

# Cómo hacer llover

VICTOR M. RAMOS GONZALEZ \*

**R**ecientemente se empezó a hablar de siembra de nubes, y de que es posible hacer llover artificialmente, ¿qué hay de cierto en ello?

Los trabajos que se realizan bajo esos nombres, tienen como finalidad incrementar la precipitación natural, pero en ningún momento se hace "llover artificialmente". El trabajo consiste en depositar dentro de la nube ya formada y en crecimiento, elementos químicos llamados nucleantes, y a eso se le llama "sembrar", pero no para producir nubes, sino para facilitar la formación de gotas de lluvia dentro de la nube y propiciar la precipitación.

¿Cuándo se iniciaron estos trabajos?

Hace poco tiempo. Se puede decir que se han desarrollado científicamente a partir de la década de los 40.

Entonces, ¿ya existían antes?

Desde que el hombre dependió de los ciclos de lluvia, ha intentado modificar las condiciones meteorológicas para su beneficio, recurriendo para ello, en primera instancia, a la creación de "Deidades", a las que asignaron la capacidad de provocar la lluvia, como por ejemplo: Tláloc, Chaac, San Isidro Labrador, entre otros; se debe destacar también, a las danzas de los Indios del suroeste de Estados Unidos.

Esas prácticas, ¿se pueden considerar métodos para provocar lluvia?

En su tiempo, y aún en algunas culturas, lo son y siguen practicándose; sin embargo, no son métodos científicos.

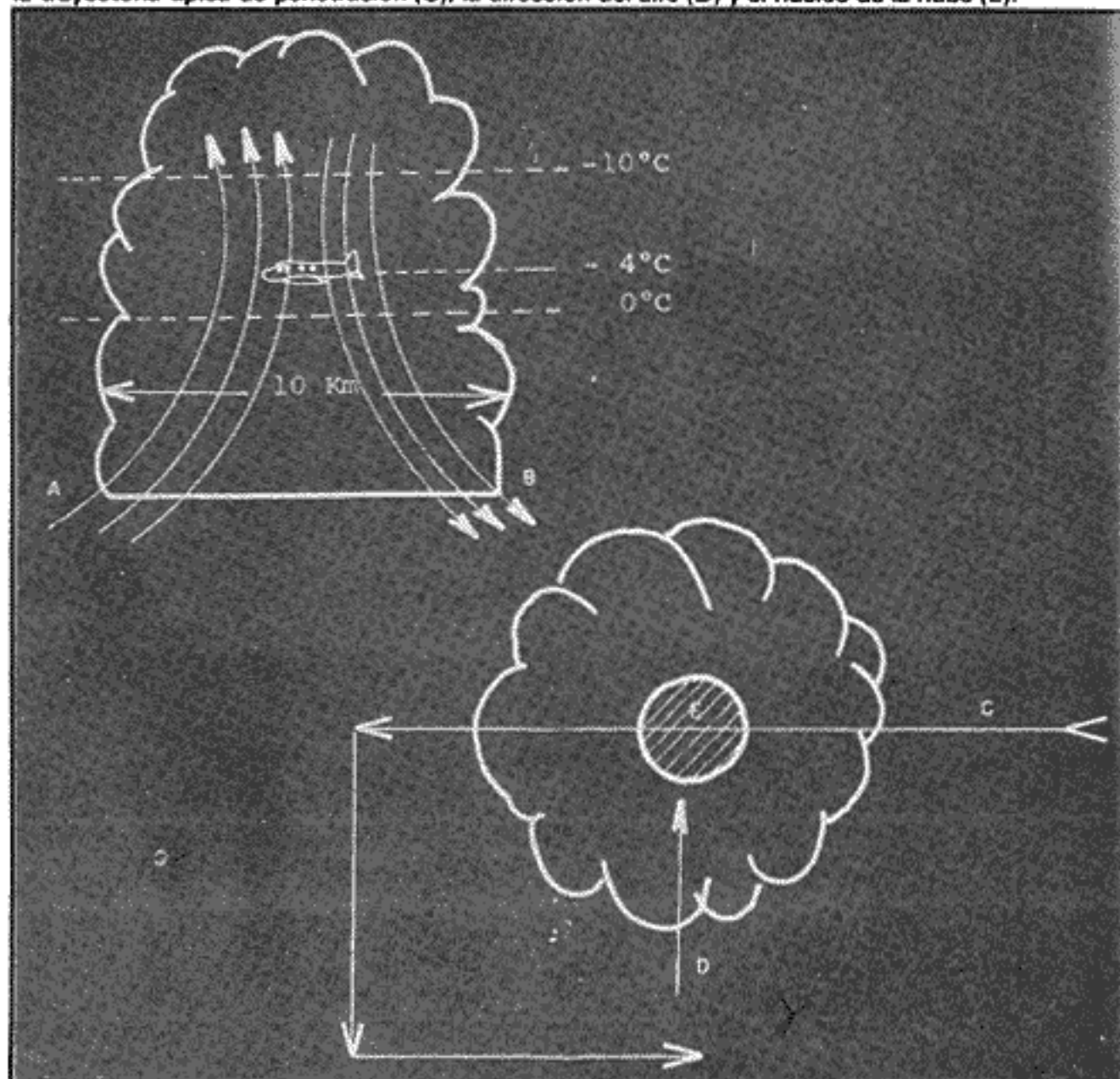
\* Investigador del Departamento de Estimulación de Lluvia, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

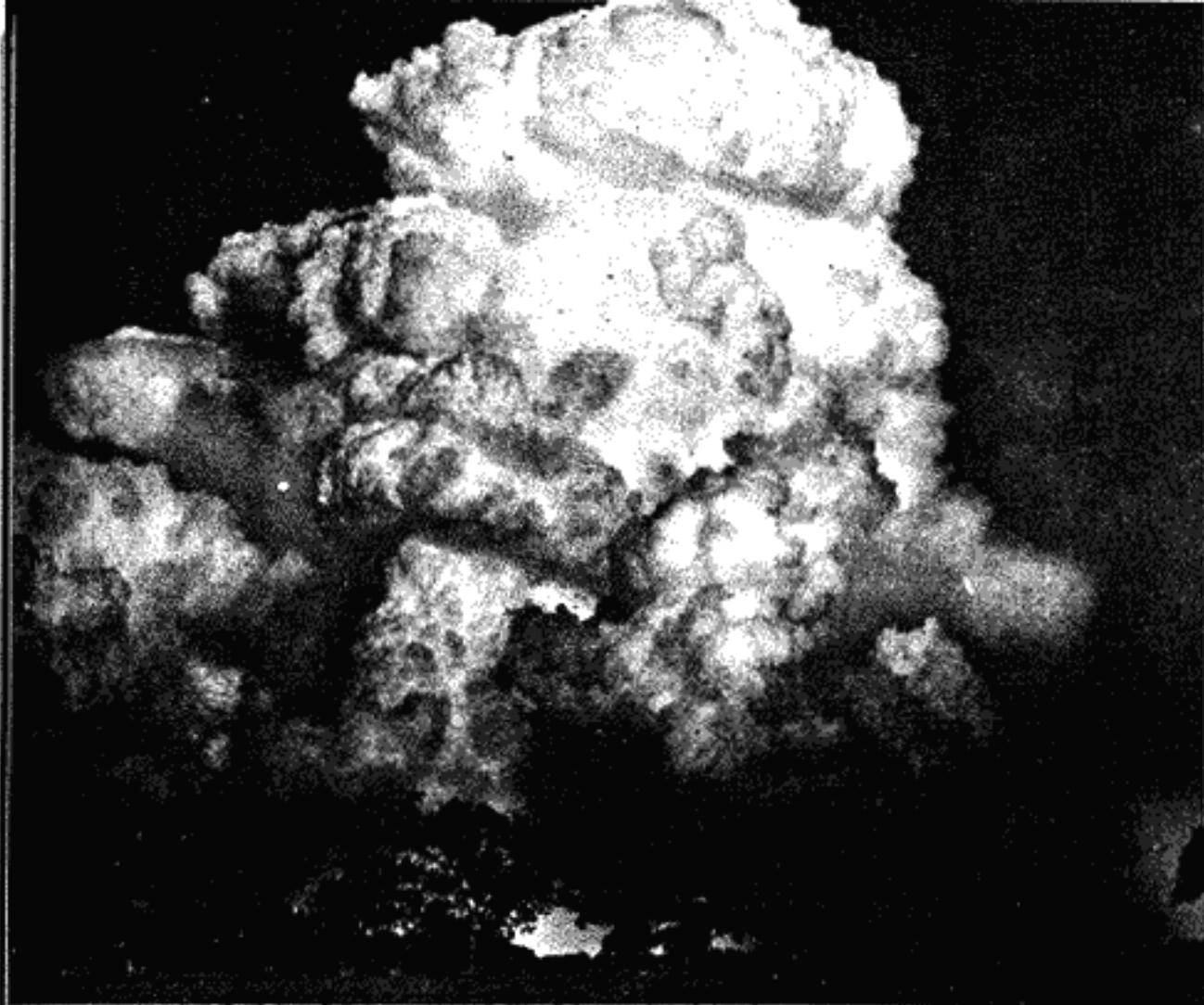
Cuáles son los métodos actuales?

Hay varios, pero los más conocidos y usados se pueden separar en dos grandes grupos: el dinámico y el estático. Se le llama dinámico, porque después de tratado el sistema nuboso, presenta un marcado incremento en su desarrollo vertical. El método estático sólo aumenta la eficiencia de la nube (eficiencia para producir gotas de lluvia) sin alterar su desarrollo.

El método dinámico se auxilia de un avión, el cual se eleva hasta tener el registro de una temperatura de  $-4^{\circ}\text{C}$ ; ahí se estabiliza, para buscar algún cúmulo con desarrollo vertical, al cual se penetra, para disparar dentro de él un cartucho de Yoduro de Plata ( $\text{AgI}$ ), que puede ser de 10 ó 20 gramos, según la magnitud de la nube. El disparo se efectúa dentro de la corriente ascendente, quien se encarga de esparcirlo en toda la nube

Fig. 1 De perfil, el esquema muestra la ubicación del avión en el umbral de temperatura y las corrientes ascendentes (A) y las descendentes (B); en la vista de planta se ilustra la trayectoria típica de penetración (C), la dirección del aire (D) y el núcleo de la nube (E).





Los cúmulos con desarrollo vertical son los más propicios para disparar dentro de ellos los cartuchos de yoduro de plata o dispersar hielo seco.

(ver fig. 1), generándose millones de cristales de hielo que coadyuvan a la precipitación.

El método estático se lleva a cabo con dos tipos de operación, uno por medio de quemadores fijos en tierra (quemadores de Ag I); el otro, con auxilio de un avión, desde donde se "queman bengalas", las cuales contienen 70 gramos de yoduro de plata.

El sistema de quemadores en tierra se usa preferentemente en las laderas de las montañas (ver fig. 2), donde se instala la red de quemadores, aprovechando las corrientes ascendentes que sirven de vehículo a las plumas de humo de yoduro de plata, para alcanzar las nubes que coronan a la montaña. El otro sistema se lleva a cabo en las espesas capas de estratos, dentro de los cuales el avión vuela en dirección contraria al viento, quemando una bengala, que dura encendida 20 minutos.

Estos métodos, ¿se usan en cualquier tipo de nubes?

A las nubes las dividimos (para el trabajo de estimulación de lluvias) en dos tipos: calientes y frías. Las nubes frías son las que contienen agua y aunque se encuentren a un nivel donde la temperatura es menor a 0°C, el agua no se congela, pero está "super enfriada", y por lo tanto a la nube se le llama fría o superenfriada. Estas nubes presentan cristales de hielo antes de precipitarse, mientras que las nubes calientes no presentan en ninguna de sus etapas de desarrollo cristales de hielo, o bien, su

desarrollo no alcanza el nivel de los 0°C.

Para que el yoduro de plata actúe como un nucleante, la temperatura debe ser menor de -2°C. El umbral de temperatura para que el Ag I sea efectivo, y la siembra dé resultados positivos, es entre -4°C y -10°C, por lo cual se escogen nubes frías para tratarlas con este método.

¿El yoduro de plata es el único nucleante artificial para estimular la lluvia?

No; se usan o han usado otros nucleantes, tales como la sal común, el hielo seco y sales de plomo, entre otros; de éstos, los de mayor uso son el

yoduro de plata, del cual ya hablamos. El hielo seco se emplea para sembrar nubes calientes.

¿Qué ventajas presentan entre sí?

Hay varias, entre ellas está el fácil manejo. El Ag I, se lleva en cartuchos de 10 ó 20 gramos, o en bengalas de 70 gramos y cada uno de ellos sirve para tratar un sistema. El avión está equipado para transportar hasta veinticuatro de estos elementos en cada vuelo, pudiendo hacerse combinaciones en el número de bengalas y cartuchos de diferente peso; en cambio, se requieren del orden de toneladas de hielo seco para sembrar un solo sistema nuboso, lo cual hace este método poco versátil y muy costoso.

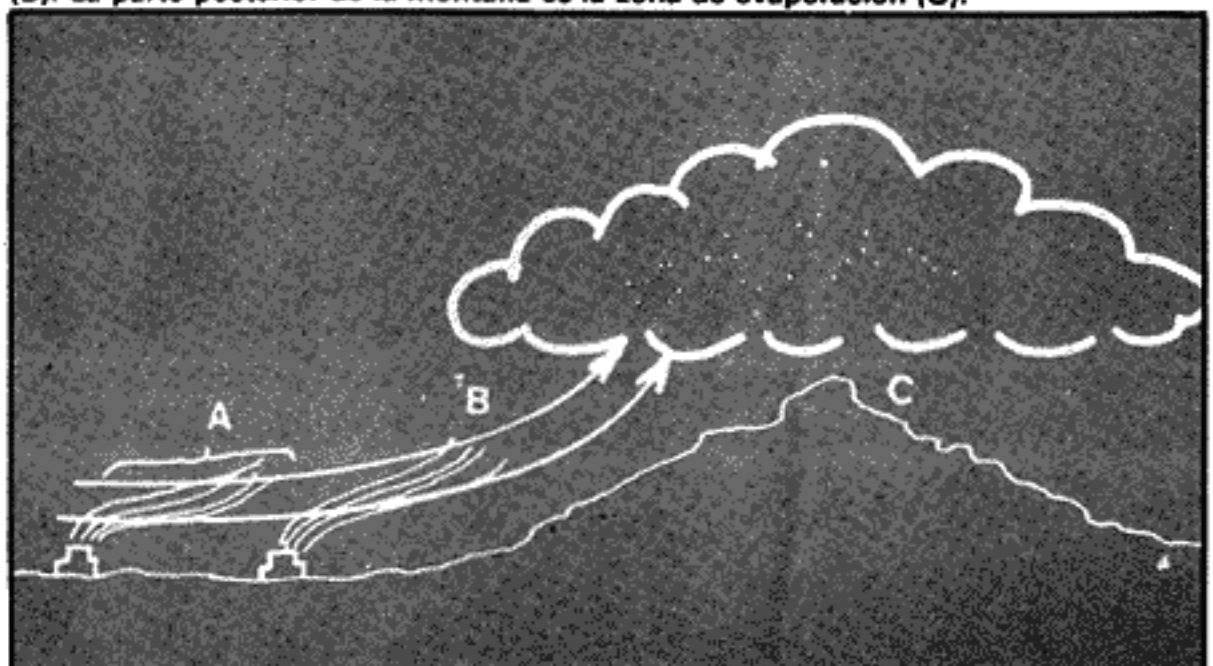
¿Qué es un nucleante?

Un nucleante es una partícula sólida, cuyos radios miden de  $10^{-8}$  a  $10^{-2}$  cm., y se clasifican en: núcleos de Aitken, de radios entre  $10^{-8}$  y  $10^{-5}$  cm.; núcleos grandes, de radios entre  $10^{-5}$  y  $10^{-4}$  cm., y núcleos gigantes cuyos radios comprenden  $10^{-4}$  a  $10^{-2}$  cm. o más y se encuentran flotando dentro de la nube. Se llama nucleante porque en su superficie se agregan gotas de vapor y forman una gota de nube. Se necesitan alrededor de ocho millones de gotitas de nube para formar una gota de lluvia, que puede medir 5 mm.; con este tamaño la fuerza de gravedad actúa sobre ellas y se produce la precipitación. Todo a partir de un núcleo.

Los núcleos naturales pueden ser cristales de sal provenientes de mares u océanos, o bien arcillas finísimas como el caolín, que por su finura es fácilmente arrastrado y transportado por las corrientes ascendentes de aire caliente.

Para que un nucleante sea efectivo,

Fig. 2 Red de quemadores (A) instalados en el curso de una corriente de aire ascendente (B). La parte posterior de la montaña es la zona de evaporación (C).





debe ser higroscópico o mojable, condición necesaria para que actúe como nucleante de gotas de lluvia; las cualidades mencionadas se copian para fabricar núcleos artificiales, que se depositan dentro de la nube.

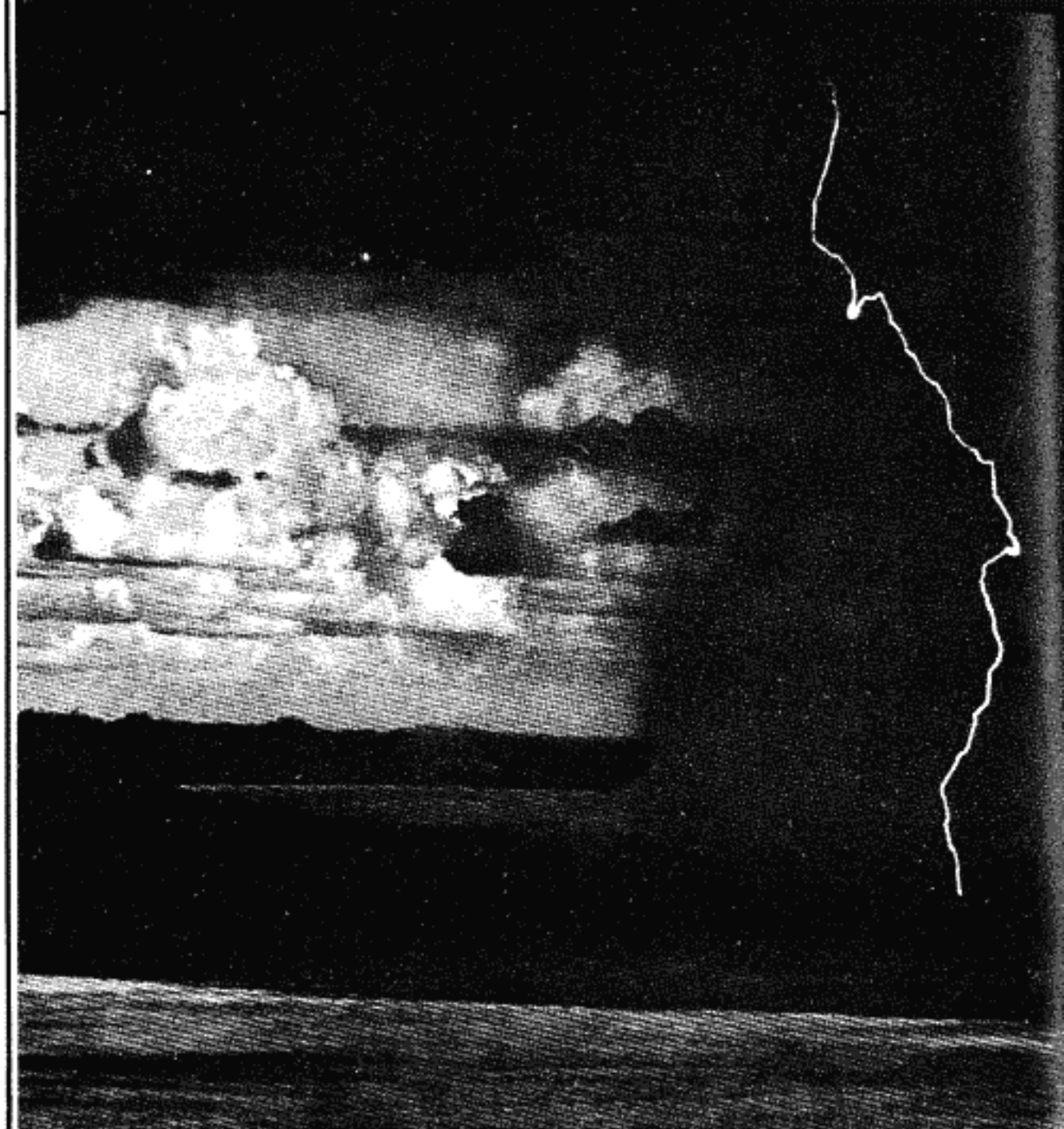
**¿Cuál es la reacción cuando se deposita un nucleante en una nube?**

El nucleante es un "señuelo" con el que se engaña a la nube. Como dije anteriormente, la nube necesita la presencia de gotas de nube, lo cual no se puede hacer artificialmente, pero la nube al registrar algunos núcleos dentro de ella, no sabe si son naturales o no, y empieza a reproducirlos hasta saturarse, momento en el cual se produce la precipitación. Cuando se trata un cúmulo en sistema, la nube reproduce por sí misma los núcleos (éstos son de hielo) rápidamente y su tamaño se incrementa en unos minutos. Para que esto suceda, recoge de sus alrededores la humedad que en condiciones naturales no hubiera requerido, puesto que su desarrollo no sería tan violento, y gracias a ello, la precipitación puede incrementarse hasta un 15%.

**¿Puede describir cómo son las operaciones de estimulación dinámica de lluvia?**

Para la estimulación dinámica, se requiere primordialmente de una aeronave. En México, usamos aviones CESSNA 310 y 421, bimotores de turboélice, equipados con radar meteorológico, sistema de conectores, disparador de los cartuchos y consola de mando de los cartuchos (llamados pirotécnicos). La tripulación se compone de un piloto, un copiloto y dos técnicos en estimulación de lluvia.

Antes de iniciar las operaciones, ya se tiene determinada la zona blanco, es decir, el área sobre la cual se van a tratar las nubes. El área debe estar dentro de parteaguas para aprovechar al máximo los escurrimientos de la



La precipitación de la nube se observa 35 minutos después de depositado el nucleante, pero la evaluación requiere de un período de trabajo continuo en la misma área que puede comprender de cinco a veinte años.

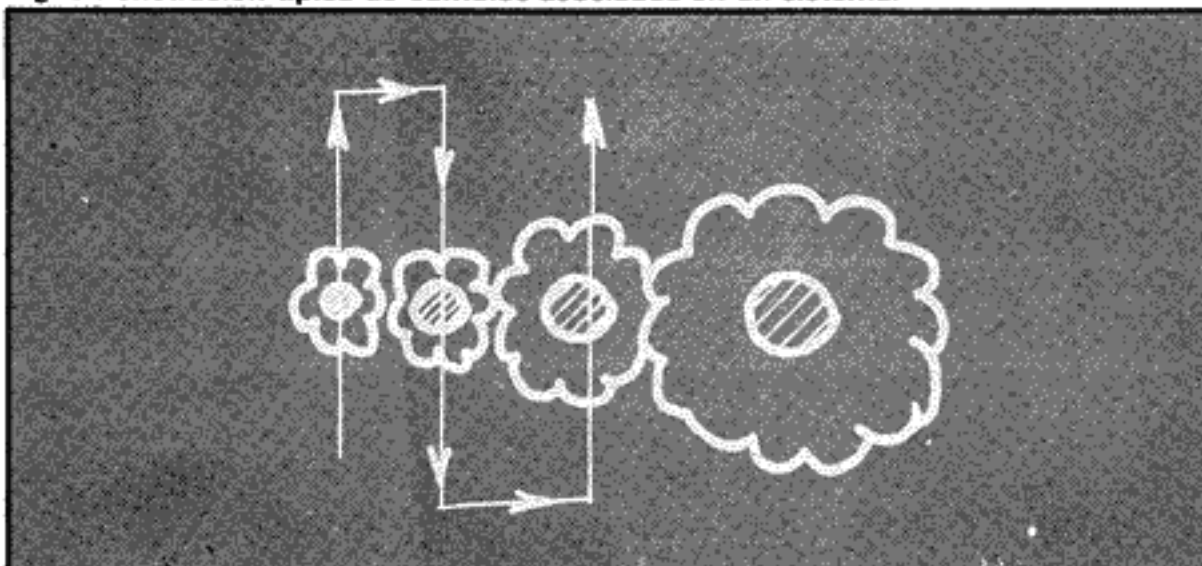
precipitación, por lo cual hay que tomar en cuenta los almacenamientos naturales o artificiales donde depositar el agua de lluvia dentro de la zona blanco.

Las operaciones requieren de un gran apoyo meteorológico, debiendo empezar éste con un estudio histórico de la zona. Para la operación en tierra, se cuenta con fotografías de satélite meteorológico, donde se observan los frentes fríos o calientes y la nubosidad. Se cuenta con tres fotografías tomadas a diferente hora, y

con ello se aprecia la dirección que estos fenómenos siguen, con lo que se concluye, si afectan o no nuestra área de trabajo; asimismo, se ubican las zonas de baja presión que pueden evolucionar hasta convertirse en un ciclón de mucha importancia por la humedad que transporta. Además, se cuenta con el análisis de las condiciones meteorológicas diarias de todo el país, y en especial de la zona de trabajo, siendo el resumen de éste, el pronóstico de favorabilidad para la siembra, y la hora más propicia para efectuar el vuelo.

Toda la información debe comunicarse a las diferentes bases antes de salir, (normalmente se despegan entre las 14:00 y las 14:30 hrs.). Cada base informa sobre las operaciones del día anterior (se reporta a una oficina central en el D. F., que es la que envía los datos meteorológicos), con lo cual se establece una relación de envío y recepción de datos, fotografías de satélite y reportes escritos. Esto se lleva a cabo con el facsimil (también llamado telefacs o nefacs) que es un aparato conectado a la línea telefónica que al comunicarse a otro teléfono con un aparato similar, transforma la señal telefónica en pulsos eléctricos que se imprimen en un papel

Fig. 3 Penetración típica de cúmulos asociados en un sistema.





termosensible. Con ese aparato se puede enviar y recibir información con la agilidad de comunicación que proporciona el teléfono.

Se cuenta también con el auxilio del radar meteorológico, instalado en tierra, el cual opera durante las 24 horas del día y apoya la operación aérea, orientando a la tripulación hacia los ecos de nube. El radar puede seguir mediante sus observaciones, el desarrollo de la nube después de ser tratada.

Los datos que envía el radar a la tripulación antes de penetrar son: las coordenadas del eco; a qué altura se encuentra la base de la nube; el espesor a determinada altura; la altura probable de la cúspide; contenido probable de humedad y las características del núcleo. Con esa información, el sembrador (uno de los técnicos en estimulación) indicará al piloto el rumbo a seguir para localizar el sistema nuboso.

La parte del trabajo aéreo es la siguiente:

El responsable de la operación es el sembrador; él dispara y selecciona los sistemas a penetrar; el navegante (otro técnico en estimulación) se encarga de llevar el registro de la temperatura durante el ascenso; ubica en un plano de la zona blanco el número de disparos y la hora en que se efectuaron. La función del piloto es mantener al avión en forma horizontal, dentro de la nube, dejando que las corrientes ascendentes y descendentes suban o bajen al aparato; el copiloto está sólo para ayudar al piloto cuando él lo considere necesario.

Cuando el sembrador elige algún sistema, tiene en cuenta lo siguiente: no debe ser pequeño ni aislado, debe presentar un desarrollo vertical vigoroso, base plana (si es que se puede ver), la cúspide no debe tener desgarramientos; hay que penetrarlo perpendicularmente a la dirección del viento.

Ya que se eligió el sistema a tratar, la nave va hacia él, apuntando el haz del radar del avión (para efectos de comunicación con el radar en tierra, al avión se le denomina "radar móvil", para observar las características y comportamiento al nivel de vuelo y analizar el núcleo de la nube, en lo que respecta a diámetro y energía.

Ante un gran sistema nuboso (pueden extenderse en áreas de más de 50 km<sup>2</sup>), no pueden verse a simple vista todas las torres que están en desarrollo, y no siempre éstas presentan núcleo, o bien los núcleos son muy grandes y por ello peligrosos si se les penetra. El radar cuenta con seis rangos de alcance, que son 5, 10, 20, 40, 80 y 160 millas náuticas; la operación de escudriñar la ruta la efectúan el piloto y el sembrador de la siguiente manera:

Ubican en la pantalla el primer cúmulo a penetrar, analizando las características del núcleo o de los núcleos, eligiéndose penetrar al menor (un núcleo bien definido en la pantalla, indica que ahí se encuentra granizo, nieve y gotas de lluvia y ya está precipitando o está por precipitar) que es el que se está desarrollando y se puede estimular. Conforme se aproximan al objetivo, reducen la escala del radar, hasta analizarlo a 5 millas, después la escala se pasa a 20 millas, después la escala se pasa a 20 mn. (millas náuticas) para saber qué hay detrás del sistema a penetrar; posteriormente, la escala se varía a 40 y 80 mn.; en caso de presentarse varios núcleos, se traza el plan de vuelo para penetrar, salir y penetrar otro sistema (ver fig. 3), sin correr el riesgo de "encerrarse" en los diferentes núcleos y no someter al avión a condiciones de rudeza en forma innecesaria.

La precipitación de la nube se observa a los 35 minutos de depositado el nucleante, pero la evaluación requiere de un período de trabajo continuo en una misma área, que puede comprender de cinco a veinte años. La estadística de los experimentos durante este tiempo indicará si la precipitación se ha incrementado. Algunos países como Israel, que ya lo han hecho, concluyeron que la precipitación se incrementa en un 15 %.

## BOLETIN DE ENSEÑANZA

El Boletín de Enseñanza es una publicación bimestral del Departamento de Física que tiene como propósito difundir entre profesores y estudiantes de Física y Matemáticas, temas de interés para la enseñanza de estas dos disciplinas a nivel superior y medio superior, principalmente. Colaboran con esta revista, estudiantes y profesores de la Facultad de Ciencias, profesores de Preparatoria y CCH e investigadores de centros e institutos de la UNAM. Es una revista abierta a todo el público interesado en difundir sus ideas, preocupaciones y experiencias relativas a la enseñanza de la Física y las Matemáticas, que tiene amplia circulación en nuestro país y que también llega a algunos otros lugares de América, Europa y Asia.

Su distribución es gratuita y puede solicitarse al Centro de Enseñanza de la Física, 2º piso del Departamento de Física, Facultad de Ciencias, UNAM, Apartado Postal no. 70-542, México, D. F., 04510, México.

