La nucleación del hielo en las nubes

José Miguel Viñas

Artículo original publicado en www.tiempo.com

La mayor parte de las nubes contienen hielo, especialmente en su parte superior. Existen diferentes de procesos de microfísica que dan como resultado los hidrometeoros en suspensión que las constituyen.

La formación de los cristales de hielo que contienen la mayoría de las nubes que vemos en el cielo, es debida a una serie de procesos físicos (de microfísica) entre los que están los de nucleación, que describiremos en este artículo. La complejidad de todo lo que ocurre en el interior de una nube es alta debido a la gran variedad de hidrometeoros que pueden coexistir en ella, aparte de las condiciones cambiantes de variables como la temperatura, el viento o la humedad, que modulan su propia dinámica.

De entrada, no todas las nubes contienen hielo. Las hay que están constituidas exclusivamente por gotas y gotitas de agua líquida. Esto ocurre, por ejemplo, en las nieblas, salvo cuando la temperatura es tan baja que en su seno el agua comienza a estar subfundida o superenfriada, lo da lugar al engelamiento y la formación de hielo. Tanto las nubes mixtas como las frías contienen hielo. En el primer caso combinado con agua líquida y en el segundo (por ejemplo en los cirros) en su totalidad.

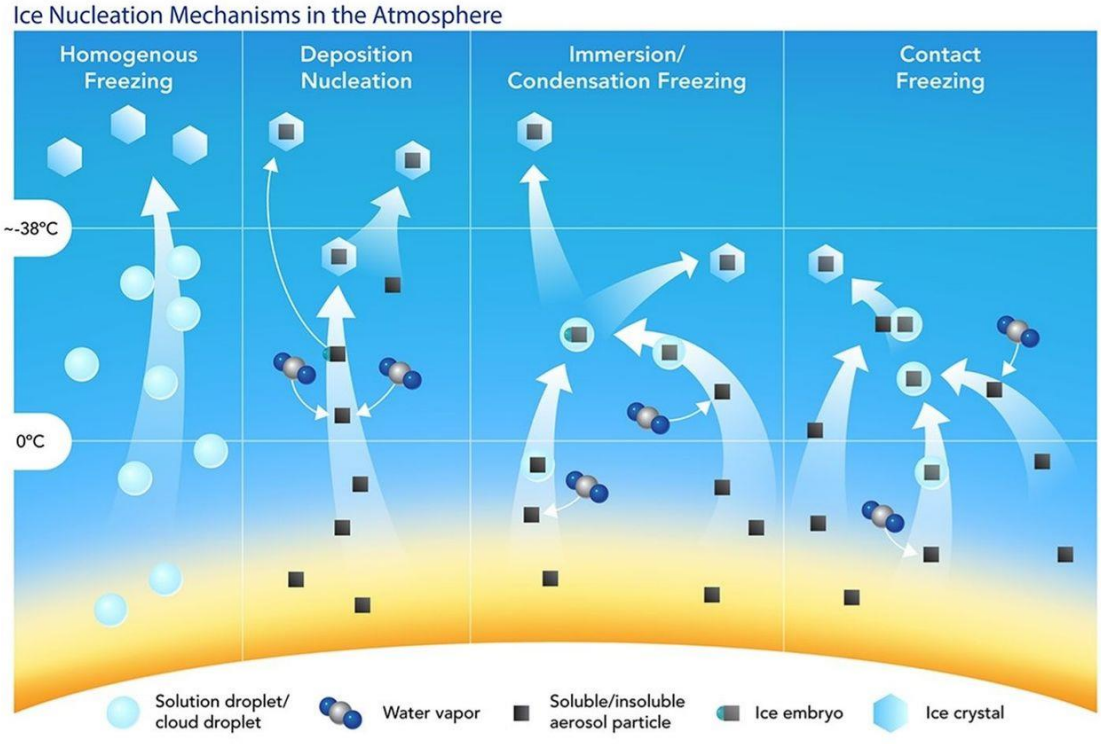
En las nubes encontramos habitualmente el agua en sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso. Incluso en las nubes frías hay momentos en los que el hielo que las forma coexiste con agua superenfriada. Aparte de las gotitas de nube de agua líquida o

subfundida), de tamaño microscópico, podemos tener gotas de llovizna, de lluvia, granizos, cristales de nieve, copos de nieve y graupel. Este último hidrometeoro se forma por acreción de cristales de hielo y gotitas de agua subfundida, dando lugar a lo que se conoce como nieve granulada o granizo blando (granicillos de tamaño minúsculo, inferior a 5 mm de diámetro).

Los dos tipos de nucleación del hielo

La formación de hielo en el seno de una nube comienza a producirse de manera natural cuando la temperatura cae por debajo de los 0 ºC, si bien hasta muy por debajo de ese valor (del orden de los -15 ºC) hay una mayor presencia de gotitas de agua subfundida que de cristales de hielo. Si el aire está más frío comienzan a ganar efectividad los procesos de formación y crecimiento de los cristales, entre los que destacan los de nucleación, aunque no son los únicos.

Por un lado, puede darse la nucleación homogénea de cristales de hielo (congelación directa de agua en estado gaseoso), pero no es lo más habitual, ya que las condiciones para que se produzca son bastante restrictivas. El ambiente en el que puede llegar a producirse debe de estar muy cargado de vapor de agua (alta sobresaturación) y la temperatura debe de ser muy baja; inferior a los 40-45 ºC. Se produce casi exclusivamente en la alta troposfera cuando entra en escena el factor humedad, formándose las nubes cirriformes, que están constituidas por hielo en su totalidad.



Mecanismos de formación de hielo que tienen lugar en la atmósfera, responsables de los cristales y embriones de hielo que contienen las nubes.

Es bastante más común que se produzca la nucleación heterogénea, para la que son necesarios núcleos de congelación, que en este caso sirven de soporte para el vapor de agua, formándose en torno a ellos los cristales de hielo. La concentración de núcleos de

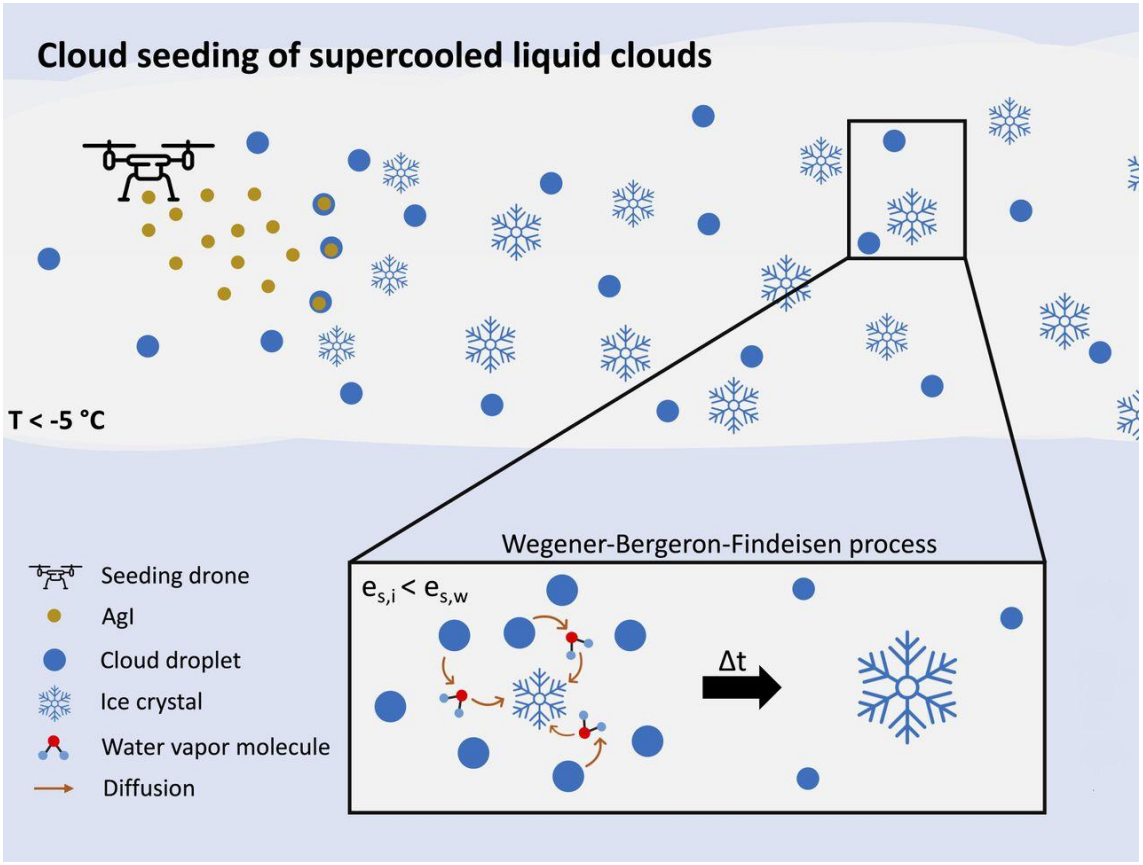
congelación en la atmósfera es significativamente menor que las de los núcleos higroscópicos o de condensación, que impulsan la formación de las gotitas de nube. Los núcleos de congelación suelen ser sales o elementos arcillosos que presentan una estructura cristalina similar a la del hielo, de ahí su papel activo en la nucleación.

No existe un único proceso de nucleación heterogénea de los cristales de hielo en una nube, tal y como aparece ilustrado en la figura anexa. Ocurre, a veces, que los núcleos de congelación colisionan con una gotita de nube y se forma directamente un cristal de hielo; en otras ocasiones, se forma inicialmente una gotita líquida en torno a uno de esos núcleos de congelación y posteriormente, si baja la temperatura, se congela y forma el cristal de hielo. En el crecimiento posterior (con independencia de cuál haya sido su origen) actúan otros procesos de microfísica de nubes.

La eficacia de la siembra de nubes

El fundamento de la siembra de nubes se basa en lograr introducir de manera artificial en una nube núcleos de congelación para tratar de potenciar la formación de cristales de hielo y que el posterior crecimiento de estos puedan conseguir que la nube genere un contenido de agua precipitable que sin esa siembra no se conseguiría. Sobre el papel parece sencillo, pero en la práctica los resultados no suelen ser los deseados, más allá de algunos éxitos parciales.

La siembra de nubes se concibió al finalizar la II Guerra Mundial en un laboratorio de investigación de General Electric, en EEUU. Allí, el químico Vincent J. Schaefer (1906-1993), junto a su ayudante Bernard Vonnegut (1914-1997), bajo la dirección del Premio Nobel de Química y director del laboratorio, Irving Langmuir (1881-1957), desarrollaron un método de formación de cristales de hielo, que consistía en aportar a un aire cargado de humedad diferentes tipos de partículas (de hielo seco originalmente) que actuaban como núcleos de congelación. Se dieron cuenta de que el yoduro de plata (IAg) era la que actuaba de manera más eficaz. Lo comenzaba a hacer a temperaturas inferiores a los -7 ºC.



Esquema con el impacto teórico de la siembra de yoduro de plata en la microfísica de nubes. Fuente: ETH Zürich.

El sueño de provocar artificialmente precipitaciones parecía que se había convertido en una realidad. Comenzaron a llevar a cabo siembras de esa sal desde avionetas en vuelo y los resultados fueron dispares. En ocasiones, parecía haber una relación causal entre la siembra y la lluvia o nevada que finalmente ocurría, pero no se pudo concluir que el método consiguiera alterar significativamente las condiciones meteorológicas. Se empezaron a realizar campañas en distintos países y siguen haciéndose en la actualidad, habiendo algunos países que invierten muchos recursos en estas técnicas.

¿En qué punto estamos? ¿Es eficaz la siembra de nubes? ¿Se puede hacer llover o nevar en un lugar donde no lo haría si no lleváramos a cabo estas técnicas? Estos métodos tienen grandes limitaciones. El efecto de alteración es muy pequeño, nulo en muchos casos, sin que se obtenga el resultado esperado. Los incrementos en la precipitación que se han llegado a cuantificar en algunas de las campañas rara vez superan el 10-15%.

Todo esto supone un logro, sin duda, pero no es algo que con cada siembra esté garantizado. Las circunstancias en cada momento en la atmósfera son distintas, lo que hace que los procesos de microfísica de nubes implicados se combinen de forma diferente en cada ocasión. Sigue siendo un reto mayúsculo (probablemente inalcanzable) crear nubes a la carta y modificar la dinámica atmosférica a nuestro antojo.