

# SITUACION ACTUAL DEL CONTROL DE LA PRECIPITACION

Por M. NEIBURGER

El reconocimiento por la OMM del interés general y de la importancia económica y social de la estimulación artificial de la lluvia lo demuestra el hecho de que la primera Nota Técnica de la OMM versase sobre este tema y el que poco después, en 1955, se presentase un estudio más amplio en la Nota Técnica N.º 13, *Artificial control of clouds and hydrometeors* (El control artificial de las nubes e hidrometeoros). Esta última Nota está agotada. La necesidad por parte de la OMM de la puesta al día del tema para información y guía de las naciones Miembros y particulares, ha conducido a la preparación de una revisión de la Nota Técnica núm. 13 \*. En ella se hace una recapitulación de los conceptos fundamentales relativos a los procesos físicos en las nubes que no han sido alterados por una nueva información, así como también de los progresos en la materia resultantes de la investigación y ensayos durante los últimos catorce años. Aún cuando desde la publicación de la Nota Técnica número 13 se ha llegado a disponer de una gran cantidad de nuevos datos y se han esclarecido puntos relativos a la efectividad de los intentos de modificación, las conclusiones son esencialmente las mismas.

La modificación del tiempo o del clima ha sido propuesta en todas las escalas, desde el medio ambiente local de los cultivos a través de nubes aisladas, hasta las depresiones migratorias y anticiclones que constituyen los sistemas meteorológicos principales de las latitudes medias y las circulaciones globales generales de la atmósfera. Solamente en la menor de estas escalas la esperanza de éxito ha sido suficiente para conducir a la continuación de programas activos.

Las medidas para controlar el microclima de las plantas mediante dispositivos tales como cortavientos y estufas de huerto, han formado parte durante años de las prácticas normales agrícolas con un considerable éxito. El control de las nubes y de la precipitación, tema de la nueva Nota como lo fue de la número 13, está sujeto a un grado de certidumbre enormemente menor que las técnicas con las que puede lograrse y la cuantía del éxito conseguido hasta ahora.

## *Aspectos teóricos de la siembra de nubes*

La mayoría de los lectores están familiarizados con el hecho de que tanto en el laboratorio como en el campo, las experiencias han mostrado que me-

---

(\*) El autor de esta revisión, publicada por la OMM como Nota Técnica N.º 105 —*Artificial modification of clouds and precipitation*— (Modificación artificial de las nubes y de la precipitación), ha sido el profesor Neiburger.

dante la *siembra* pueden transformarse las características de ciertos tipos de nubes. En particular, si se trata de nubes compuestas de gotas líquidas a temperaturas suficientemente inferiores a 0° C, la introducción de anhídrido carbónico sólido (nieve carbónica o hielo seco) u otros materiales nucleantes tales como el yoduro de plata, las transformará en nubes de cristales de hielo, no siendo en cambio tan seguro cuáles serán las consecuencias de esta transformación. Si lo que se pretende es la disipación de niebla subfundida o de estratos durante cortos períodos de tiempo para permitir el aterrizaje de aviones, es probable que se consiga. Si el efecto deseado es el aumento de la precipitación, la supresión del granizo, la reducción de los rayos o la disminución de los vientos destructores que acompañan a las tormentas, la seguridad relativa a la probabilidad de lograrlo es contradictoria o incierta.

Desde el punto de vista teórico, la siembra de nubes puede producir un aumento en la cantidad de precipitación sobre la que se produciría normalmente bajo ciertas circunstancias, aunque bajo otras puede resultar una disminución. Si bien a lo largo de años de investigación y experimentación se han aclarado algo estas circunstancias, no es todavía posible predecir *a priori* cuál será el efecto en un caso determinado.

Las razones físicas por las que uno esperaría en determinadas circunstancias un aumento y en otras una disminución, están relacionadas con el mecanismo completo de producción de nubes y lluvia. Este mecanismo tiene dos aspectos. En primer lugar, la formación general de las nubes y de la precipitación está relacionada con la dinámica y la termodinámica del flujo de aire húmedo y en particular con aquellos factores que determinan la cuantía de su ascenso y de su enfriamiento adiabático que dan por resultado la condensación. En segundo lugar, el desprendimiento de precipitación y el ritmo con el que el agua condensada en las nubes se transforma, de minúsculas gotitas sostenidas por el movimiento ascendente, en las grandes partículas de precipitación que pueden caer sobre el terreno, depende de los procesos microfísicos de crecimiento de las gotas por colisión y coalescencia o por el proceso *trifásico* (Bergeron-Findeisen). La siembra puede influir en los procesos dinámicos y microfísicos en una u otra dirección.

Como un ejemplo de la influencia en los procesos dinámico-termodinámicos considérese el crecimiento de los cúmulos debido a corrientes convectivas inducidas por el calentamiento solar. La siembra puede dar lugar a que la precipitación comience en una fase de su desarrollo anterior a la que ocurriría en su ausencia, pero en vez de aumentar así la cantidad total de precipitación, su iniciación anticipada podría detener el crecimiento posterior de las nubes y proceder la lluvia de nubes más pequeñas con cantidades totales subsiguientes menores. Bajo otras circunstancias puede esperarse que el desprendimiento del calor latente de fusión debido a la siembra aumente la inestabilidad hidrostática y produzca corrientes ascendentes más intensas y mayores cantidades de precipitación.

Con respecto a los procesos microfísicos uno puede del mismo modo formular las condiciones bajo las cuales los núcleos de congelación que se presentan naturalmente se encuentran en número óptimo para desprender la mayor cantidad posible de precipitación. La introducción de núcleos adicionales artificialmente daría lugar a una resiembra y a una reducción en

la cantidad de precipitación. Si, como parece que ocurre frecuentemente, hay una falta de núcleos naturales, la introducción de núcleos de congelación adicionales incrementaría la eficiencia del proceso de precipitación y aumentaría la cantidad de la misma.

### *Resultados prácticos*

Esta posibilidad teórica de que la siembra disminuya la cantidad de precipitación en ciertas condiciones y la aumente en otras, está confirmada por las experiencias de siembra realizadas en el campo. La evaluación de los efectos de la siembra es difícil porque se desconoce lo que hubiera ocurrido en su ausencia. Un método que se ha utilizado con profusión, particularmente en la evaluación de las operaciones comerciales de aumentos de precipitación, es la correlación zona blanco-zona de control. Es este procedimiento se compara la precipitación sobre una zona próxima al blanco, que se asemeje a ella tanto como sea posible, con la precipitación sobre la zona blanco. Este método ha estado sometido a severas críticas por los estadísticos quienes han señalado numerosas posibles fuentes de falta de objetividad. En su lugar han recomendado con ahinco la realización de experiencias al azar. En un experimento aleatorio, después de haber determinado que una situación es favorable para la siembra, por ejemplo que es propicia para aumentar la precipitación, se usa un proceso al azar, equivalente a lanzar una moneda al aire, para decidir si la siembra deberá o no llevarse a cabo. De esta forma los días de experiencias se dividen en dos grupos, uno con siembra y otro sin siembra, y el efecto de la siembra puede estimarse comparando la cantidad de precipitación en los dos grupos de días.

Se ha llevado a cabo recientemente una revisión de las experiencias aleatorias de aumento de la precipitación que ya han sido realizadas. De las 23 revisadas, solamente seis mostraron cantidades mayores de precipitación en los días sembrados que en los no sembrados, con un elevado nivel de probabilidad de que el aumento aparente no sea debido al azar. En diez hubo disminuciones imputables a la siembra, con un elevado nivel de significación estadística. En las siete restantes pareció no haber efecto o el aparente pudo ser atribuido a variaciones del tiempo debidas al azar.

En contraste con los resultados de las experiencias al azar, un nuevo análisis, efectuado por un grupo de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, de 18 operaciones comerciales de siembra, mostró incrementos del 5 al 57 por 100 en 17 de ellas, con solamente una sin aumento. A partir de estos datos y de otras evidencias el grupo concluyó que «A pesar de la imposibilidad de evaluación cuantitativa rigurosa de todos estos resultados operativos, cuando se tomaron en conjunto y apoyados por los resultados provisionales de algunos proyectos experimentales, parecen sugerir que aumentos de precipitación del orden del 10 por 100 pueden ser estimulados bajo ciertas condiciones meteorológicas con siembras de yoduro de plata».

Si bien ha sido puesta en tela de juicio la validez de llegar a esta conclusión partiendo de una serie seleccionada de operaciones comerciales, dicha conclusión no contradice los resultados de las experiencias al azar siempre que se añada que bajo tales condiciones meteorológicas pueden estimularse disminuciones y que incluso bajo otras puede no producirse ningún efecto.

Para completar deberá añadirse, además, que las condiciones específicas, bajo las que resultará uno u otro de estos efectos, no son conocidas y, en particular que no puede predecirse el efecto que se producirá.

Por ejemplo, en una de las recientes experiencias al azar, *Project Whitetop*, personal altamente calificado de la Universidad de Chicago utilizó las mejores técnicas disponibles en la selección de situaciones favorables para aumentar la precipitación mediante la siembra y para realizar la misma. Sin embargo, el resultado fue que la precipitación era un 30 por 100 inferior en los días sembrados que en lo no sembrados sobre las zonas centrales de la zona-blanco, y 21 por 100 inferior para la totalidad de las 100.000 millas cuadradas afectadas por la siembra. Esta reducción supone una tremenda pérdida de agua como resultado de un intento para aumentarla.

Además de los intentos de modificar los procesos de precipitación introduciendo núcleos de congelación para iniciar el crecimiento de las partículas en las nubes con gotas líquidas a temperaturas inferiores a 0° C, ha habido intentos de influjo en el crecimiento de las gotas en nubes calientes mediante la introducción de gotas de suficiente tamaño para crecer por colisión y coalescencia. En algunas experiencias realizadas con este fin, dispersando partículas de sal o de solución salina, en el interior de las corrientes ascendentes de los cúmulos, se han reseñado éxitos en el logro de aumentos de precipitación de un 20 por 100 aproximadamente.

### *Otros tipos de modificación del tiempo*

Aunque en las experiencias de modificación del tiempo se ha concedido la máxima importancia al intento de aumentar la precipitación, también se ha realizado mucho trabajo sobre la disipación de la niebla y supresión del granizo y de tormentas.

La disipación de la niebla subfundida, es decir, compuesta de gotas líquidas a temperaturas inferiores a 0° C, ha llegado a ser una práctica que se realiza con éxito en varias partes del mundo. Se consigue, o bien sembrando con gránulos de nieve carbónica (CO<sub>2</sub> sólido) desde avión o mediante el desprendimiento de propano líquido a través de orificios de expansión a nivel del suelo. El despeje resultante de las pistas de los aeropuertos para hacer posible el aterrizaje de los aviones se estima que produce beneficios económicos de unas cinco veces el coste.

Los intentos de disipar nieblas cálidas a temperaturas superiores a 0° C, no han conducido todavía a una técnica económica eficaz.

La supresión del granizo se ha intentado durante años mediante cohetes, con resultados dudosos. La siembra con ioduro de plata desde generadores instalados sobre el terreno ha producido igualmente resultados negativos o

dudosos. Sin embargo, en la U. R. S. S. se han desarrollado métodos a los que se atribuye un alto grado de eficacia. Estos métodos se basan en teorías que identifican la porción de la nube tormentosa en la que se forma el granizo. Usando el radar para localizar los centros productores de granizo y proyectiles de artillería o cohetes para introducir grandes cantidades de núcleos de congelación (ioduro de plata) rápidamente y con precisión en su interior se evita, según esta teoría, la formación de piedras de granizo. Estimaciones de la reducción, por este procedimiento del año debido al granizo, indican que oscila del 50 al 90 por 100. Puesto que las operaciones no han sido planeadas al azar es difícil apreciar la validez de estas pretensiones.

### *Recomendaciones*

La nueva Nota termina con algunas recomendaciones. Se señala que para decidir si debe emprenderse un programa de modificación del tiempo habrá que sopesar los beneficios potenciales frente al coste y riesgos involucrados. Además de los costes operativos es necesario considerar la posibilidad de obtener el efecto opuesto del que se desea, como por ejemplo una disminución en lugar de un aumento en la precipitación.

La necesidad más urgente es encontrar medios de identificar las circunstancias en las que técnicas especiales de modificación del tiempo producirán los resultados que se precisan y determinar las técnicas óptimas para producirlos. La investigación y experimentación con estos objetivos a la vista siguen a un ritmo creciente. A la vista de los beneficios sociales y económicos que resultarían del control del proceso de la precipitación quedan garantizadas actividades crecientes de este tipo.

Un método prometedor para las investigaciones de modificación del tiempo es el empleo de modelos de la dinámica y de la microfísica de las nubes y de la precipitación usando calculadoras electrónicas de alta velocidad. Cuando estos modelos sean más completos y estén más de acuerdo con la realidad, será posible comprobar los efectos de una diversidad de tratamientos de varias situaciones meteorológicas sin tener que esperar a que realmente ocurran repetidamente en la naturaleza o a ser medidas mediante costosos sistemas de observación. Hasta ahora los modelos son muy simples, pero ya han dado algunas indicaciones de las orientaciones que deberá seguir la experimentación en el campo.

Puede imaginarse la situación final del proceso de control del tiempo en la que las observaciones son introducidas automáticamente en las calculadoras que las elaboran para formular predicciones de las condiciones que se desarrollarían sin tratamiento. Sobre la base de criterios de beneficios sociales, económicos y estéticos las calculadoras determinarían entonces el procedimiento requerido para producir las condiciones del tiempo óptimas para el mayor número posible de personas y automáticamente se pondrían en marcha generadores de núcleos u otros dispositivos para dar el tratamiento requerido. Estamos muy lejos de tal situación y quizá nunca se logre, pero con la esperanza de un gran bienestar social y de un beneficio económico resultantes del éxito, deberán continuarse los esfuerzos para alcanzar estos objetivos tan rápidamente como lo permitan métodos científicos ortodoxos.