

# METODO DE MODIFICACIÓN CLIMÁTICA

## CITAS DE PATENTES

Patente citada	Fecha de presentación	Fecha de publicación	Solicitante	Título
<a href="#">US2232728</a> *	15 de noviembre 1937	25 de febrero 1941	Ross Pleasants Clellan	Método y composición para disipar los vapores
<a href="#">US2527230</a> *	21 Ene 1948	24 de octubre 1950	Gen eléctrico	Método de formación de cristales y la precipitación
<a href="#">US2550324</a> *	07 de mayo 1948	24 Abr 1951	WC Inc	Proceso para controlar el tiempo

\* Citada por examinador

## OTRAS CITAS

### Referencia

1 \* En la cristalización de sobrefusión Nubes CL Hosler, Diario de Meteorología vol. 8, p. 326 331, 10 1951

\* Citada por examinador

## CITADA POR

Patente citante	Fecha de presentación	Fecha de publicación	Solicitante	Título
<a href="#">US3940059</a> *	04 de junio 1971	24 de febrero 1976	Los Estados Unidos de América, representado por el Secretario de la Armada	Método de dispersión de niebla
<a href="#">US5357865</a> *	21 de febrero 1992	25 de octubre 1994	Comisión de Investigación del Agua	Método de siembra de nubes
<a href="#">US5762298</a> *	07 de junio 1995	09 de junio 1998	Chen; Franklin YK	El uso de satélites artificiales en órbita alrededor de la tierra de forma adaptativa para modificar el efecto que la radiación solar tendría de otra manera en el clima de la Tierra
<a href="#">EP1491088A1</a> *	17 de septiembre 2003	29 Dic 2004	Su Majestad el Rey Bhumibol, Adulyadej de Tailandia	La modificación del clima por la tecnología de creación de lluvia real
<a href="#">WO1999043893A1</a> *	26 de febrero 1999	02 de septiembre 1999	Johans Hamarsnes	Método de disipación de la niebla
<a href="#">WO2003061370A1</a>	25 Dic 2002	31 de julio 2003	Vladimir Arkhipov	Método y aparato para controlar las condiciones atmosféricas

\* Citada por examinador

## CLASIFICACIONES

Clasificación de EE.UU.	<a href="#">239/2.1</a> , <a href="#">239/14.1</a>
Clasificación internacional	<a href="#">A01G15/00</a>
Clasificación cooperativa	<a href="#">A01G15/00</a>
Clasificación europea	<a href="#">A01G15/00</a>



## METODO DE MODIFICACIÓN CLIMÁTICA

La invención descrita en este documento puede ser fabricada y utilizada por o para el Gobierno de los Estados Unidos de América a fines oficiales y sin el pago de regalías al respecto o para el mismo.

La presente invención se refiere a la modificación del clima y más particularmente a la producción de lluvia o nieve mediante la introducción de agentes en las nubes atmosféricas naturales, estos agentes introducidos tienen una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de la solución en agua de siembra.

La precipitación en forma de lluvia o nieve comienza con la formación de nubes por la condensación de vapor de agua en pequeñas gotitas estables y con el fin para que el vapor de agua se condense, los núcleos de condensación deben estar presentes en la atmósfera. Estos núcleos están compuestos de sal de mar, sulfatos, o los escombros del suelo, y los más pequeños son comúnmente llamados núcleos de Aitken. De acuerdo con la teoría de Bergeron ampliamente aceptada, la lluvia o la nieve se precipita de una nube cuando las partículas se forman en la nube. Las partículas de hielo, debido a las condiciones favorables de equilibrio, pueden aumentar de tamaño a expensas de las gotitas de agua líquida, y cuando las partículas de hielo aumentan de tamaño se alcanza un punto en el que se vuelven lo suficientemente pesadas para caer al suelo. La formación de partículas de hielo en las nubes requiere la presencia de núcleos de hielo, sin embargo, la fuente de núcleos de hielo naturales es actualmente desconocida.

La producción artificial de lluvia o nieve ha consistido principalmente en los intentos de iniciar la formación de partículas de hielo en las nubes atmosféricas naturales. En general, dos enfoques se han utilizado anteriormente a la presente invención. En el primer enfoque, se introduce la materia extraña en las nubes que tiene una estructura cristalina hexagonal similar a la de hielo, con el fin de estimular un mecanismo para el crecimiento epitaxial de los cristales de hielo dentro de las nubes. El crecimiento de cristales de hielo epitaxial se produce por la acumulación de moléculas de agua en un cristal de siembra con una estructura reticular a juego y con distancias moleculares similares. Los típicos materiales capaces de actuar como un núcleo de hielo de esta manera son el yoduro de plata, yoduro de plomo, sulfuro cúprico, y caolinita. El yoduro de plata ha sido el núcleo de siembra artificial más ampliamente utilizado debido a su alta temperatura de umbral. El umbral de temperatura es, aquella más alta a la que un agente de siembra es eficaz en la producción de cristales de hielo en una nube de gotitas de agua. El segundo enfoque ha sido súper-enfriar drásticamente un área local de la nube, provocando de este modo la nucleación de hielo homogénea en la nube. Un material típico empleado en este enfoque es dióxido de carbono sólido o hielo seco.

Aunque estos enfoques han demostrado ser útiles, no han sido totalmente satisfactorios en todas las condiciones. El yoduro de plata es caro y requiere un equipo especial de generación; además, tiende a descomponerse después de una corta exposición a la atmósfera. El yoduro de plomo, el sulfuro cúprico y la caolinita se caracterizan por las bajas temperaturas de umbral. Además, todos los núcleos de hielo previamente conocidos requieren el sobre-enfriamiento de la nube. El dióxido de carbono sólido sufre la desventaja de que se sublima fácilmente bajo condiciones atmosféricas. Además, es relativamente insensible ya que el número de partículas de hielo producidas por partícula de dióxido de carbono sólido es relativamente pequeño. El propósito general de esta invención es proporcionar un método para la modificación del clima que abarque todas las ventajas de los enfoques de la técnica anterior y no posea ninguna de las desventajas antes mencionadas. Para lograr esto, la presente invención

contempla el uso de agentes de siembra que tienen una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de la solución en agua. Por un calor endotérmico de la solución se entiende la absorción de calor en la disolución que resulta en el enfriamiento de la solución. Tal agente de siembra es capaz de actuar como un núcleo de condensación y como un núcleo de hielo. Los materiales típicos que tienen una alta solubilidad en agua junto con un gran calor endotérmico de solución en agua son el nitrato de potasio, el nitrito de potasio, el nitrato de amonio y la urea. Los experimentos de laboratorio y sobre el terreno se han demostrado finamente divididos, la urea cristalina es un agente de siembra efectiva que tiene un umbral de temperatura por lo menos tan alta como el yoduro de plata y siendo al menos tan potente como el yoduro de plata.

Es un objeto de esta invención proporcionar agentes de siembra para la modificación climática que dispongan una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de la solución en agua.

Otro objeto de esta invención es proporcionar agentes de siembra que funcionen tanto como núcleos de condensación y núcleos de hielo.

Un objeto adicional de esta invención es la provisión de agentes de siembra que tienen un alto umbral de temperatura y que no requiera de sobre-enfriamiento para ser eficaz.

Otro objeto es proporcionar agentes de siembra fácilmente disponibles y que sean baratos.

Un objeto adicional de esta invención es la provisión de agentes de siembra que se dispersen fácilmente en la atmósfera y que no sean afectados relativamente por la exposición a condiciones atmosféricas.

Los experimentos de laboratorio llevados a cabo en una cámara de Bigg-Warner con urea han demostrado ser altamente efectivos, el núcleo de hielo reflejaba un umbral de temperatura de hasta +6 C. Un Bigg-Warner es esencialmente una cámara cerrada que es capaz de ser enfriada a una temperatura controlada y que tiene los medios necesarios para la introducción de vapor de agua y un agente de siembra. La nucleación del vapor de agua en la cámara se observa con la ayuda de una solución saturada de azúcar. Una descripción completa de la construcción y operación de una cámara de Bigg-Warner similar a la utilizada en estos experimentos, aparece en Elementos de Física de la nube por Horacio Robert Byers (University of Chicago Press).

En estos experimentos, la temperatura de la cámara de Bigg-Warner se reduce a la temperatura deseada y entonces se introduce suficiente vapor de agua en la cámara para producir una nube artificial que tiene un contenido de agua líquida de 2 a 3 gramos por metro cúbico. La urea usada en estos experimentos fue de grado industrial obtenida de una fuente comercial y que contenía aproximadamente 0,1 por ciento de impurezas como el agua. Antes de su uso, esta urea se molió de manera que aproximadamente  $10^3$ - $10^4$  partículas estuviesen contenidas en  $in0.1$  mg., de la cantidad de urea utilizada para sembrar en estos experimentos. La nucleación de la nube en la cámara se considerará que se ha efectuado cuando se observe un cristal de hielo en la solución de azúcar.

Estos experimentos de laboratorio indicaron que la urea genera partículas de hielo a partir de una temperatura de +6 C a muy por debajo de -15 C. Mientras un cristal de hielo que se forme en una nube con una temperatura superior a 0 ° C comenzará inmediatamente a derretirse, indicación positiva para una nucleación de nubes que solamente requieren sobrevivir el tiempo suficiente como para caer en la solución de azúcar. Las pruebas preliminares revelaron que la solución de azúcar no se vio afectada por cualquiera de las partículas de urea o por las gotitas líquidas súper-enfriados. La observación visual de los cristales de hielo en la nube, que requiere la existencia de caras cristalinas sin obstáculos, se podría hacer a temperaturas de -8 C y siguientes. Por encima de -8 C, las caras de los cristales se oscurecen puesto que tanto el agua como el hielo se forman juntos.

Los agentes de siembra de la presente invención operan tanto como núcleos de condensación y como núcleos de hielo. A temperaturas por encima y por debajo del punto de congelación del agua, actúan como núcleos de condensación, ya que su alta solubilidad en agua lo hace higroscópico. A medida que se absorbe agua, la refrigeración se traduce debido al gran calor endotérmico de la solución. A medida que progresa el enfriamiento, se alcanza un punto en el que se forma una partícula de hielo resultante en la nucleación de la nube en su forma convencional. Por ejemplo, con urea, las soluciones acuosas a granel se enfriaron hasta el punto eutéctico,  $-11.5\text{ C}$ , y las pequeñas gotitas acuosas se enfriaron a  $-20\text{ C}$  o  $-25\text{ C}$ . Suponiendo que el enfriamiento máximo obtenible es el punto eutéctico, los cálculos termoquímicos sobre la base de la solubilidad de la urea y su calor de solución indican que la urea puede nuclea una nube a una temperatura de  $18\text{ C}$ .

Para formar una partícula de hielo, la urea debe enfriar la gotita a una temperatura a la que la nucleación de hielo pueda tener lugar. Las temperaturas de congelación de soluciones de urea se determinaron mediante la congelación de gotitas de solución, entre  $100$  y  $120$  micrómetros de diámetro, suspendidas en aceite de silicona. Se han observado las gotitas con soluciones de urea de un tamaño  $0.83$  y  $6.8$  que tienen temperaturas medias de congelación de entre  $-42\text{ C}$  y  $-48\text{ C}$ . En comparación, las gotitas de agua pura con un tamaño similar tienen una temperatura de congelación mediana de  $-36\text{ C}$ .

No hay evidencia de que las soluciones de urea puedan enfriar por debajo de los  $-40\text{ C}$  por sí mismas. Mientras que la urea tiene un hábito cristalino tetragonal, que puede, en las condiciones adecuadas, promover el crecimiento de cristales de hielo por un mecanismo epitaxial. Suponiendo que  $+6\text{ C}$  es el límite superior para la nucleación de hielo por la urea, se puede demostrar que el umbral de temperatura epitaxial es de  $-20\text{ C}$ . Como se han observado, pequeñas cantidades de soluciones de urea saturadas enfrían por sí mismas entre  $-20$  y  $-25\text{ C}$ , la formación de cristales de hielo en una nube sembrada con urea puede explicarse sobre la base de un mecanismo de epitaxial.

Se realizó una serie de pruebas de campo utilizando urea como agente de siembra de nubes súper-enfriadas durante la mitad del invierno en las zonas fuera de las vías respiratorias del centro-norte de los Estados Unidos. Un avión especialmente instrumentado fue utilizado para liberar la urea y del seguimiento de los resultados. En tres de los experimentos de campo, la urea fue liberada manualmente permitiendo fluir hacia fuera y a través de un tubo de plástico de 4 pulgadas de diámetro que se ajusta en un agujero en el fuselaje del avión. Veinte libras de urea fueron lanzadas en estos lanzamientos de campo con una densidad y promedio de siembra de entre 5 y 10 libras por milla. En los primeros y segundos experimentos de campo, la urea usada fue similar a la utilizada en las pruebas de laboratorio. Antes de su uso en los experimentos de campo las partículas se muelen de manera que se obtenga un diámetro medio de 25 a 30 micras, y que cada gramo contenga aproximadamente  $10^7$  -  $10^8$  partículas. Las pruebas en el túnel de viento indican que el agrupamiento de urea blanqueado no sería un problema grave en las emisiones al aire. En el tercer experimento de campo, la urea usada era de un material con grado reactivo obtenido a partir de una casa de suministro de productos químicos. Esta urea tenía un diámetro medio de partícula de 150 micras. En la cuarta prueba de campo, la urea de grado industrial se libera a través de un mecanismo de pulverización especialmente construido montado en la aeronave.

En todas las pruebas, la urea fue lanzada a 200 pies de la parte superior de la nube. La experiencia previa indica que sea aconsejable el uso de gotas "hielo seco" como una ayuda a la navegación cuando se prueban agentes de siembra no probados. Una gota de hielo seco se probó en el primer experimento de campo, pero no se utilizó en las pruebas posteriores a causa de los efectos visuales marcados que acompañan a la siembra de la urea.

En el primer experimento de campo, la nube sembrada fue del tipo stratus. La parte superior se estimó en 6,7 kilómetros por encima del nivel del suelo, mientras que su base se estimó en 2,5 kilómetros sobre el nivel del suelo. El contenido de agua líquida de

esta nube era 0,5 gramos por metro cúbico, y su temperatura se encontró que era de  $-16\text{ C}$ .

La urea se introdujo en esta nube a una densidad de siembra de 9,3 libras por milla. Después de un corto período de tiempo, se observó un agujero desarrollado en la nube con la aparición de sundogs y chubascos de nieve pesada para caer al suelo.

En el segundo experimento, se volvió a sembrar otra nube del tipo stratus. Su parte superior y la base fueron de 6,0 y 3,3 kilómetros respectivamente sobre el nivel del suelo. Su temperatura era de  $-13.8\text{ C}$ , y su contenido de agua líquida era 0,6 gramos por metro cúbico. La urea se introdujo en esta nube a una densidad de siembra de 4,8 libras por milla, y se observó un chubasco de nieve muy densa y un agujero roto en la nube después de la siembra.

En el tercer experimento, se sembró una nube del tipo altostratus en su parte superior, a unos 10.8 kilómetros del nivel del suelo. La base de esta nube era de 9,8 kilómetros sobre el nivel del suelo, y su contenido de agua era de 9,2 gramos por metro cúbico con una temperatura de  $-13.1\text{ C}$ . La urea se añadió a esta nube a una tasa de 12,2 libras por milla y produjo un chubasco de nieve bien definido que fue fuertemente cortado por el viento por debajo de la base de la nube.

En el cuarto experimento de campo, una nube espesa del tipo stratus con una base de aproximadamente 0,9 kilómetros por encima del nivel del suelo estaba sembrada, y se observó que la temperatura de esta nube era de  $-10\text{ C}$ . Diez gramos de urea se sembraron en la nube a través de una trayectoria de un vuelo de 2 millas. Cerca de  $10^{11}$  partículas fueron producidas por el pulverizador, y se observó un chubasco de nieve definitivo que caía de la nube.

Los agentes de siembra de la presente invención no solo disponen de utilidad en sí mismos, ya que también son útiles cuando se mezclan con agentes de siembra convencionales. Por ejemplo, una mezcla de nitrato de potasio y sulfuro cúprico fue observada en los ensayos en una cámara de Bigg-Warner para obtener una temperatura de umbral de varios grados más alta que la observada para el sulfuro cúprico solo. Los agentes de siembra de la presente invención se pueden utilizar en forma de mezclas mecánicas con agentes de siembra convencionales, pero además se pueden utilizar más eficazmente como un revestimiento exterior de agentes de siembra convencionales.

La presente invención proporciona un método para la modificación del tiempo usando agentes de siembra que se caracterizan por una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de la solución en agua. Un ejemplo típico de un material adecuado para su uso en esta invención es la urea. Es barato, fácilmente disponible, muy eficaz y es capaz de actuar tanto como un núcleo de condensación y de hielo. Obviamente, son posibles las muchas modificaciones y variaciones de la presente invención a la luz de las enseñanzas anteriores. Es, por lo tanto, entenderse que dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, la invención puede ponerse en práctica de otra forma distinta a la descrita específicamente.

#### Reclamo:

1. El método de producción de precipitación a partir de una nube natural atmosférica compuesta por gotas de agua súper-enfriadas, cuyo método comprende introducir en dichas partículas de la nube una sustancia sólida finamente dividida que tiene una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de la solución y pudiendo ser seleccionado de un grupo que consiste en urea, nitrato de potasio, nitrito de potasio y nitrito de amonio.

2. El método de la reivindicación 1 en el que la sustancia sólida es la urea.

3. El método de la reivindicación 1 en el que la sustancia sólida es nitrato de potasio.

4. El método de la reivindicación 1 en el que la sustancia sólida comprende nitrito de potasio.

5. El método de la reivindicación 1 en el que la sustancia sólida comprende nitrato de amonio.

6. El método de causar la formación de cristales de hielo en una masa de las gotitas de agua que tiene una temperatura de menos de +6 ° C, que comprende el introducir en dicha masa de partículas una sustancia sólida finamente dividida y que tiene una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de la solución y pudiendo ser seleccionado del grupo constituido por urea, nitrato de potasio, nitrito de potasio y nitrato de amonio.

7. El método de la reivindicación 6 en el que la sustancia sólida es la urea.

8. El método de la reivindicación 6 en el que la sustancia sólida es nitrato de potasio.

9. El método de la reivindicación 6 en el que la sustancia sólida es nitrito de potasio.

10. El método de la reivindicación 6 en el que la sustancia sólida es el nitrato de amonio.

11. El método de causar la formación de cristales de hielo en una masa compuesta de gotas de agua súper-enfriadas, cuyo método comprende introducir en la masa una mezcla íntima de las sustancias sólidas finamente divididas, una de dichas sustancias sólidas que consiste en un material cristalino capaz de actuar como un núcleo de formación de hielo , otra de dichas sustancias sólidas que consisten en un material que tiene una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de la solución en agua.

12. El método de la reivindicación 11 en el que el material que tiene una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de la solución es la urea.

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55  
60  
65  
70  
75

13. El método de la reivindicación 11 en el que el material que tiene una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de la solución es nitrato de potasio.

14. El método de la reivindicación 11 en el que el material que tiene una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de la solución es nitrito de potasio.

15. El método de la reivindicación 11 en el que el material que tiene una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de la solución es nitrato de amonio.

16. El método de la reivindicación 12 en el que la urea forma un recubrimiento sobre el material cristalino capaz de actuar como un núcleo de hielo.

17. El método de causar la formación de cristales de hielo en una masa de gotitas de agua suspendidas en el aire y con una temperatura de menos de +6 ° C, cuyo método comprende introducir en dichas partículas de masa urea finamente dividida mediante el cual las gotas de agua se condensan y enfrían simultáneamente por las partículas de urea provocando de este modo la cristalización de agua en la masa de las gotitas de agua antes mencionadas.

18. El método de provocar la precipitación a partir de una nube natural atmosférica que consiste en gotas de agua súper-enfriadas, que comprende introducir en dicha partículas de la nube, un material sólido finamente dividido extranjero a dicha nube que tiene una alta solubilidad en agua y un gran calor endotérmico de solución en agua y seleccionado del grupo que consiste en nitrato de urea de potasio, nitrito de potasio, y nitrato de amonio mediante el cual las gotas de agua se condensan y enfrían simultáneamente por dichas partículas provocando de este modo la cristalización de las gotas de agua en la mencionada nube natural atmosférica.

\* \* \* \* \*

Traducción de  
**Ruben Antequera**