



## **Comité Científico Asesor del Sistema Nacional de Protección Civil sobre Fenómenos de Carácter Hidrometeorológicos**

### **Título de la Recomendación:**

Estudio sobre la modificación artificial del tiempo para el incremento de la precipitación.

### **Referencia:**

RH/01/2022

**Fecha de firma de la recomendación:** 21 de abril del 2022.

### **Instancia con atribuciones y/o sectores involucrados:**

Coordinación Nacional de Protección Civil.

Unidades Estatales de Protección Civil (UEPC) (Unidades Municipales a través de la UEPC).

Comisión Nacional del Agua Conagua.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

Secretaría de la Defensa Nacional.

### **Fases de la Gestión Integral del Riesgo de Desastre en que contribuye:**

Apoyar ante la falta de verificación de hipótesis físicas en todo tipo de proyectos de modificación artificial del tiempo, particularmente los conocidos como “siembra” o “estimulación” de nubes.

### **Objetivos de la Recomendación:**

Recomendar sobre:

- Realizar análisis de costo-beneficio de proyectos de modificación artificial del tiempo.
- La falta de verificación de hipótesis físicas y de validación estadística en los proyectos de modificación artificial del tiempo.
- El posible riesgo ambiental por el uso de agentes glaciogénicos (yoduro de plata) o higroscópicos (diversas sales) en los proyectos de “siembra” o “estimulación” de nubes.

### **Descripción de la Recomendación:**

#### **Antecedentes**

En los últimos setenta años se ha intentado manipular el tiempo meteorológico (List, 2004) haciendo uso del conocimiento científico adquirido y de las tecnologías modernas con el objetivo de, entre otras cosas, aumentar la eficiencia de precipitación de las tormentas; siendo las nubes orográficas invernales y las nubes convectivas (cúmulos) aquellas que, por su mayor contenido de agua líquida, son las mejores candidatas para su manipulación (Flossmann et al., 2018).

En tiempos más recientes, se han propuesto diversas metodologías dependiendo de los objetivos y características específicos de los experimentos para la llamada modificación artificial del tiempo. Los resultados obtenidos de experimentos de siembra de nubes – es decir, mediante introducir substancias nucleantes en nubes durante su desarrollo – con bases científicas sólidas sugieren resultados muy diversos, casi siempre con evidencia física



## **Comité Científico Asesor del Sistema Nacional de Protección Civil sobre Fenómenos de Carácter Hidrometeorológicos**

insuficiente y análisis estadísticos no significativos y, en ocasiones, aún contradictorios (Bruintjes, 1999). Durante los últimos veinte años se han analizado con todo detalle experimentos realizados con varios métodos de siembra, particularmente con agentes glaciogénicos (Schaefer, 1946; Vonnegut, 1947) o higroscópicos (Cooper et al., 1997) que compiten de diversas maneras con las partículas naturales. Las respuestas a la siembra parecen variar en función de los cambios de las características de las nubes naturales y en algunos experimentos parecen estar en contradicción con las hipótesis de siembra originales. Pese a la existencia de pruebas estadísticas de los cambios de la precipitación estimados mediante radar, satélites meteorológicos y modelos numéricos en los sistemas de nubes individuales – tanto en las técnicas glaciogénicas como higroscópicas–, no hay pruebas de que la siembra de nubes aumente la precipitación sobre zonas de importancia económica. En otras palabras, aún queda pendiente entender algunas cuestiones relativas a los procesos físicos del desarrollo de la precipitación que son fundamentales. Desafortunadamente, la inversión de los gobiernos se destina típicamente a apoyar programas operativos de modificación artificial del tiempo, pero no se otorgan apoyos para la investigación (Garstang et al., 2005).

Vale la pena aclarar aquí que, tanto en México como en otros lugares del mundo, se han considerado también otros enfoques para la modificación artificial de las nubes. Éstos incluyen la ionización y la electrificación atmosféricas y el uso de “cañones” que producen fuertes estruendos, ninguno de los cuales tienen fundamentos científicos sólidos convincentes para la modificación de la precipitación (WMO, 2007); y las tecnologías láser, que podrían tener éxito en la formación de gotitas de nube en regiones subsaturadas, las cuales no podrían crecer en su desarrollo subsecuente hasta alcanzar tamaños de precipitación, debido a la falta general de humedad (Flossmann et al., 2018).

### **Definición de la problemática que atiende la recomendación:**

En el mundo, y particularmente en México, no hay pruebas de que las técnicas de siembra de nubes permitan aumentar la precipitación sobre zonas de importancia económica, ni tampoco hay ninguna prueba de efectos extra-zonales. Por otro lado:

- El manejo apropiado de los recursos hídricos debe justificarse con una razón costo/beneficio apropiada; de otra forma, se ocasionan grandes pérdidas económicas locales, estatales y federales al destinar recursos en proyectos de modificación del tiempo cuyas hipótesis de incremento de precipitación no han podido ser validadas.
- La falta de una completa comprensión de los procesos físicos de la atmósfera y de la formación de nubes y precipitación es una de las limitantes para la verificación de los resultados obtenidos en todo tipo de proyectos de modificación artificial del tiempo. Pero la mayor limitante estriba en la variabilidad natural de la precipitación, que generalmente es del mismo orden de magnitud que el aumento de lluvia esperado de la siembra de nubes.
- La “siembra” o “estimulación” de nubes podría tener riesgos ambientales ya que se dispersa yoduro de plata o sales.

### **Impacto de la recomendación en la sociedad:**

La población que sería beneficiada con la implementación de la recomendación es la de los diferentes estados (tales como: Nuevo León y Tamaulipas) en donde tradicionalmente se



**Comité Científico Asesor del Sistema Nacional de Protección Civil sobre Fenómenos de Carácter Hidrometeorológicos**

tienen proyectos de “siembra” o “estimulación” de nubes que son ejecutados por empresas extranjeras, y con la participación de entidades estatales o federales. El beneficio principal es destinar los recursos económicos en acciones de mitigación ante la escasez de agua para diferentes usuarios, así como, evitar posibles riesgos ambientales que podrían afectar también a la población.

**Acciones concretas para el cumplimiento de la recomendación y que ésta se dé por atendida:**

1. Evitar proyectos de modificación artificial del tiempo, particularmente los conocidos como “siembra” o “estimulación” de nubes, sin conocimiento previo fundamentado en experiencias de éxito en el incremento de la precipitación, o sin la realización previa del análisis costo-beneficio.
2. Evitar promover campañas de estimulación de lluvias si no se han verificado sus hipótesis físicas de éxito y realizado la validación estadística.
3. No aceptar argumentos ficticios de éxito de proyectos de modificación del tiempo que se pregonen sin validación científica.
4. Documentar y compartir con expertos en el tema las mediciones de los resultados de proyectos realizados con la hipótesis del incremento de las precipitaciones.
5. Realizar estudios de análisis y seguimiento de posibles riesgos ambientales por dispersar yoduro de plata o sales higroscópicas usados en los proyectos de “siembra” o “estimulación” de nubes.
6. Divulgar esta recomendación en todos los niveles de la estructura orgánica nacional de la gestión del recurso hídrico para todos los usuarios, particularmente a los distritos de riego y asociaciones de agricultores.

**Firma de conformidad de la Presidenta del CCA**

|    |  |  |
|----|--|--|
| 1. | Dra. Claudia Rojas Serna<br>Presidenta |  |
|----|--|--|

**Anexo a la Recomendación:**

*Modificación Artificial del Tiempo en México (García García F., 2022)*



## **Comité Científico Asesor del Sistema Nacional de Protección Civil sobre Fenómenos de Carácter Hidrometeorológicos**

México ha sido pionero en el uso de técnicas de siembra de nubes para el aumento de la precipitación. De hecho, el experimento de mayor duración del que se tenga noticia en el mundo se realizó continuamente entre 1948 y finales de la década de 1970 en Necaxa, Puebla. En dicho proyecto, que fue ejecutado por la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz, se utilizaron técnicas de siembra de partículas de yoduro de plata mediante quemadores de acetona desde la superficie (Pérez-Siliceo et al., 1963). Los resultados nunca fueron concluyentes (Estrada-Betancourt, 1978; Estrada-Betancourt y Villaseñor-Díaz, 1981).

Más tarde, en las décadas de 1970 y 1980, el Servicio Meteorológico Nacional (a la sazón dependiente de la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos) contó con una dependencia que realizaba siembra operacional de nubes con yoduro de plata, mediante bengalas colocadas en alas de aviones que, ocasionalmente, contaban con alguna instrumentación de microfísica de nubes. Los principales lugares del país donde esto se llevó a cabo fueron los estados de Sonora y Sinaloa. Este tipo de proyectos operacionales se han seguido realizando hasta la fecha, normalmente mediante compañías privadas contratadas por los gobiernos federal y estatales y, más recientemente, por la Fuerza Aérea Mexicana.

En la década de 1990, dos experimentos científicos de siembra de nubes mediante sustancias químicas higroscópicas desde aviones fueron llevados a cabo en el norte del país, a fin de incrementar la precipitación en regiones afectadas por sequía. Estos son los únicos experimentos con diseño científico de los que este autor tiene noticia. El más conocido es el realizado en el estado de Coahuila, específicamente en Monclova, durante los veranos de 1996, 1997 y 1998 (Rosengaus y Bruintjes, 2002); y el otro ocurrió en el estado de Durango durante el verano de 1999. Ambos estuvieron basados en una metodología desarrollada en Sudáfrica (Mather et al., 1997) y proponían reproducir y verificar los resultados obtenidos en aquel país. Aunque las campañas de siembra aleatoria de nubes en Coahuila ocurrieron en los años previamente mencionados, durante el verano de 1996 fue necesario realizar algunas mediciones a fin de constatar si las condiciones meteorológicas y las características microfísicas de las nubes convectivas eran similares durante los períodos experimentales. Como ya se mencionó anteriormente, aunque los trabajos publicados en revistas indizadas arrojan diversas conclusiones, los proyectos en México no fueron estadísticamente concluyentes. Aun así, la metodología utilizada es actualmente una de las principales referencias para el diseño de muchos de los programas de incremento en la eficiencia de precipitación.

Cabe mencionar que, en esa misma época, se empezaron a utilizar otros métodos de modificación artificial del tiempo basados en aparatos ionizantes de la atmósfera, conocidos popularmente como “antenas ionizantes”. En este rubro, es importante señalar que no existen evidencias científicas – teóricas o experimentales, ya sean de laboratorio o de aplicación en el campo – ni evaluaciones físicas o estadísticas sólidas de esta tecnología que hayan sido aceptadas por la comunidad científica. Por el contrario, existe un amplio y sólido cuerpo de información publicada en los medios científicos que contradice prácticamente cada uno de los principios de la “teoría de electrificación” en que se basan dichas técnicas.

### *Consideraciones Generales*

La falta de una completa comprensión de los procesos físicos de la atmósfera y de la formación de nubes y precipitación es una de las limitantes para la verificación de los resultados obtenidos en todo tipo de proyectos de modificación artificial del tiempo. Pero la mayor limitante estriba



## Comité Científico Asesor del Sistema Nacional de Protección Civil sobre Fenómenos de Carácter Hidrometeorológicos

en la variabilidad natural de la precipitación, que generalmente es del mismo orden de magnitud que el aumento de lluvia esperado de la siembra. Pese a las pruebas estadísticas de los cambios de la precipitación en los sistemas de nubes individuales, estimados mediante sistemas de percepción remota (radar y satélite meteorológico) y modelos numéricos de simulación, no hay pruebas de que las técnicas de siembra de nubes permitan aumentar la precipitación sobre zonas de importancia económica, ni tampoco hay ninguna prueba de efectos extra-zonales. Finalmente, es importante mencionar que el uso potencial de estas tecnologías debe ligarse de forma estrecha con el manejo apropiado de los recursos hídricos de tal forma que exista una razón de costo/beneficio apropiada (Flossmann et al., 2018).

Con respecto a la utilización de antenas ionizantes, se concluye que no es factible ni viable la aplicación de dicha tecnología para producir lluvia ni para ninguna modalidad de la modificación artificial del tiempo meteorológico en ninguna región geográfica de nuestro país o del mundo. Además de la inexistencia total de evidencia científica que avale la factibilidad de la aplicación de la “teoría de ionización”, la Organización Meteorológica Mundial – organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas y portavoz autorizado acerca del estado y el comportamiento de la atmósfera terrestre, su interacción con los océanos, el clima que produce y la distribución resultante de los recursos hídricos; y que está conformada por representantes permanentes de los gobiernos de los países miembros (en el caso de México, por el Coordinador General del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua) – establece lo siguiente en su Declaración sobre la Situación de la Modificación Artificial del Tiempo emitida durante su Congreso General de Oslo (WMO, 2007) y ratificada por todos los paneles de expertos hasta la fecha:

“...Algunos métodos, tales como los cañones antigranizo o los aparatos ionizantes, no tienen bases físicas y no se recomiendan...” [para la modificación artificial del tiempo meteorológico]

### *Conclusiones*

A manera de conclusión, se puede afirmar que la modificación artificial del tiempo debe considerarse sólo como un elemento de una estrategia integrada de gestión de los recursos hídricos. Es difícil conseguir un alivio inmediato de la sequía. En particular, si no hay nubes no se puede estimular artificialmente la precipitación. Es probable que las oportunidades de aumento de la precipitación sean mayores en períodos de precipitación normal, o por encima de la normal, que durante períodos secos.

Otra preocupación particular se relaciona con los aspectos de costo-beneficio en la evaluación del posible incremento de la precipitación en la región “blanco”, tanto en escala espacial como temporal (particularmente estacional). Además, la siembra de nubes en estas escalas podría tener riesgos ambientales que deben gestionarse mediante una planificación y un seguimiento cuidadosos.

### **Referencias consultadas:**

Bruintjes, R., 1999. A review of cloud seeding experiments to enhance precipitation and some new prospects. Bull. Amer. Meteor. Soc., 80, 805-820.

Cooper, W.A., R.T. Bruintjes, G.K. Mather, 1997. Calculations pertaining to hygroscopic seeding with flares, J. Appl. Meteor., 36, 1449-1469.

Estrada-Betancourt, J., 1978. Cloud seeding in Necaxa Watershed. J. Weather Mod., 10, 39-50.

**SEGURIDAD**SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA**CNPC**COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL**CENAPRED**CENTRO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES

## **Comité Científico Asesor del Sistema Nacional de Protección Civil sobre Fenómenos de Carácter Hidrometeorológicos**

- Estrada-Betancourt, J., I. Villaseñor-Díaz, 1981. Cloud seeding southeast of Mexico City, 1974-76. *J. Weather Mod.*, 13, 200-201.
- Flossmann, A. I., M. Manton, A. Abshaev, R. Bruintjes, M. Murakami, T. Prabhakaran, Z. Yao, 2018. Peer Review Report on Global Precipitation Enhancement Activities. WWRP 2018-1, World Meteorological Organization. 188 pp.
- Garstang, M., R. Bruintjes, R. Serafin, H. Orville, B. Boe, W. Cotton, J. Warburton, 2005. Weather modification: Finding common ground. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 647-655. doi:10.1175/BAMS-86-5-647.
- García García F., 2022. Sobre la utilización de tecnologías de modificación artificial del tiempo para el incremento de la precipitación. *Avances de Investigación, Grupo de Física de Nubes, Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático – UNAM*, 4 pp Abril 2022.
- List, R., 2004. Weather modification □ A scenario for the future. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 85, 51-63. doi: 10.1175/BAMS-85-1 -51.
- Mather, G.K., D.E. Terblanche, F.E. Steffens, L. Fletcher, 1997. Results of the South African cloud-seeding experiments using hygroscopic flares. *J. Appl. Meteorol.*, 36, 1433-1447.
- Pérez-Siliceo, E., A. Ahumada-A. P. Mosiño, 1963. Twelve years of cloud seeding in the Necaxa Watershed, México. *J. Appl. Meteorol.*, 2, 311-323.
- Rosengaus, M., R. Bruintjes, 2002. Estimulación de lluvia por sembrado higroscópico. *Ingeniería Hidráulica en México*, 17, 13-29.
- Schaefer, V.J., 1946. The production of ice crystals in a cloud of supercooled water droplets. *Science*, 104, 457-459.
- Vonnegut, B., 1947. The nucleation of ice formation by silver iodide. *J. Appl. Phys.*, 18, 593-595.
- WMO (World Meteorological Organization), 2007. Executive Summary of the WMO Statement on Weather Modification. Commission for Atmospheric Sciences Management Group, Oslo, Norway, 24-26 September 2007. CAS-MG2/Doc 4.4.1, Appendix C. (Updated in the meeting of the Expert Team on Weather Modification Research, Abu Dhabi, 22-24 March 2010).