

# EL PROYECTO DE INTENSIFICACION DE LA PRECIPITACION DE LA OMM - PIP

Por Roland LIST\*

## *La necesidad de producir lluvia*

El aumento de la población del mundo significa que se debe dar más importancia al empleo prudente y eficaz de los recursos hídricos. El agua es un elemento esencial para, *inter alia*, el consumo por el hombre, el uso en la agricultura y los métodos no contaminantes de producción de energía. De hecho, el problema del abastecimiento de agua para mantener la raza humana puede muy bien adquirir proporciones análogas al problema de los recursos energéticos.

Actualmente se realizan esfuerzos muy notables para aumentar la cantidad de agua disponible, mediante una administración mejorada de las cuencas fluviales y una reducción de las aguas residuales. La intensificación artificial de las precipitaciones es tan sólo una de un conjunto de medidas consideradas y se sabe que las condiciones con las cuales puede aumentarse la precipitación artificialmente se producen escasamente, al menos teniendo en cuenta el estado actual del arte de la modificación artificial del tiempo. La naturaleza realiza ya un magnífico trabajo sin nuestras interferencias.

Sin embargo, en zonas agrícolas marginales, la productividad podría ser aumentada enormemente y transformada la región aún con los pequeños aumentos relativos de precipitación que se cree podrían obtenerse mediante un programa sistemático de intervención humana en el proceso de formación de la precipitación. Tal intervención fue iniciada por Langmuir, Schaefer y Vonnegut en 1946-47 y actualmente se estima que, en condiciones favorables, los totales anuales de precipitación pueden aumentarse de este modo entre un 10 y un 20 por 100. Cuando consideramos la evolución experimentada en estos últimos treinta años, puede esperarse un nuevo aumento de magnitud similar hacia el año 2000.

Aunque para un extraño los progresos en la modificación artificial del tiempo pueden parecer extremadamente lentos, se han conseguido avances muy importantes. Hoy día ya no hay ninguna duda de que disponemos de la tecnología necesaria para dispersar las nieblas frías y cálidas y también para inducir a nubes aisladas y a capas nubosas a producir precipitaciones, si las condiciones son adecuadas. Sin embargo, cuando se trata de un sistema completo de nubes, nuestro conocimiento científico es totalmente inadecuado para permitir estas afirmaciones. El problema principal es que no podemos predecir con precisión la cantidad de lluvia que se producirá con o sin intervención. Aquí pues, la investigación sobre los sistemas precipitantes cae bajo los requisitos

---

\* El Profesor List del Departamento de Física de la Universidad de Toronto, es presidente del Grupo de Expertos del Comité Ejecutivo/Grupo de Trabajo de la Comisión de Ciencias de la Atmósfera en Física de Nubes y Modificación Artificial del Tiempo.

mucho más amplios de los Servicios Meteorológicos para mejorar su capacidad de efectuar predicciones.

Se ha reconocido siempre que los objetivos de los proyectos, experimentales a gran escala, aunque sean ambiciosos, que están patrocinados por la OMM, deben estar ligados al conocimiento científico y tecnológico disponible y a la escala cronológica en la cual pueden esperarse razonablemente avances de mayor importancia. Sin embargo, el séptimo Congreso Meteorológico Mundial en 1975 acordó que había llegado el momento de embarcarse en un experimento planeado, ejecutado y evaluado internacionalmente sobre un aumento artificial de las precipitaciones y aprobó el Proyecto de Intensificación de la Precipitación de la OMM (PIP).

### *El plan del PIP*

Las tres fases en las cuales se dividirá el proyecto son:

- La selección del lugar;
- La experimentación de campo;
- La evaluación de los resultados.

La selección del lugar en donde realizar la experimentación principal en la segunda fase del PIP ha sido considerada siempre como crucial para todo el proyecto. Debe tenerse en cuenta el propósito principal del PIP que es demostrar a un nivel estadísticamente significativo si la precipitación en el suelo puede ser aumentada sobre una región en donde sería de importancia económica. El modo de presentar las conclusiones debe ser tal que imponga su amplia aceptación por parte de la comunidad científica.

Al desarrollar el plan del PIP, dentro de las directrices generales aprobadas por el Congreso, el Grupo de Expertos del Comité Ejecutivo en Modificación Artificial del Tiempo (que es también el Grupo de Trabajo de la Comisión de Ciencias de la Atmósfera en Física de Nubes y Modificación Artificial del Tiempo) ha cuidado en todo momento de salvaguardar la integridad y objetividad científicas del PIP, hecho que ha sido reconocido con satisfacción por el Comité Ejecutivo.

El grupo de expertos llegó a la conclusión de que la superficie ideal máxima experimental debería ser del orden de los 50.000 km<sup>2</sup>, pudiendo así contener una superficie blanco de 10.000 km<sup>2</sup> y una o más áreas de control de dimensiones análogas, pero bien separadas del blanco. Se insistió en la necesidad de que la región experimental fuese relativamente homogénea, sin variaciones muy grandes ni en las cantidades de precipitación ni en las condiciones meteorológicas que dan lugar a las precipitaciones. Otras exigencias eran disponer de registros meteorológicos adecuados y poder utilizar instalaciones fundamentales. Como la variabilidad de la precipitación es máxima en las regiones áridas, y una variabilidad natural elevada de la precipitación exige un período experimental muy largo, se consideró que, con el fin de que el experimento en sí mismo fuese de unos cinco años de duración, se necesitaría que la cantidad anual promedio de precipitación en el área experimental estuviese entre los 500 y los 700 mm.

La evaluación de las consecuencias de la siembra de las nubes durante el experimento tendrá que realizarse por métodos estadísticos porque, como ya hemos dicho, no tenemos un conocimiento suficiente de los mecanismos que forman la precipitación. Por lo tanto, después de una selección inicial de los lugares más prometedores, de entre las 16 propuestas originalmente, se realizaron experimentos de simulación numérica sobre la base de los datos de precipitación registrada y correspondientes a dichos lugares. El propósito de estos experimentos simulados era el de establecer si un aumento hipotético en la precipitación, de un 10 ó un 20 por 100 sería detectable sobre la variabilidad natural de las lluvias que aparecen en los registros de los diez o más años anteriores. La Organización de Investigaciones Científicas e Industriales de la Commonwealth de Australia realizó estos experimentos.

A la vista de los resultados, junto con las visitas a los lugares propuestos y los estudios climatológicos, el grupo de expertos llegó a la conclusión de que eran los puntos en Australia y España los que mejor cumplían los requisitos necesarios para el experimento del PIP. Esto llevó a la tercera etapa de la fase de selección de lugares que está destinada a determinar si las nubes sobre la región propuesta son adecuadas para la siembra y si se producen con la suficiente frecuencia para garantizar las esperanzas de un aumento de precipitación que fuese de alguna importancia y que sea detectable. Conseguir esto requiere una investigación intensa in-situ de la microfísica de nubes durante dos años, los requisitos operativos para la misma son casi tan grandes como los de la fase dos del experimento mismo. Cuando la Junta Interina del PIP, órgano responsable de la dirección del proyecto, examinó los recursos prometidos por los Miembros cooperadores, resultó evidente que, por razones económicas y logísticas, la ayuda internacional sólo sería adecuada para las operaciones que se realicen en España.

### *Fase de selección de lugares, Etapa 3*

Por lo tanto, aunque el plan originalmente concebido preveía que se examinasen dos o tres localizaciones en la tercera etapa de la fase de selección de lugares, esto se realizará para la única localización en España, para asegurar que las condiciones en esta región están suficientemente próximas a las deseadas para justificar la continuación del programa de siembra de nubes en la fase experimental.

La localización en España está situada en la parte noroeste del país, en la llanura que cruza el río Duero. La ciudad de Valladolid (con una población de 240.000) está casi en el centro de la región y las oficinas centrales de campo se instalarán en el aeropuerto local.

Los elementos disponibles serán aviones para las medidas rutinarias microfísicas y de nubes; un radar para descubrir zonas de precipitación y seguir su evolución; estaciones de observación aerológica; una red de observaciones meteorológicas a meso-escala, con una oficina de análisis y predicción para determinar el carácter de las situaciones sinópticas y el estado de la atmósfera sobre la región; una red de pluviómetros (incluyendo unos 50 a 100 pluviógrafos) para dar información sobre las configuraciones de precipitación en relación con los sistemas nubosos; un laboratorio móvil para registrar las distribuciones de tamaños de las

gotas de lluvia y, cerca de las oficinas centrales, contadores de núcleos de hielo y de condensación. Se espera también tener acceso a los datos del METEOSAT.

El avión podrá volar con tiempo moderadamente malo tanto de día como de noche y estará equipado para medir variables tales como la temperatura del aire, presión atmosférica, humedad relativa, contenido en agua líquida, concentraciones de partículas de hielo y distribuciones de los tamaños de las gotitas. Para ciertos períodos, durante los cuales se disponga de aviones de investigación grandemente perfeccionados, se harán medidas de parámetros dinámicos, tales como las ascendencias y la convergencia en las nubes, así como la turbulencia.

Actualmente se está preparando un plan de operaciones por el Grupo Científico del Planificación del PIP en colaboración con los directores de los diferentes subsistemas, de tal modo que se pueda asegurar que se lograrán los objetivos científicos. Se espera que las operaciones de la Etapa 3 comenzarán en enero de 1979.

Como ya se mencionó, la principal finalidad es la de establecer la *aptitud para la siembra* de las nubes cuando se emplea la técnica ordinariamente mejor conocida, a saber, la dispersión del yoduro de plata. Se cree que en la zona de España durante la estación en cuestión la mayor parte de la precipitación se produce mediante el proceso Wegener-Bergeron-Findeison (se forman partículas de hielo por sublimación del vapor sobre núcleos de hielo, las cuales crecen por subsiguiente sublimación y captura de gotitas por barrido) y que la precipitación llega al suelo en forma de lluvia (ya que las medidas de la nieve caída no son adecuadas para valorar la intensificación de las precipitaciones).

El empleo del yoduro de plata es efectivo solamente si hay carencia de núcleos glaciógenos naturales. Por otra parte, en la naturaleza hay frecuentemente un proceso de multiplicación de gránulos de hielo que al actuar es suficiente para vencer la escasez de los núcleos glaciógenos. En tales circunstancias, la intervención artificial sería de poco o ningún valor. En consecuencia, las investigaciones con aviones deben determinar el fenómeno que da lugar a la precipitación y si hay regiones suficientemente grandes de nubosidad sobreenfriada, en las cuales la siembra del yoduro de plata sería eficaz.

Suponiendo que las nubes son aptas para la siembra, es necesario todavía saber dónde y cuándo dispersar el material de siembra, de modo que llegue a la región adecuada de la nube con la concentración adecuada. Así se planea empezar los estudios de penachos sembrados (dispersión del reactivo sembrado) durante el segundo año de la Etapa 3. Además de asegurarse de que la siembra tendrá los efectos deseados sobre la nube, el seguimiento del reactivo permitirá también el estudio de cualesquiera efectos fuera de la zona de blanco. La contaminación de las comarcas de control aumentando o disminuyendo la precipitación en ellas podrá ser entonces evitada mediante una elección adecuada. Los efectos exteriores al blanco son muy importantes, relacionados con los problemas legales debidos a la redistribución de las precipitaciones, supuestamente asociada con un proyecto de siembra de nubes, campo en el cual la OMM y el PNUMA están conjuntamente interesados.

La Etapa 3 de la fase de selección de lugares permitirá también que un cierto número de funcionarios meteorológicos de España y de otros lugares puedan familiarizarse con los procedimientos necesarios para la preparación de un proyecto de modificación artificial del tiempo. Se aprovechará la oportunidad de encontrarse en España muchos de los principales investigadores, que trabajan en este campo, para organizar un seminario de formación profesional. El Comité Ejecutivo ha aprobado la concesión de cinco becas para sufragar la asistencia de personas procedentes de países en desarrollo.

### *Planes del experimento*

Recientemente se ha publicado el Documento de Diseño del PIP (PEP Report N.º 9). En él se bosquejan los puntos conflictivos que deben ser investigados cuidadosamente antes de poder redactar el plan de operaciones.

La parte esencial del PIP es, desde luego, el experimento de evaluación estadística. Hasta ahora, los proyectos de modificación artificial del tiempo han empezado normalmente como experimentos exploratorios en los cuales se establecían correlaciones razonables comparando los cambios en la precipitación durante los períodos de siembra con las variables meteorológicas y comprobando a continuación estas correlaciones en un experimento de siembra confirmatorio. Se espera que durante el PIP será posible establecer índices de predicción durante la Etapa 3 de la Fase de Selección de lugares, que podrán ser usados para reducir el trabajo de exploración y aumentar la fuerza de las evaluaciones estadísticas. Sin embargo, no es seguro que esto sea posible y, en todo caso, los cálculos estadísticos pueden indicar solamente que las probabilidades son de que puede darse un cierto grado de confianza a los resultados de un experimento de siembra. Es luego el experimentador quien debe decidir si el resultado obtenido es aceptable.

No obstante, el hecho de que la valoración estadística sea un requisito fundamental del PIP, siempre se ha estado de acuerdo en que se necesita encontrar una relación física detallada entre causa y efecto que justifique el resultado estadístico. Esto quiere decir que las mediciones microfísicas y meteorológicas semejantes a las realizadas en la Etapa 3 de la Fase de Selección de lugares deberán ser continuadas hasta el fin de la fase experimental. Se harán esfuerzos constantes para aumentar nuestros conocimientos científicos sobre los procesos que producen la precipitación y para mejorar la meteorología de la siembra.

Es necesario comprender y predecir la *eficiencia en precipitación de los sistemas nubosos*, para descubrir por qué algunas nubes y sistemas de nubes convierten muy eficazmente su contenido de agua en precipitación, en tanto que otras producen muy poca o ninguna precipitación. Se espera obtener unos datos básicos que puedan ser usados en modelos hipotéticos a mesoescala y a escala sinóptica, para simular los procesos naturales hasta que encontremos que podemos predecir la precipitación con una precisión razonable, indicando así una comprensión adecuada del proceso considerado. Esto proporcionaría además una clave valiosa para la cuestión de si los métodos de siembra del PIP y sus resultados podrían ser «aplicados» a otras regiones del globo.

Importantes cuestiones que hasta ahora han recibido muy poca atención están relacionadas con la técnica de la siembra: ¿dónde introducir el reactivo de siembra, por qué método, durante cuanto tiempo y con qué concentración? Un mayor conocimiento de este problema podría permitir la aplicación de la estrategia de siembra más eficiente en situaciones determinadas, y, por lo tanto, mejorar grandemente las probabilidades de éxito en un proyecto de intensificación de las precipitaciones.

Ante nosotros hay mucho trabajo muy interesante, siempre que pueda disponerse de los recursos adecuados y de mano de obra. El entusiasmo de la comunidad científica debe ser mantenido y, aún más, avivado para apoyar al PIP a través de los Miembros de la OMM, de las organizaciones científicas internacionales y de las instituciones nacionales de investigación. Esto sería ciertamente favorecido gracias a unos canales de comunicación mejorados, quizás, mediante comités regionales y nacionales del PIP para mantener un íntimo contacto con los directores del PIP y asegurar así una verdadera participación internacional en el proyecto.

Si resulta que se utilizará la localización en España para el principal experimento del PIP, la comunidad internacional podrá contar no sólo con un apoyo substancial básico y científico del país anfitrión sino también con un medio circundante agradable y atractivo para el trabajo, en una región culta y de gran historia, con una población local amistosa.

#### *Enseñanzas preliminares del procedimiento de selección de los lugares*

Una revisión de los lugares propuestos inicialmente mostró gran variedad de características locales físicas y climatológicas que habrían requerido enfoques hechos a la medida para cualquier proyecto de intensificación de la lluvia que se hubiera realizado en ellos. Sin embargo, esto no significa necesariamente que no sea posible la «transferencia» de los métodos de siembra y de los resultados probables de una región a otra, al menos de un modo general.

Se ha demostrado muy claramente que no se comprenden los mecanismos detallados de los procesos productores de lluvia, ni el modo de hacerlos variar de una estación a otra en un sitio determinado ni de un punto a otro. Para adquirir un conocimiento de este campo crítico necesitamos climatologías nubosas mucho mejores y climatologías de las variables microfísicas de las nubes. Se requiere este tipo de inventarios si debemos hacer una estimación de la utilidad de la modificación artificial del tiempo sobre una superficie muy grande, digamos un continente. Una valoración positiva aquí llevará a las siguientes preguntas: ¿Cómo afectará a la atmósfera en general esta modificación artificial del tiempo a gran escala? ¿Serán sus efectos ciertamente beneficiosos, o podrán tener consecuencias perjudiciales sobre la circulación general y sus sistemas nubosos asociados? Estas preguntas necesitan ser planteadas y encontradas sus respuestas en lo próximos decenios para que podamos planear proyectos de modificación artificial del tiempo de tal modo que estemos seguros, por el conocimiento de que el resultado será beneficioso.

Como ya se ha dicho, actualmente y en un futuro previsible, el único modo de juzgar si un proyecto ha tenido éxito es a base de una evaluación estadística. Por lo tanto, siempre que se trate de un proyecto para aumentar las precipitaciones debe considerarse esencial disponer de un buen registro

de precipitaciones con diez o más años de duración. No debe perderse tiempo en establecer la red necesaria de pluviómetros en la región sobre la cual va a realizarse el proyecto.

La experiencia ha demostrado que las precepitaciones raramente pueden producirse o intensificarse por medios artificiales en épocas de sequía, por falta de nubes. Los mejores resultados parecen obtenerse cuando ya está lloviendo. El hecho de que no podamos «abrir el grifo» a voluntad exige una mejor administración del agua, con medios para almacenar el agua de lluvia ya sea aumentando el nivel de las aguas subterráneas (si las pérdidas por la corriente de los ríos no son demasiado grandes) o en lagos artificiales o embalses. Los últimos pueden ser más efectivos, ya que tal almacenamiento suele hacerse en comarcas montañosas en donde la actual tecnología de intensificación de las precipitaciones parece ser más fructífera. En otros casos habría inevitablemente costos mayores a causa de los sistemas de regadíos, bombeos y distribución del agua.

### *Conclusiones*

Debe ser subrayado que el PIP nunca fue destinado a responder de una vez por todas a la cuestión de si la intensificación de la precipitación como un concepto operativo es factible o no. Los resultados, en el mejor de los casos, serán conclusivos solamente para la región en la cual se ha realizado el experimento principal. No obstante, si los resultados del PIP son positivos, hay buenas esperanzas de que sea posible hacer lluvia en otras partes en condiciones semejantes.

### *Agradecimientos*

La fuente material para este punto de vista personal sobre el PIP se encuentra en las decisiones e informes del Congreso de la OMM, de su Comité Ejecutivo, la Junta Interina del PIP, el Grupo de Expertos del CE/Grupo de Trabajo de la CCA en Física de Nubes y Modificación Artificial del Tiempo, el Grupo de Planificación Científica de la Secretaría de la OMM, la serie de informes del Programa de Modificación del Tiempo y en la Nota Técnica N.º 154 *The scientific Planning and organization of precipitation enhancement experiments, with particular attention to agricultural needs* por el Dr. J. Maybank.

## **ANALISIS DE ALGUNOS FENOMENOS METEOROLOGICOS EXCEPCIONALES EN 1977 - PARTE II**

### **Condiciones meteorológicas regionales** (*Continuación*)

#### **EUROPA**

*Temperatura e insolación:* Las características más importantes de 1977 fueron la poca insolación durante el invierno, la primavera y el verano (especialmente en la Europa continental occidental y central), un verano frío y un otoño cálido.

Todo el año, el régimen térmico estuvo lejos de ser uniforme tanto en el espacio como en la cronología. Hasta mayo se registraron en toda