



Investigación. Posibilitar que el granizo se derrita en su caída es la hipótesis más acertada.

Fundamentos de la lucha contra el granizo

JOSÉ LUIS SÁNCHEZ (*)

Formación del granizo

El desarrollo del granizo en el interior de las nubes se produce en dos etapas: primero mediante la formación de los embriones, y luego a través del crecimiento de las piedras de granizo iniciadas por los embriones.

En ocasiones, cuando en el interior de las nubes convectivas la temperatura se encuentra por debajo de 0°C , pueden aparecer poblaciones de gotas en fase líquida, a las que se denomina *gotas subfundidas*. Como las nubes convectivas poseen corrientes ascensionales, las gotas se mantienen en suspensión o simplemente son transportadas por las corrientes verticales de aire que hay en el interior de la masa nubosa. Cuando alcanzan regiones en donde las condiciones ambientales las hacen congelar, las gotitas pasan a la fase de hielo y, a través de procesos complejos, comienzan a crecer. Por tanto conviven gotas líquidas y cristales de hielo. Debido al comportamiento del vapor de agua, los cristales de hielo tienden a crecer más rápidamente que las gotas líquidas. Cuando las condiciones ambientales favorecen la aparición de un cristal de hielo, éste comienza a crecer a base de vapor. Ello trae como consecuencia que el ambiente

resulte estar «más seco», generando una situación en la que las gotas líquidas tienden a evaporarse y las moléculas de vapor de agua migran hacia los cristales de hielo. Si tenemos pocos cristales de hielo, estos tenderán a crecer y formar embriones de granizo. En el caso de que el proceso continúe, los embriones acabarán dando lugar a piedras de granizo.

Cuando los embriones crecen, compiten entre ellos por captar el vapor de agua. También pueden hacerlo a partir de las gotitas más pequeñas que se depositen en su superficie. De esta manera los embriones van tomando dimensiones mayores, de algunos milímetros, dando lugar al llamado «graupel» o granizo blando.

Estos «graupel» siguen creciendo y, al aumentar de tamaño, pueden recolectar gotitas de agua líquida *subfundida*, que al entrar en contacto con ellos acaban congelando. Esto hace que se vayan formando sucesivas capas de hielo, produciendo piedras de granizo, que precipitarán cuando su peso les permita vencer las corrientes ascendentes de la nube.

¿Cómo frenar el crecimiento de los embriones de granizo?

Hay varias hipótesis científicas generalmente aceptadas. Quizás la más apropiada para el caso del valle del Ebro es la que se basa en la competición entre embriones de granizo.

La supresión del granizo, de acuerdo con esta hipótesis, supone la introducción en las nubes con condiciones propicias para generar granizo, de infinidad de embriones artificiales—similares a los naturales—. Esta hipótesis se basa en que, ya que no resulta posible limitar la cantidad de agua disponible en la célula tormentosa, lo que podemos hacer es aumentar el número de embriones de granizo y favorecer la competición entre ellos por captar el agua disponible en la

región. El resultado esperado es la limitación del tamaño de las piedras de granizo, posibilitando que se derritan en su caída al atravesar las capas cálidas de la atmósfera. Es la hipótesis más aceptada por la comunidad científica.

Para llevar a cabo esta hipótesis se emplean generadores que queman una solución de acetona con AgI y otras sales y que, en consecuencia, son capaces de producir núcleos de congelación y, por tanto, aumentar la concentración de embriones de granizo en el interior de las tormentas. Habitualmente se usan generadores ubicados en posiciones fijas, formando una red. El número de generadores y su posición debe ser calculado tomando en cuenta algunos aspectos tales como:

- las concentraciones de núcleos de congelación naturales en la zona en estudio;

- las características de la emisión del material de siembra y que por tanto aporten cantidades relevantes de núcleos de congelación, aumentando significativamente la concentración natural;

- la dirección predominante de los vientos durante las tormentas;

- las condiciones de la estabilidad atmosférica local, cuidando las inversiones térmicas que puedan obstruir la dispersión del material de siembra;

- las zonas que tienen más probabilidad de formación de tormentas.



Disminuir la energía con la que el granizo llega al suelo.

En los casos en que los estudios previos realizados mediante la utilización de radares meteorológicos hayan permitido identificar las áreas más frecuentes de generación de tormentas, el nivel básico de emisión puede ser reforzado en tales áreas. Los resultados encontrados en Francia y España señalan que, cuando los generadores se sitúan en las zonas en donde hay más probabilidad para formar tormentas, aumentan las oportunidades de modificar los mecanismos que frenan el crecimiento de las piedras de granizo. Estos resultados son consistentes con las hipótesis de formación de granizo.

Considerando que la red de generadores necesita liberar el material de siembra cada vez que hay un riesgo de formación de tormentas, es esencial para el Proyecto poder contar con un pronóstico fiable.

En resumen, se trata de un sistema de emisión razonablemente sencillo de operar y, sin duda, el más barato.

Incertidumbres

Se conocen los principios básicos relativos a la formación y crecimiento del granizo. También se tienen planteamientos científicos solventes que apoyan las hipótesis de la lucha contra el granizo. Incluso en algunos casos se han encontrado evidencias que demuestran una disminución de la energía con la que cae al suelo. Sin embargo, ¿por qué sigue cayendo granizo al suelo? Hay algunas razones: la principal es que no se conocen bien todos los procesos que se dan en el interior de las tormentas. Si no se conocen con detalle todos, es difícil actuar con total éxito frente a los aspectos desconocidos. Parece razonable pensar que, junto con las propias operaciones de lucha antigranizo, deban cohabitar acciones que permitan conocer las características de las tormentas de la zona. Si se quiere mejorar el «tratamiento», deberá incrementarse el «conocimiento» de las características que tienen las tormentas.



Crear mecanismos que frenen el crecimiento de las piedras de granizo.

Usando esos datos, debe construirse un modelo de dispersión tal que el nivel de emisión y, en su caso, la cantidad y ubicación de los generadores puedan ser estimados junto con las trayectorias más apropiadas para los penachos del material nucleante. En todo caso, el nivel de emisión debe ser lo suficientemente alto como para incrementar significativamente la concentración de los núcleos de congelación.

En general, los generadores de tierra están situados en regiones montañosas ubicadas a barlovento de la zona a proteger, de manera tal que el viento y la turbulencia natural arrastren el material de siembra y ayuden a la dispersión.

Incertidumbres que lo fueron y que ya no lo son

Es evidente que las operaciones de lucha contra el granizo excitan la imaginación de las personas, creando expectativas que no pueden ser satisfechas totalmente o, en ocasiones, generando miedos que no tienen fundamento. Así, conviene hacer repaso de algunos comentarios que aparecen en las referencias científicas:

1. Nunca se han encontrado proyectos de lucha antigranizo que hayan producido como resultado incrementos del granizo.

2. Carece totalmente de fundamento y jamás se han encontrado resultados que señalen que, si en una zona se actúa contra el granizo, en las zonas cercanas se aumenta la probabilidad de que aumente. Es más, han aparecido signos de lo contrario.

3. En un buen número de zonas, se han efectuado estudios conducentes a establecer la posible relación entre las actuaciones de lucha contra el granizo y la precipitación total. Éste es el caso del valle medio del Ebro. Los resultados han mostrado de forma clara que ni en las zonas en donde se hace, ni en las limítrofes, aparecen signos de incremento o disminución de la precipitación total.

4. El hecho de que las actuaciones de lucha contra el granizo utilicen sustancias químicas, con una capacidad muy elevada para generar núcleos de congelación, provoca que una escasa cantidad de este material produzca los efectos deseados. A lo largo de una hora de emisión de un generador, de los habitualmente empleados en actuaciones de lucha antigranizo, se consumen del orden de unos 15 ó 20 gramos de AgI. Su capacidad para producir núcleos de congelación suele ser del orden de $15 \text{ ó } 20 \times 10^{14}$ núcleos. Todos los estudios efectuados en diversas zonas del mundo señalan que no hay efectos de contaminación en el agua de precipitación que puedan ser atribuidos a estas actuaciones. La concentración es demasiado baja.

Resultados positivos encontrados acordes a los objetivos

En los últimos años se han encontrado resultados experimentales que se insertan en la dirección de estos dos objetivos. Así, se recoge en la literatura científica, que:

— en Dakota de Norte las actuaciones de lucha contra el granizo han provocado un aumento en las cosechas por disminución de las caídas de granizo;

— en Francia se ha encontrado una relación entre energía de las piedras y cantidad de material de AgI empleado en actuaciones de lucha contra el granizo. Los resultados apuntan a una disminución de la energía cercana al 20%. Esto se puede traducir en una disminución de daños bastante considerable;

— en León, recientemente, se han encontrado resultados que señalan una reducción de las zonas afectadas por caídas de granizo como consecuencia de las actuaciones de lucha contra el granizo.

Es claro que, a la vista de los resultados encontrados en la literatura científica de los últimos años, los objetivos de la lucha contra el granizo pueden orientarse hacia:

— disminuir la energía con la que llega al suelo haciendo que el daño en las plantas sea menor;

— disminuir las áreas afectadas por caídas de piedra de granizo;

En el valle del Ebro, en 1997, se pudo comprobar, mediante medidas directas realizadas en el interior de una tormenta sembrada con generadores de suelo, que las hipótesis de la competición beneficiosa se cumplían experimentalmente. Es decir, que las hipótesis en las que se basa la lucha antigranizo se cumplían conforme a los objetivos.

Parece claro que, si se planifican de forma correcta las actuaciones y después se opera conforme a las normas establecidas, cabe esperar resultados positivos aun con las limitaciones a las que se hacía mención anteriormente.

Aragón tiene ante sí una etapa en la que las nuevas tecnologías pueden jugar un papel importante para paliar un problema que es posible que esté generando unas pérdidas de más de 25 M anuales (algo más de 4.000 millones de pesetas). El Departamento de Agricultura del Gobierno de Aragón está apoyando la renovación tecnológica de las antiguas agrupaciones de lucha antigranizo, fomentando nuevas fórmulas con mayor capacidad legal y financiera. Además, está generando la discusión y divulgación científica de los aspectos relativos a la lucha en un intento de encauzar, de una forma serena y realista, el problema que generan las caídas de granizo en Aragón.

(*) LABORATORIO DE FÍSICA DE LA ATMÓSFERA.
(UNIVERSIDAD DE LEÓN).



Figura 1. La Universidad de León, en colaboración con otras entidades, desarrollará durante el trienio 2001 a 2003 un proyecto de investigación financiado por la CICYT con objeto de identificar las tormentas que dan lugar a precipitaciones de granizo en el valle medio del Ebro. En esta fotografía vemos la instalación del radar meteorológico capaz de detectar todas las formaciones tormentosas en un diámetro de 300 km en torno a Zaragoza.