

# Sembrando el cambio en la modificación artificial del tiempo a nivel mundial

por Lisa M. P. Munoz<sup>1</sup>



Los programas operativos para modificar artificialmente el tiempo –entre los que están incluidos los diseñados para disipar la niebla, estimular las precipitaciones de lluvia y nieve, y disminuir el granizo– están teniendo lugar en más de 50 países a lo largo del mundo. Desde el descubrimiento a finales de la década de 1940 de que los cristales de yoduro de plata pueden formar cristales de hielo en vapor de agua, los científicos han estado trabajando para comprender cómo alterar la manera en que el agua se forma y se mueve dentro de una nube. A pesar de décadas de investigación, un profundo escepticismo rodea todavía a la siembra de nubes, debido, en parte, al reto de verificar la eficacia de la técnica –estableciendo causa y efecto– dada la complejidad y variabilidad de los sistemas meteorológicos.

Caliente o fría, contaminada o limpia, sobre una montaña o sobre un campo, las características de una nube son esenciales para el éxito o el fracaso en los esfuerzos de sembrar nubes. Los meteorólogos disponen de nuevas

herramientas para estudiar y comprender las nubes y su modificación con mayor precisión que nunca, y las nuevas tecnologías como la nanotecnología están ampliando las posibilidades en este campo. Reforzados por un impulso internacional para investigar y financiar fuentes de agua seguras, los científicos están trabajando cuidadosamente para modernizar la producción de lluvia para el siglo XXI.

“El agua es el sustento básico de la vida en la Tierra, siendo el agua y el aire que respiramos los dos problemas principales en este siglo”, dice Roelof Bruintjes, del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR) de los Estados Unidos de América y presidente del Equipo de expertos sobre modificación artificial del tiempo de la OMM. “Mejorar nuestra comprensión de los procesos que tienen lugar en las nubes y en la precipitación es la prioridad número uno y cuanto mejor los comprendamos, mejor podremos ejercer un efecto potencial sobre los procesos nubosos con la siembra de nubes”.

El desafío fundamental de la modificación artificial del tiempo es identificar y localizar las mejores nubes para trabajar en ellas. Sin nubes, estas tecnologías son ineficaces. Aunque “la siembra de nubes podría ser una

<sup>1</sup> Lisa M. P. Munoz es escritora científica y gestora de contenidos de Washington D. C. (Estados Unidos de América), así como exdirectora de prensa y editora de la OMM.

herramienta para aumentar los recursos hídricos, no se trata de un mecanismo 'destructor de sequías' porque necesitamos nubes", dice Bruintjes, cuya primera formación en modificación artificial del tiempo la desarrolló en Sudáfrica. "Nadie puede fabricar o disipar una nube".

"El concepto básico de la modificación artificial del tiempo, especialmente la estimulación de la precipitación, es encontrar un proceso que limite la velocidad de conversión del agua nubosa en precipitación en las nubes naturales, y lograr burlarlo con un nivel mínimo de estimulación artificial", dice Masataka Murakami, del Instituto de Investigación Ambiental Espacial y Terrestre en la Universidad de Nagoya (Japón). "Además, es importante encontrar las nubes que tienen el potencial para precipitar pero no pueden ejercer esa capacidad".

De hecho, como dice Abdullah Al Mandoos, director del Centro Nacional de Meteorología y Sismología en los Emiratos Árabes Unidos: "Cualquier país que cuente con un plan para ejecutar proyectos de siembra de nubes necesita investigar las propiedades físicas y químicas de las nubes frecuentes y disponibles en su territorio".

Parte de la tarea de encontrar las nubes "correctas" depende de la temperatura. Estimular la precipitación exige uno de estos dos enfoques para ayudar a las partículas de agua a chocar, unirse y crecer: la siembra glaciogénica o la siembra higroscópica. La siembra glaciogénica utiliza agentes, tales como el yoduro de plata, que inician la formación de hielo en las "nubes frías", es decir, aquellas con temperatura inferior a 0 °C y presencia de agua subfundida. Debido a que el yoduro de plata tiene una superficie cristalina similar al hielo natural, puede crear hielo en fases más tempranas de la vida de una nube, dándole más tiempo para que crezcan partículas con el tamaño adecuado para su precipitación. En las "nubes calientes", o sea, las nubes convectivas con grandes extensiones por encima de los -10 °C, los científicos pueden usar la siembra higroscópica, generalmente con una sal simple. La sal ayuda a las gotitas de agua a chocar y producir lluvia.

Bien sea para la siembra glaciogénica o para la higroscópica, es esencial determinar si las nubes en una región ya son eficientes o si la siembra puede crear una diferencia. "Los principales métodos de siembra de nubes proporcionan núcleos para que sobre ellos se formen las gotas y los cristales de hielo", comenta Bruintjes. "Si estas partículas ya existen en un tamaño y una concentración óptimos en algunas regiones del mundo, la siembra de nubes no tendría consecuencias".

La localización de las nubes es también muy importante. Las nubes en los trópicos difieren de las nubes en latitudes medias porque la temperatura influye en el funcionamiento de los procesos nubosos. "Además, las nubes en regiones diferentes con niveles diferentes de contaminación pueden también desarrollar precipitación de forma diferente, e incluso en una misma región dependiendo de la contaminación y de un día específico", según Bruintjes. Cualquier cosa que altere las nubes puede afectar a la siembra de las mismas.

Algunos de los casos más satisfactorios de siembra de nubes en el mundo han sucedido en regiones montañosas, con siembra glaciogénica de nubes "orográficas". En estas regiones, las nubes se forman a partir del aire que fluye sobre las montañas. Son un objetivo especialmente atractivo para la siembra de nubes porque los mantos de nieve de las grandes altitudes pueden almacenar el agua de todo el año de una región.

En el Japón, por ejemplo, donde la escasez de agua es un problema pasajero, no crónico, Murakami explica que la siembra glaciogénica de nubes de nieve orográficas puede ser una medida preventiva a final de primavera o principios de verano. Estos programas operativos pueden llevarse a cabo "una vez que el pronóstico a largo plazo de la precipitación se vuelve más preciso y fiable y cuando podemos predecir escasez de agua en un plazo de unos meses", comenta.

Bruintjes y Murakami señalan ejemplos de proyectos de mejora del manto de nieve en Wyoming (Estados Unidos de América) y en las Montañas Nevadas (Australia). En estas últimas, los científicos han utilizado la siembra glaciogénica en frentes fríos al oeste de las montañas. En los meses más fríos se emplean generadores situados en la superficie terrestre para pulverizar una mezcla de yoduro de plata que el viento transporta hacia el este, a las nubes existentes sobre las montañas. Tras analizar los resultados del experimento inicial del período 2005-2009, los investigadores encontraron un impacto positivo, pero no estadísticamente significativo, de la siembra sobre la precipitación de nieve; sin embargo, determinaron que el objetivo de los trabajos de siembra fue "inequívocamente exitoso", con niveles de yoduro de plata más alto en las áreas sembradas con respecto a las no sembradas. Un análisis secundario mostró mejores niveles de materiales sembrados que lo que sugerían las partículas de hielo adicionales y, en consecuencia, un impacto en los procesos de precipitación de nubes. El proyecto continúa a fecha de hoy, mucho más allá de las pruebas iniciales. Algunos

informes indican que la precipitación de nieve ha aumentado hasta el 14%.

Medir el impacto de las iniciativas de siembra de nubes representa un reto. "Generalmente volvemos atrás a un experimento aleatorio de forma similar a lo que suele hacerse en la comunidad médica cuando se prueba un nuevo medicamento", dice Bruintjes. Como en los experimentos médicos, donde no hay dos personas que sean iguales, "ninguna nube es igual que otra, y hay muchos factores que pueden influir en el desarrollo de la precipitación en una nube".

En los 10 últimos años, los experimentos de siembra de nubes se han beneficiado de los avances en los modelos numéricos que pueden simular la siembra con mayor exactitud, así como de contar con mejores herramientas de observación para comprender los procesos físicos que ocurren en las nubes debido a la siembra. Estas herramientas incluyen una mayor capacidad de los satélites para proporcionar imágenes con mejor resolución y radares terrestres y aerotransportados de polarización dual que pueden medir mejor la magnitud de la precipitación.

"Aunque no perfecto, ha sido un gran paso adelante", afirma Bruintjes. "Cuanto mejor sea la predicción del tiempo, mejor podremos predecir un cambio".

Otro miembro del Equipo de expertos sobre modificación artificial del tiempo de la OMM, Andrea Flossmann, del Observatorio de Física del Globo de Clermont Ferrand (Francia), dice que algunos grupos de investigadores han estado trabajando para mejorar los planteamientos estadísticos necesarios para validar el enfoque aleatorio. "Todavía es costoso realizar campañas fiables pues se requiere llevar a cabo numerosas pruebas con nubes, tanto sembradas como no sembradas", comenta.

Uno de estos grupos es el equipo investigador de Murakami, que recibió en 2015 una beca del Programa de investigación de los Emiratos Árabes Unidos para la estimulación de lluvia utilizando el método científico. "Estamos trabajando para evaluar mejor, y en última instancia aumentar, la eficacia de la estimulación de precipitación en regiones áridas y semiáridas a través de una profunda investigación científica compuesta de análisis de datos, experimentos de laboratorio, observación sobre el terreno y modelación numérica", dice. El principal objetivo del trabajo es clarificar las estructuras microfísicas de las nubes adecuadas para la siembra y su frecuencia de ocurrencia sobre las áreas montañosas del este de los Emiratos Árabes Unidos.

## Estimulación de la lluvia en los Emiratos Árabes Unidos

El Programa –dotado con 5 millones de dólares de los Estados Unidos (USD)– de investigación de los Emiratos Árabes Unidos para la estimulación de lluvia utilizando el método científico se lanzó en 2015 como una iniciativa internacional para promover la investigación y la tecnología asociadas a la estimulación de la lluvia. Según su director, Alya Al Mazroui, el programa tiene dos objetivos: impulsar la investigación en materia de estimulación de la lluvia en todo el mundo, y aumentar la precipitación de lluvia en los Emiratos Árabes Unidos y otras regiones áridas y semiáridas en el mundo.

El agua es un tema de crucial importancia en los Emiratos Árabes Unidos, con un ritmo bajo de recarga de sus abastecimientos de agua subterránea de 10 000 años de antigüedad, y con una demanda de agua que se espera doblar en los próximos 15 años según algunas estimaciones. El agua de mar desalinizada supone el 40% del abastecimiento de agua del país. Con el alto coste de la desalinización, los Emiratos Árabes Unidos se han planteado la siembra de nubes como una posible alternativa más económica. En 2016, los Emiratos Árabes Unidos realizaron 177 operaciones de siembra de nubes, la mayoría usando la siembra higroscópica en las montañas orientales en la frontera con Omán para aumentar los niveles en acuíferos y embalses. Según un informe de 2015, una nubosidad mayor de lo normal facilitó que se llevaran a cabo más misiones ese año.

Como parte de su programa de estimulación de la lluvia, los Emiratos Árabes Unidos trabajan para guiar el camino hacia la consecución de mayores inversiones y avances



Programa de investigación de los Emiratos Árabes Unidos para la estimulación de lluvia utilizando el método científico

tecnológicos en la modificación artificial del tiempo. Al Mandoos dice estar orgulloso de “que los Emiratos Árabes Unidos sean un centro de actividad mundial que desarrolla las mejores tecnologías que contribuyen a solucionar el problema de la escasez de agua”.

Además de la beca al equipo de Murakami por mejorar la validación de la siembra de nubes, otros beneficiarios de las becas de 2015 fueron proyectos dedicados “al uso de la nanotecnología para fabricar materiales de siembra más eficientes así como a la modificación de la cubierta terrestre para aumentar las áreas de confluencia y estimular la iniciación por convección”, dice Al Mandoos. Con el uso de la nanotecnología, los investigadores podrían crear potencialmente nuevos productos químicos para la siembra de nubes que imiten mejor la estructura cristalina del hielo en la nanoescala. El equipo del Programa de los Emiratos Árabes Unidos va a trabajar con los premiados durante los tres años próximos para ayudarles a llevar a cabo sus proyectos de investigación.

Al Mandoos, de los Emiratos Árabes Unidos, señala los principios rectores de la OMM para la planificación de las actividades de modificación artificial del tiempo como un recurso importante para los países que buscan mejorar la seguridad hídrica. “Las directrices estipulan que los países que practican la siembra de nubes deben estudiar las nubes sembradas y no sembradas a través de un método estadístico aleatorio”, comenta. “El resultado de este proceso estadístico aleatorio debe respaldarse posteriormente con un análisis que valide las operaciones originales de siembra de nubes”.

## Se aconseja precaución

La Declaración de la OMM sobre la modificación artificial del tiempo de 2015 también se refiere a las técnicas de modificación artificial del tiempo para eliminar el granizo y dispersar la niebla, y menciona el reciente interés en la ingeniería del clima. “Últimamente la siembra ha sido propuesta como una estrategia de mitigación del clima para aumentar la luminosidad de las nubes e incrementar la parte de radiación solar que se refleja al espacio”, dice Flossmann. El informe de la OMM muestra cierta cautela para tales esfuerzos a escala mundial, advirtiendo de las dificultades históricas a la hora de demostrar la causa y el efecto de las intervenciones de siembra a escala local.

La siembra de nubes a escala mundial tiene un precedente histórico pero de una forma inesperada: a través de una modificación del tiempo inadvertida. Por ejemplo, las



## Ganadores de las becas del Programa de los Emiratos Árabes Unidos para la estimulación de lluvia

El 17 de enero los Emiratos Árabes Unidos anunciaron los ganadores de las becas del Programa para la estimulación de lluvia. La financiación de 5 millones de USD se repartió entre Giles Harrison, de la Universidad de Reading; Hannele Korhonen, del Instituto Meteorológico Finandés; y Paul Lawson, de la compañía SPEC.

erupciones volcánicas han inyectado partículas en la estratosfera que han disminuido las temperaturas a nivel mundial durante 2 o 3 años después de las erupciones (por ejemplo, se cree que estas erupciones contribuyeron a la “pequeña edad de hielo” del siglo XIX). Como otro ejemplo de modificación del tiempo inadvertida, Flossmann cuenta que los satélites han observado que las partículas emitidas por las chimeneas de los barcos modifican las propiedades nubosas de la cubierta de estratocúmulos que hay por encima, aumentando la sensación de brillo en las nubes.

Para todas las modificaciones del tiempo –intencionadas o no– es importante recordar que “la atmósfera no tiene barreras”, dice Flossmann. “Lo que aportes puede no tener el efecto deseado en tus inmediaciones, pero al ser transportado podría tener efectos no deseados en otro lugar”.

Pero sobre todo, se trata de las nubes. “No hay una solución concreta para todos los casos”, dice ella. “Depende mucho de cada nube en particular que el hecho de añadir partículas no tenga en absoluto efecto alguno; y que, si lo tiene, sea en la dirección deseada”.