces, y, por tanto, el granizo tarda en caer al suelo, es cuando aparecen las piedras de gran tamaño, pues varias gotas y cristales se van acumulando y congelando sobre el gránulo primitivo.

9. EL ROCÍO:

A diferencia de las precipitaciones de altura que hemos descrito, existen otras que puede decirse que se originan directamente sobre la superficie terrestre, aunque el proceso de condensación viene a ser el mismo. La más conocida de estas precipitaciones es el *rocío*, que consiste en la aparición de gotitas de agua sobre los objetos y cuerpos expuestos a la intemperie, principalmente vegetales.

El rocío se forma a causa de que los cuerpos que, como las plantas, son malos conductores del calor, se enfrían considerablemente en las noches claras y serenas, al emitir gran cantidad de radiación calórica hacia el espacio. Debido a este proceso, las capas de aire en contacto con el suelo y los vegetales se enfrían demasiado, no pudiendo mantener, por tanto, toda el agua en forma de vapor, la cual se condensa en forma de gotitas, siempre que la temperatura sea superior a 0° C. Estas diminutas gotas, unas veces se depositan directamente sobre objetos que están en contacto con el aire enfriado, y otras caen desde alturas menores de un metro.



Vulgarmente se cree que el rocío se forma en las primeras horas de la noche y madrugada, pero lo cierto es que se produce siempre que la temperatura del suelo desciende lo necesario. Este fenómeno es más frecuente en la estación veraniega, ya que es más intensa la irradiación del calor terrestre hacia el espacio. Hay que

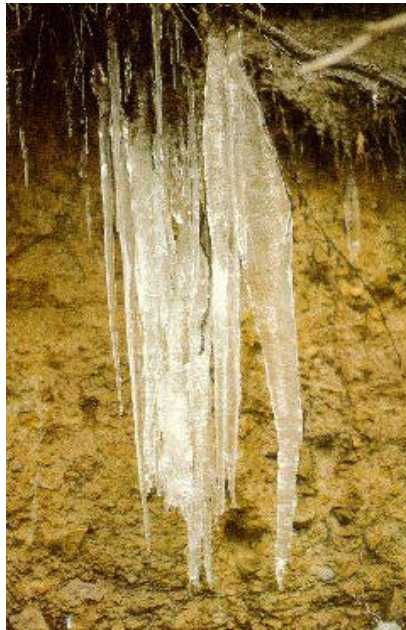
hacer notar que no solamente se condensa el vapor de agua contenido en las capas de aire cercanas al suelo, sino también, en parte, el procedente de la transpiración vegetal.

El rocío, contra lo que muchos opinan, no hay que despreciarlo como precipitación útil, pues cuando no se da la lluvia ni la nieve, la cantidad de agua recogida de esta forma tiene un valor realmente importante. En los climas áridos y semiáridos es de vital importancia para la agricultura.

En las regiones terrestres donde la humedad del aire sea elevada, el rocío puede proporcionar una buena cantidad de agua. En el Estado de Israel, por ejemplo, medir la cantidad de rocío es una práctica cotidiana, como en España lo es la de la lluvia, pues es una zona muy necesitada de agua. El rocío también es primordialmente beneficioso en ciertas comarcas agrícolas del Paraguay y Chile, donde la lluvia es un fenómeno casi desconocido. Sin él, esos territorios dejaban de ser cultivables en poco tiempo.

10. LA HELADA:

Este fenómeno consistente en la solidificación del agua del suelo, causada por un descenso de la temperatura por debajo de su punto de congelación.



Las heladas se producen con mayor facilidad cuando el cielo se halla despejado, puesto que entonces la tierra pierde más calor por irradiación que por convección y basta que la temperatura descienda unas décimas por debajo de los

0° C. En cambio, con cielo cubierto, son precisos varios grados por debajo de cero para que tengan lugar las heladas.

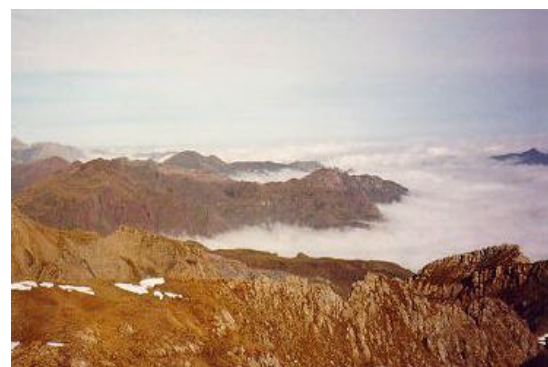
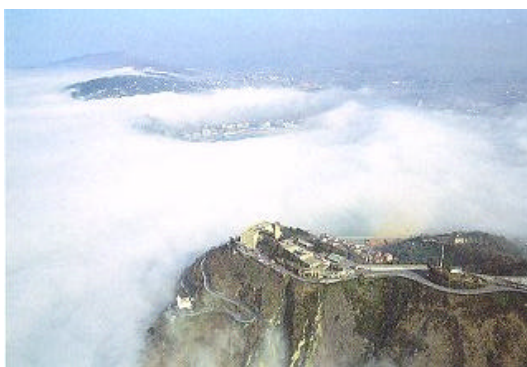
11. LA VISIBILIDAD:

La visibilidad se define como la distancia horizontal máxima a la que un observador puede distinguir claramente algunos objetos de referencia en el horizonte. Algunos meteoros reducen la visibilidad como se observa en la tabla.

REDUCCION DE LA VISIBILIDAD PROVOCADA POR METEOROS			
METEORO	VISIBILIDAD	HUMEDAD	CONSTITUCIÓN
NIEBLA	< 1 Km	90-100%	agua o hielo
NEBLINA	1-2 Km	80-90%	agua o hielo
CALIMA	> 2 Km	< 80%	partículas sólidas
BRUMA	> 2 Km	< 80%	partículas sólidas
LLUVIA	< 3 Km	100 %	agua o hielo
LLOVIZNA	< 1 Km	100 %	agua o hielo

12. LA NIEBLA:

Es otro de los fenómenos producidos por la condensación del vapor de agua atmosférico. En realidad, es una nube tan baja que toca el suelo. Tanto la niebla como la nube consisten en un conjunto de gotitas dispersas en el aire. Las diferencias existentes entre ambas formaciones son la altitud a la que cada una se origina, y que las nubes contienen cristalitos de hielo.



La niebla, pues, está constituida por gotitas de agua tan microscópicas que flotan en el aire, reduciendo la visibilidad tanto cuanto más juntas están más espesa es la misma. La niebla se forma al enfriarse el aire que está en contacto con la tierra o el mar. Al igual que las nubes, una masa de aire cálido y húmedo se enfría alcanzando el punto de rocío, es decir a la temperatura en que queda saturado, el

exceso de vapor se condensa en gotitas de agua gracias a los núcleos de condensación.

Existen dos maneras de que se enfríen esas masas de aire, lo cual origina dos tipos distintos de nieblas: la **niebla por advección** y la **niebla por radiación**.

La niebla por advección, en este tipo de niebla, la masa de aire se traslada de una superficie caliente hacia otra más fría, con lo que su temperatura disminuye. Las nieblas marinas se forman, generalmente, por este procedimiento, y aparecen cuando una masa de aire caliente y húmeda se encuentra o cruza una corriente fría. El aire sufre, entonces, un brusco enfriamiento, alcanzando el punto de rocío, y el vapor de agua que contiene se condensa sobre los núcleos de condensación, partículas de sal en este caso. La *niebla tropical*, que es el tipo más corriente en alta mar, se origina por un enfriamiento progresivo del aire húmedo procedente de los trópicos, a medida que avanza hacia latitudes menos calurosas.

La niebla por radiación, se forma sobre tierra firme, al enfriarse ésta por la noche, principalmente en las noches claras y serenas, al no haber nubes que actúen como capa aislante. Al perder la tierra parte de su calor por radiación, se enfría muy rápidamente, haciendo lo mismo las capas inferiores de aire que están en contacto con su superficie. De esta manera, si no sopla viento, la masa de aire enfriada queda "encerrada" o "atrapada", pues el aire más cálido que se encuentra encima impide su ascensión. Si la masa de aire atrapada contiene vapor de agua suficiente, se origina la niebla.

Con la formación de la niebla se produce el fenómeno llamado *inversión de la temperatura*. En este caso, la temperatura aumenta con la altura hasta un determinado punto, en que comienza a descender y sigue la escala normal. Las nieblas siempre se forman por debajo del nivel de la inversión de la temperatura.

Un factor primordial para que se forme la niebla por radiación consiste en que el aire ha de estar estancado, prácticamente en calma, pues un poco de brisa o viento débil es suficiente para disipar el aire encerrado bajo la capa de inversión, haciendo que se mezcle con el más caliente de las zonas superiores.

En cuanto a la llamada *niebla de montaña*, casi siempre es una nube baja en contacto con montañas altas. En otros casos, este tipo de niebla se forma en las laderas de los montes que dan al mar, al enfriarse el aire más caliente procedente del mismo.