

ESTUDIO SOBRE LAS NUBES Y LA CIRCULACION DE LAS CORRIENTES EN BOGOTA

SIMON SARASOLA S. J.

Director del Observatorio Meteorológico de San Bartolomé.

Complicado es el estudio de las corrientes fluviales que investiga la Hidrodinámica, ya por la resistencia que encuentra el agua en su movimiento, ya también por el desarrollo de la fuerza centrífuga y los remolinos que se forman. Mas cuando se aplican esas leyes a las corrientes de la atmósfera, ¿quién no ve las complicaciones a que han de dar lugar los movimientos del aire? La calma en algunas regiones, fuertes brisas en otras, corrientes huracanadas aquí, rachas violentas y ciclones destructores más allá; ¿qué complicaciones no presentan al investigador? Por eso las leyes de la Hidrodinámica aplicadas a la atmósfera son inseguras y están en contradicción con los hechos en muchas ocasiones.

Efecto en parte del turbulento movimiento del aire son las nubes. Estas, arrastradas por los majestuosos ríos aéreos, nos marcan las leyes de la circulación. Vemos cómo se escalonan a diversas alturas y se agolpan unas sobre otras; de qué modo cambian de aspecto y tomando una variedad indefinida de formas, se condensan y vierten torrentes de agua.

Brevemente queremos exponer algunas de nuestras observaciones sobre el nefelismo en Bogotá, resumiendo todos aquellos datos que sirvan para conocer la circulación de la atmósfera en estas elevadas regiones.

Los sondeos atmosféricos por medio de globos son de gran utilidad, pues hemos alcanzado alturas superiores a las nubes más altas; es decir 12, 14 y hasta 18 kilómetros; pero en Bogotá, donde el cielo es muy nebuloso, relativamente son pocos los días despejados en que se puede aprovechar ese método de investigación. Por lo mismo, es indispensable utilizar la atenta observación de las nubes, como se hace en este Observatorio, de dos en dos horas.

La formación de las nubes se debe: 1º al enfriamiento de la atmósfera por efecto de la radiación; 2º por disminución de presión y expansión del aire; 3º por la mezcla de diversas capas de aire a di-

versas temperaturas; 4º por traslación del aire caliente a un lugar más frío.

Mas es de advertir, que de las experiencias llevadas a cabo por Mr. Aitken, se infiere la necesidad de gran cantidad de polvo en la atmósfera para la formación de las nubes. ¿Qué efecto tienen esas partículas infinitesimales en la condensación del vapor de agua? Su presencia sirve como de núcleo para la condensación, como lo probó Aitken con su "koniscopio". Sin las partículas de polvo, cuando el vapor de agua está saturado, los objetos en contacto con la atmósfera harían como de condensadores; nuestros vestidos húmedos irían goteando agua y por todas partes la humedad iría escurriéndose. Véanse las interesantes experiencias de Aitken en el *Report of the International Meteorological Congress*. Allí se ve cómo en el aire filtrado y puro no se producían nubes; pero bastaba introducir el aire ordinario para que éstas aparecieran.

Imaginemos una gran masa de aire a cierta temperatura. Esta masa podrá tener más o menos cantidad de vapor. Las observaciones nos dirán si está o no saturada, es decir, si tiene el máximo de vapor que puede tener. Según esos datos diremos que la masa de aire está saturada, si no admite más cantidad de vapor, o muy húmedo, si se acerca a la saturación. Cuando es muy pequeña la cantidad de vapor diremos que el aire está muy seco, o en términos técnicos, que la humedad relativa es muy baja. Fórmase la nube en esos casos, si la temperatura disminuye y se enfría el vapor de agua, hasta que se condensa y aparece en forma de neblina.

El enfriamiento por contacto es una de las causas más frecuentes de la aparición de las nubes en las montañas. Una atenta observación lo comprueba. Corrientes más o menos fuertes que traen masas de aire con vapor de agua, al ponerse en contacto con los montes cuya temperatura es baja, dan lugar a la formación de grandes masas de nubes o nieblas. Examinemos ahora qué origen

tienen dos clases de nubes llamadas los *cirrus* y los *cúmulus*.

Cirrus ciclónicos:

Creyóse en algún tiempo que la presencia de los *cirrus* era señal evidente de una depresión barométrica o de un violento ciclón. Que en muchas ocasiones así suceda no lo negaremos. En ese caso, ¿cómo se forman? ¿Cuál es su origen? Véamoslo.

En el ciclón las corrientes más bajas son arrastradas hacia el vórtice, mas la fuerza centrífuga desarrollada por el movimiento rotatorio los lanza hacia arriba, según se ha comprobado en las corrientes ascendentes del *círculo vortical*. Enfriándose éstas en las altas regiones de la atmósfera, se condensa el vapor de agua y aparecen las plumas de *cirrus* en toda su belleza, a enormes distancias, como las primeras señales de aviso al meteorólogo. Son por demás interesantes las palabras del P. Viñes en su obra "Apuntes relativos a los huracanes de las Antillas".

"El enfriamiento rápido, necesario para producir la *instantánea solidificación* de los vapores en agujitas de hielo, o sea el paso brusco del estado de vapor al estado sólido, enfriamiento que ha de hacer desaparecer de repente las enormes cantidades de calórico latente de vaporización y de fusión, no tiene otra explicación, a mi parecer, que la repentina y brusca expansión del aire lanzado con violencia a las altas regiones, donde se ve en un punto libre de la presión atmosférica que a tan considerable elevación queda, por decirlo así, anulada o por lo menos enormemente reducida. Esta causa es, por lo demás, suficiente y adecuada para la producción de dicho fenómeno".

"Según esto, cuanto más bruscas y violentas sean las corrientes ascensionales de un huracán, lo que en otros términos equivale a decir, cuanto más repentinas y terribles sean las rachas huracanadas en las inmediaciones del vórtice del ciclón, tanto mayor será la cantidad de vapor lanzado por ellas a las altas regiones, más rápida la expansión, más repentino el enfriamiento, más brusca la congelación de los vapores, mayor la cantidad de vapor congelada en igualdad de volumen, menor la altura de congelación, más completa ésta y menor la distancia a que quedará congelada la totalidad de los vapores acarreados por las rachas en cuestión".

Cirrus no ciclónicos:

En Colombia las variaciones barométricas son insignificantes: no existen ciclones, ni depresiones semejantes a las de altas latitudes. Sin embargo la observación de los *cirrus* y otras nubes elevadas es bastante frecuente. ¿Cuál es su origen? Si no son ciclónicos, ¿a qué deben su formación? No han faltado autores que la han atribuido a la corriente de los *contralisios* superiores. Pero su existencia no se comprueba con la observación de

estas regiones; al contrario, según nuestras investigaciones, se debe negar la existencia del *contralisio*, como probamos en otro trabajo y veremos más abajo. Esto mismo afirma M. Goyeque, fundándose en las observaciones de Bogotá.

Siendo los *cirrus* las nubes más altas y las que dan origen a los halos, todos admiten que se componen de partículas de hielo. Su altura varía, pero cerca del ecuador debe ser mayor que la de otras latitudes. Las formas con que aparecen son tan múltiples que no hace al caso su descripción en este lugar.

Varias pueden ser las causas de la formación de los *cirrus* en estas regiones, donde no se conocen los cambios barométricos que en otras partes. Obsérvanse corrientes ascendentes y descendentes con alguna frecuencia, y si en los ciclones se admite como causa de su formación el movimiento de torbellino de masas ascendentes, podemos deducir que las corrientes de convección tan ordinarias en los países tropicales dan también origen a la formación de los *cirrus no ciclónicos*.

Un fenómeno hemos observado aquí bastantes veces con su aparición. Cuando en las inmediaciones de Bogotá, sobre todo en la parte montañosa del este y hacia la región de los Llanos han tenido lugar lluvias más o menos intensas, aparecen los *cirrus* de forma prolongada, que vienen del 2º cuadrante. También en esos casos su formación se debe a las corrientes de convección o de distinta temperatura que se mezclan entre sí.

La circulación del aire en los cúmulus:

Estas nubes son más bajas que los *cirrus*, su presencia en el cielo de Bogotá puede decirse que es diaria y casi continua, en gran variedad de formas. Es algo fantástico ver su desarrollo en algunas ocasiones, y su transformación en nubes de lluvia. Son los *cúmulo-nimbus* tempestuosos los que en climas calientes originan un relampagueo continuo. A veces toman aspecto globular y redondeado, en la parte baja se extiende una ancha base; unos se sobreponen sobre otros; el aire parece que se estanca, formando inmensos gigantes, tan frecuentes en los trópicos, durante las horas de más calor.

Es regla bastante general que el tipo verdadero de *cúmulus* se observa con preferencia en regiones en que alterado el equilibrio de la atmósfera por la diferencia de temperaturas, se establece una circulación de masas de aire ascendentes y descendentes.

Estudiando las velocidades de esas nubes, nótese que a su mayor altura corresponde mayor velocidad. Otro modo de formación de los *cúmulus*, sobre todo en los días de pocas nubes en las mañanas, proviene del movimiento en que las capas más bajas de la atmósfera entran, por efecto del calor. El aire caliente, por su menor densidad, sube, y viene a reemplazarlo una capa más fría, es-

tableciéndose así una circulación turbulenta que da origen a la gran variedad de strato-cúmulus, cúmulo-nimbus, etc.

La circulación atmosférica en Bogotá:

No conocemos un estudio de la circulación de las corrientes en esta altiplanicie. ¿Son suficientes las observaciones de unos meses o pocos años para deducir leyes generales? De ningún modo. El viento superficial observado por medio de las velas tampoco da una idea, aun de las corrientes más bajas, si no se hacen observaciones a diferentes horas del día. En Colombia, por razón de su especial topografía, con un dato por la mañana y otro por la tarde, difícilmente se reunirá material bastante para una investigación seria de los diversos climas, y mucho menos para estudiar la circulación general de la atmósfera. La inestabilidad de los vientos más bajos es muy grande, por causa de la topografía de los Andes.

Teniendo delante diez años o más de observación continua, hemos estudiado las diferentes corrientes de la atmósfera en Bogotá.

La dirección de las nubes a diversas alturas ha sido la base de nuestra investigación. Ya en 1923 vislumbramos que muchas de las teorías de la circulación general atmosférica, incluyendo las leyes de Ferret, Bigelow, Mohn etc., no tenían fundamento sólido en las observaciones, sobre todo en lo relacionado con la existencia de los *contralisios* del SW. Entonces escribimos lo siguiente: "No existen argumentos sólidos en favor de la teoría de los *contralisios* tal como la exponen muchos autores. En las observaciones del Ecuador, Bogotá, México y las Antillas no se descubre esa corriente superior constante y fija". (V. *Ibérica* N° 498 p. 238).

Hoy podemos añadir la siguiente ley sobre la circulación general de la atmósfera en la altiplanicie de Bogotá a 2.645 metros de altura.

Para deducirla, hemos aplicado la siguiente fórmula de Lambert:

$$\tan \alpha = \frac{E-W + (NE+SE-NW-SW) \cos 45^\circ}{N-S + (NE+NW-SE-SW) \cos 45^\circ}$$

1) La corriente más elevada de los *cirrus* y *cirrostratus* da una resultante de S 78° E.

2) La de los *cirro-cúmulus* S 68° E.

3) Las corrientes más bajas, incluyendo los *Alcu*, *cut. st-cu.* y *nb.* dan una dirección de S 63° E.

Para comprobar nuestras conclusiones, vamos a indicar los resultados obtenidos en los sondeos atmosféricos por medio de globos. Hemos usado ordinariamente el teodolito Zeiss.

Prescindimos en el adjunto cuadro de los sondeos que no alcanzaron cuatro kilómetros de altura. El cielo nebuloso de Bogotá impide con frecuencia la exploración más allá de los cuatro mil metros.

Si estudiamos los datos de la siguiente tabla, veremos que los sondeos confirman las conclusiones deducidas de la observación de las nubes. Nótese cómo de ordinario las corrientes altas hasta los siete u ocho kilómetros de altura sobre Bogotá (cerca de diez u once sobre el nivel del mar) vienen del primero o segundo cuadrante. Claro está, hay alguna que otra excepción, pero la circulación general de la atmósfera está en contradicción con la teoría de los *contralisios*, tal como la exponen muchos autores sin observaciones en qué fundarse.

Pocas veces han subido los globos más allá de los ocho kilómetros. En estos casos se observa una corriente del W al NW bastante normal hasta llegar a los diez y seis kilómetros.

Para dar una idea de la circulación, hemos incluido en la siguiente tabla las direcciones más principales de 500 en 500 metros, partiendo de 4.000 metros de altura. En los cuadros originales ordinariamente la dirección se toma de 200 en 200 metros, que es la velocidad ascensional de los globos por minuto.

