

Microfísica de nubes y formación de la lluvia

José Miguel Viñas

Artículo publicado originalmente en www.tiempo.com



En la formación de la lluvia hay multitud de procesos físicos implicados, no actuando siempre los mismos, en función de cuáles sean las condiciones en las que se produzca el hidrometeoro.

Cuando llueve estamos viendo el resultado de distintos procesos que tienen lugar tanto en el interior de la nube responsable de la generación de las gotas de lluvia, como en el tramo de atmósfera situado entre la base nubosa y la superficie terrestre. Los procesos de microfísica implicados no siempre son los mismos, así como el hidrometeoro que escapa de la nube, que no siempre es una gota de lluvia, aunque llegue abajo como tal. En la medida en que las condiciones atmosféricas en un momento dado son únicas e irrepetibles, lo son también las circunstancias que dan lugar a la lluvia.

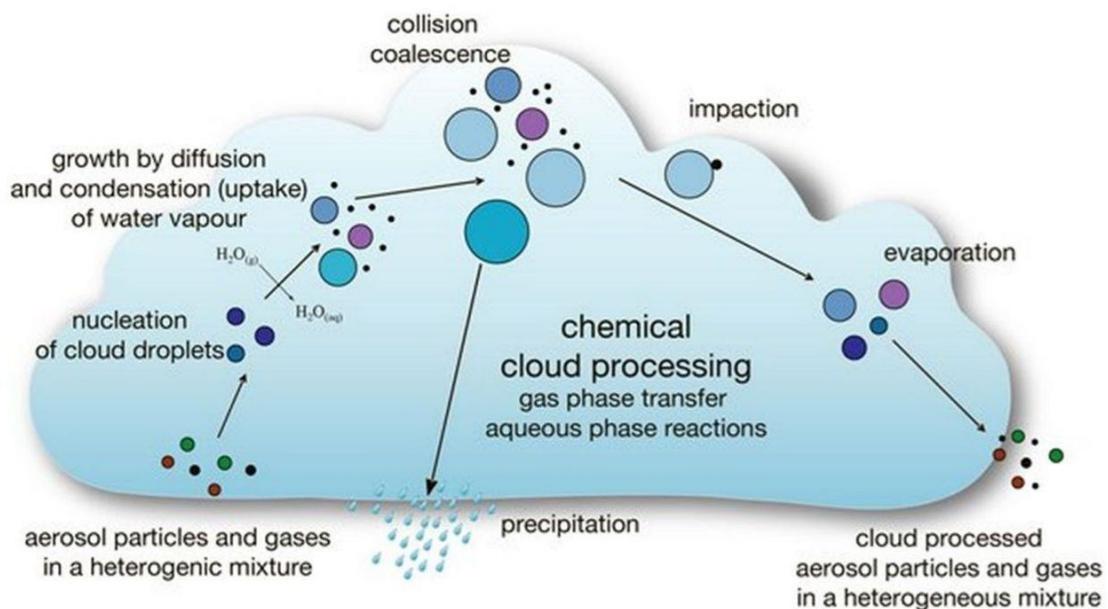
Antes de pasar a describir los procesos que ocurren en el interior de las nubes y que culminan en la precipitación, analicemos el papel clave que desempeña la temperatura del aire tanto en la parte inferior de las nubes como desde ahí hasta abajo. Desde la base de una nube pueden precipitar gotas de lluvia, granizos o copos de nieve (citamos solo esos 3 hidrometeoros por ser los principales), pero una vez que inician su descenso en el aire pueden o no mantenerse como tales. Aunque lo que llegue abajo sean gotas de lluvia, no necesariamente salieron como tales de la nube.

Si pensamos en una tormenta, lo habitual es que del cumulonimbo precipiten granizos, pero muchas veces se terminan convirtiendo en gotas de agua líquida (lluvia) en su

caída. Si pensamos en nubes frías, que contienen hielo, lo habitual es que precipiten de ellas cristales de hielo que forman copos de nieve, pero si estos en su caída se van encontrando con un aire más cálido, terminan convirtiéndose en aguanieve y finalmente en gotas de agua muy fría. Este tipo de transiciones son habituales en la fase inicial y la final de una nevada, aunque hay ocasiones en que llueve en todo momento, aunque de la nube precipite nieve.

La nucleación de gotitas de nube

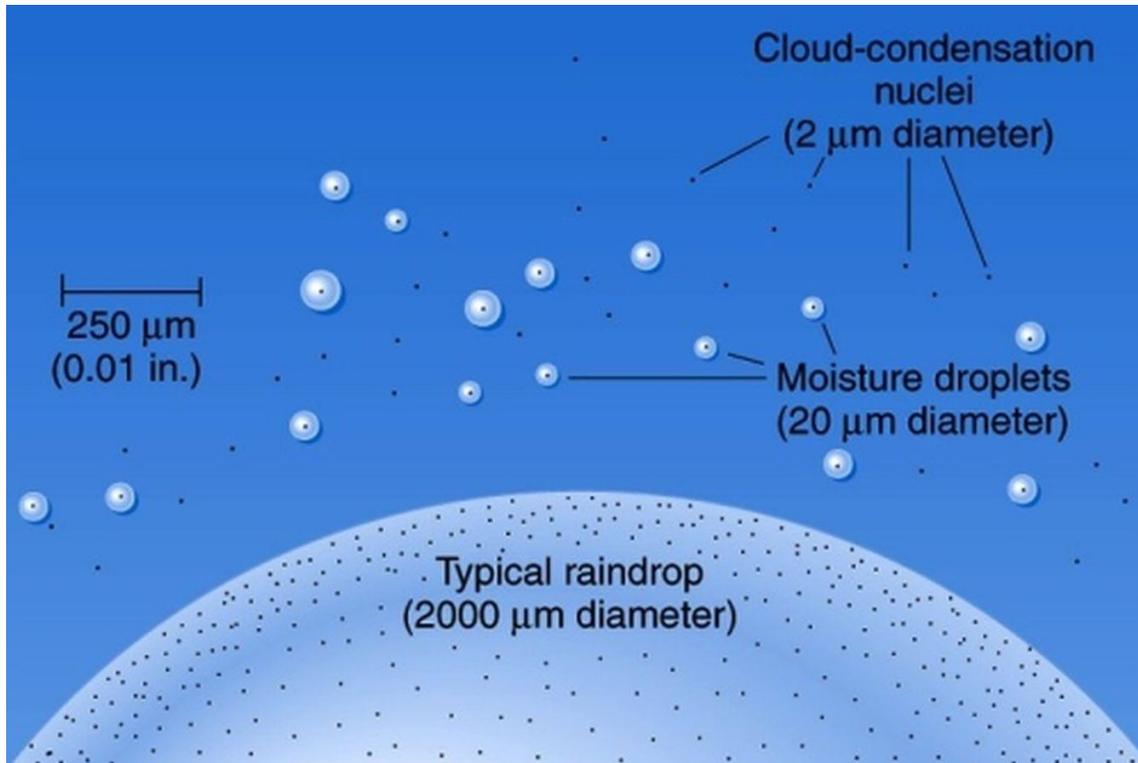
Viajemos ahora al interior de las nubes, para ir viendo los procesos de microfísica que tienen lugar allí adentro y que culminan con la formación de gotas de lluvia. El proceso natural que posibilita la formación de microgotas de agua líquida y embriones de hielo, a partir de los cuáles crecen las gotitas y los cristalitas de hielo que forman las nubes recibe el nombre de nucleación. Esta puede ser homogénea o heterogénea. La primera es más ocasional y ocurre cuando el aire está sobresaturado (muy cargado de humedad), mayoritariamente en nubes cálidas. En tales casos, la colisión y posterior acreción de las microgotas, que previamente se han formado en torno a núcleos de condensación (partículas de polvo, sales marinas, esporas...), da lugar a las gotitas de nube.



Esquema con los distintos procesos que tienen lugar en el interior de una nube cálida, dando como resultado final la formación de gotas de lluvia que precipitan. Fuente: Ralf Wolke/TROPOS

El otro tipo de nucleación es la heterogénea y es la que ocurre mayoritariamente en la atmósfera, cuando el aire se encuentra próximo a las condiciones de saturación. Bajo tales condiciones, el vapor de agua se condensa y/o congela sobre los núcleos higroscópicos (de condensación y/o de congelación, respectivamente) presentes en el

medio aéreo. Una vez formados esos minúsculos hidrometeoros, pensando únicamente en las gotitas de nube, su crecimiento se ve favorecido por las colisiones entre ellas, en un ambiente rico en vapor de agua. En las nubes cálidas el proceso de coalescencia es el que permite la unión de millones de esas gotitas, culminando con la formación de gotas de lluvia, cuyos tamaños son dos órdenes de magnitud mayores, tal y como se puede ver en la figura anexa.



Tamaños relativos de los núcleos de condensación, las gotitas de nube y una gota de lluvia típica. Fuente: Universidad de Idaho.

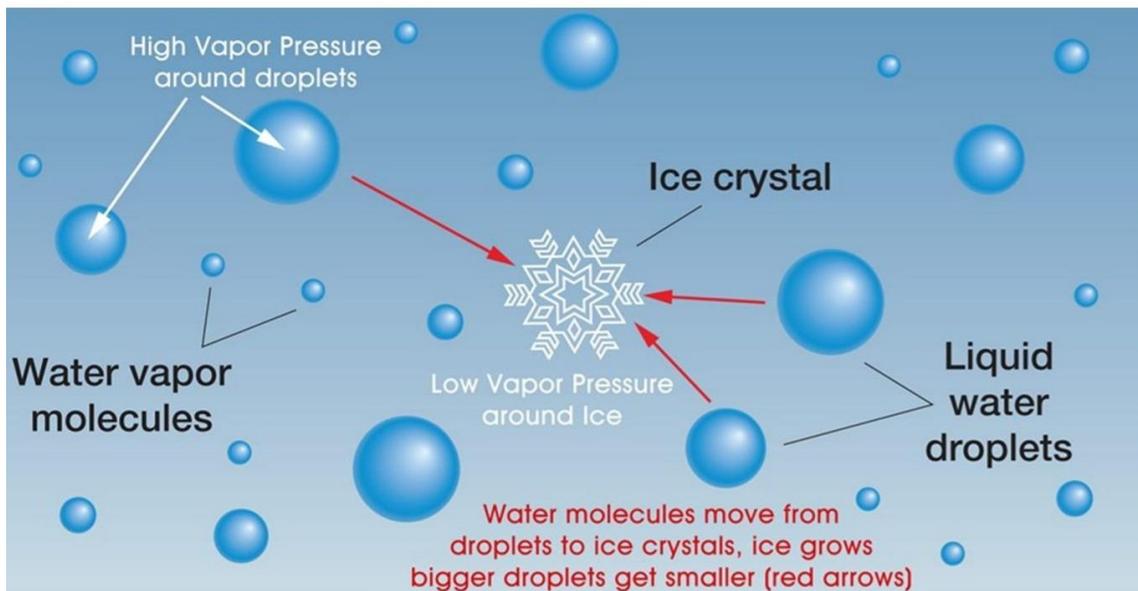
Una gota de lluvia típica tiene un diámetro de 2 milímetros. Si las condiciones de sobresaturación son muy favorables, las gotas pueden llegar a alcanzar hasta los 6 mm de diámetro. Es un límite físico a su crecimiento, ya que si engorda más tiende a fracturarse. Se han llegado a registrar gotas (goterones deberíamos de decir) de tamaños algo mayores en algunas regiones tropicales, fruto de la unión de una gota de esos 6 mm con otra de tamaño menor, dando como resultado gotas cercanas a los 9 mm de diámetro, aunque formadas durante un breve lapso de tiempo antes de fragmentarse.

El crecimiento del hielo en las nubes frías

Costó lo suyo desentrañar los procesos de microfísica que tienen lugar en las nubes cuya temperatura está total o parcialmente por debajo de los 0 °C. En Meteorología nos referimos a una nube fría cuando toda ella se encuentra a bajo cero, y mixta cuando eso ocurre solo en una parte de la misma (normalmente su parte superior), tal y como ocurre con las nubes de gran desarrollo vertical como los cúmulos congestus y los cumulonimbos (nubes de tormenta).

En ese ambiente intranube tan frío, a temperaturas significativamente por debajo de los citados 0 °C, coexisten inicialmente cristales de hielo y gotitas de agua subfundida o

superenfriada. Según el proceso de Wegener-Bergeron-Findeisen (alude a los 3 científicos que hicieron aportaciones clave para entender lo que ocurre en ese “congelador natural”), pero debido a que la presión del vapor de agua sobre los cristales de hielo es inferior a la que hay sobre las minúsculas gotitas, los cristales comienzan a crecer a costa de la reducción del tamaño de las gotitas. El resultado es el crecimiento de los cristales de hielo.



Proceso de Wegener-Bergeron-Findeisen, que explica la formación de cristales de hielo a partir de la evaporación de gotitas de agua subfundida en el seno de una nube fría o mixta, a temperaturas significativamente por debajo de 0 °C. Figura adaptada de la original publicada en © Pearson Prentice Hall, Inc.

Esa incorporación de vapor de agua a los cristales de hielo (inicialmente embriones microscópicos) recibe el nombre de acreción y da como resultado las bellas formas hexagonales que dan lugar a los copos de nieve. Tal y como comentamos al principio, el que la nieve llegue como tal al suelo o convertida en gotas de lluvia depende principalmente de la temperatura que vaya teniendo el aire en la caída de los copos. Cuando el agua de la lluvia está particularmente fría, podemos estar razonablemente seguros que su origen estuvo en los cristales de hielo que crecieron en el interior de la nube, formados a su vez gracias a la nucleación heterogénea alrededor de las minúsculas partículas que surcan el aire.