

## **MODIFICACION DEL TIEMPO Y DEL CLIMA PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS**

*Artículo del Boletín de la  
Sociedad Geográfica de Colombia  
Números 89-90, Volumen XXIV  
Primer y Segundo Trimestre de 1966*

### **PREFACIO**

**E**n Noviembre de 1963, el Comité de Ciencias Atmosféricas de la Academia Nacional de Ciencias designó un Jurado acerca de Modificación de Tiempo y Clima para que "emprendiese una revisión deliberada y cuidadosa del estado actual de las actividades en este campo y de su potencial y limitación para el futuro". La faz en este campo había cambiado de una manera sutil desde que hizo su aparición en 1957 el informe final del Comité de Consulta del Presidente Eisenhower sobre Modificación del Tiempo. Ya era hora para una nueva evaluación más amplia.

El interés público en modificación del tiempo llevó también a la Fundación Nacional de Ciencias a establecer en Junio de 1964 una Comisión sobre Modificación del Tiempo. El Jurado de la Academia ha colaborado estrechamente con esta Comisión en los problemas científicos relevantes. La responsabilidad primordial de la Comisión es aconsejar a la Fundación Nacional de Ciencias sobre las actividades presentes y futuras de la Fundación en el campo de Modificación del Tiempo y responder a una solicitud del Comité interdepartamental de las Ciencias Atmosféricas para analizar los problemas y las potencialidades del tiempo. Como la Fundación tiene responsabilidades estatutarias amplias en modificación del tiempo, el informe de la Comisión tratará los aspectos económicos, legales y sociales de la cuestión, los cuales son también de interés para el Jurado de la Academia, pero que están fuera de sus responsabilidades y competencia específicas.

El Jurado resolvió que debía tratar de hacer una revisión científica completa y terminarla en dos años. También decidió que su utilidad sería grandemente disminuida si rehusaba discutir asuntos

polémicos o si trataba de evitar áreas críticas de conflicto y confusión. Por tanto, el proceso que ha llevado a este informe final, ha envuelto varios pasos. Primero, una serie de entrevistas con numerosos científicos interesados durante 1964, las cuales culminaron en una publicación limitada, en Octubre de ese año, de un informe preliminar. Segundo, este informe fue distribuido, con una invitación a la crítica, a una selección amplia de científicos de la atmósfera, en particular a aquellos que se ocupan directamente en investigaciones y programas de operación de modificación del tiempo. Las respuestas a este informe fueron muy estimulantes y valiosas para el trabajo posterior del Jurado, y condujeron al descubrimiento de datos que no habían estado disponibles previamente. Una serie de reuniones posteriores culminaron en la preparación de trabajos para discusión entre los miembros del Jurado y expertos invitados durante las dos semanas de estudio finales en Woods Hole, Massachusetts, en Agosto de 1965.

Para llevar a cabo su misión, el Jurado emprendió el examen de todos los aspectos relevantes científicos y técnicos de la modificación del tiempo. Procuró aprovecharse de la experiencia acumulada por aquellos que se ocupan de operaciones de modificación del tiempo, bien a través de sus escritos, bien a través de contactos personales y discusiones. El Jurado no entró en detalle en los complejos aspectos legales, sociológicos y económicos de la modificación del tiempo, pero, a través de su trabajo, estuvo muy al tanto de estos factores no técnicos.

El tiempo total de reunión del Jurado fue de 34 días, durante los cuales se oyeron a 56 expertos invitados. Además, los miembros del Jurado dedicaron gran cantidad de tiempo a la preparación de informes y escritos de proposición. También emprendieron investigaciones sistemáticas para amplificar y sostener averiguaciones anteriores. Aquí debe hacerse mención especial del trabajo de James E. McDonald, el cual a través de la primavera y verano de 1965 dedicó parte de su estudio de informes de inseminadores comerciales de nubes y el de Joseph Smagorinsky, quien instigó un estudio de los efectos de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> en el balance de la radiación en la estratósfera, los cuales fueron llevados a cabo en su laboratorio por Syukuro Manabe. El Jurado también reconoce con gratitud la contribución de dos estudios adicionales especiales sobre los efectos de la siembra de nubes, uno conducido en la Administración de Servicios y Ciencias del medio ambiente (antiguo Negociado del Tiempo) por Glenn W. Brier y Dwight B. Kline, y el otro en la Corporación RAND por Theodore E. Harris, Albert Madansky, R. Rober Rapp y Charles Schutz, Estos informes especiales están incluidos aquí como apéndices al Volumen II.

El presente informe es el resultado de dos años completos de estudios y examen por el Jurado. El Volumen I contiene un resumen del estado actual de la modificación del tiempo y del clima,

sugerencias para investigaciones esenciales y recomendaciones de acciones que parecen ser mandatorias para asegurar un progreso ordenado y rápido en el futuro. El Volumen II presenta la información sobre la cual el Jurado ha basado sus conclusiones y recomendaciones. Ciertas conclusiones emitidas en este informe están en con tradición con las del informe preliminar de Octubre. El informe actual refleja el uso de datos que no estaban disponibles al Jurado cuando se emitió el informe preliminar. Los dos Volúmenes de este Informe Final suplantán completamente el informe preliminar del Jurado.

El Jurado quiere expresar su gratitud a Ralph E. Huschke, de la Corporación RAND por su devota asistencia durante los meses finales en que estuvo en preparación este informe final. Thomas S. Malone, Presidente del Comité de la Academia Nacional de Ciencias sobre Ciencias Atmosféricas, fue una constante fuente de valiosa guía para el Jurado y John R. Sievers, el Secretario Ejecutivo del Comité, desempeñó capazmente todos los muchos e importantes detalles de administración. El Jurado reconoce agradecido la oportunidad de emprender este estudio en Favor del Consejo de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias, con el apoyo de la Sección de Ciencias Atmosféricas de la Fundación Nacional de Ciencias y la Administración de Servicios y Ciencias de los Alrededores, bajo la Orden de Trabajo N° 83 del NSF-C310.

*Gordon F. McDonald*

*Presidente, Jurado sobre Modificación del Tiempo y Clima.*

Noviembre de 1965.

## **INTRODUCCION**

La materia sobre modificación del tiempo y clima se interesa en cualquier cambio artificial en la composición, conducta o dinámica de la atmósfera. Estos cambios pueden ser o no predecibles, su producción deliberada o inadvertida, pueden ser transitorios o permanentes, y pueden manifestarse en cualquier escala, desde el microclima de las plantas hasta la macrodinámica de la circulación atmosférica global. El alcance del esfuerzo intelectual necesario en este campo es correspondientemente grande. Los problemas de modificación atmosférica presentan un reto tanto a la meteorología como a muchas otras disciplinas profesionales, científicas y de ingeniería. Las áreas de mayores problemas, además, son similares en clase y amplitud a las que se encuentran en las Ciencias del medio ambiente.

Uno puede preguntarse por qué debe hacerse hoy un estudio tan detallado de modificación del tiempo como el que hemos emprendido. Aproximadamente durante la década anterior han ocurrido cambios sutiles, pero significativos, en los prospectos a largo plazo para modificación del tiempo; en muchos aspectos fundamentales, la era anterior de especulación ha sido sustituida gradualmente por el presente período en el cual la exploración sistemática y racional de las potencialidades de modificación del tiempo es posible. Hay algunos cambios que sobresalen como factores responsables de esta mudanza.

- 1) *La formulación de teorías de procesos atmosféricos, que aumentan día a día en elaboración y complejidad, han avanzado hasta un estado tal que ya pueden construirse modelos matemáticos moderadamente realísticos, los cuales van desde la escala micrometeorológica a la global. Si bien crudos y rudimentarios en muchos casos, estos modelos constituyen un primer paso necesario para reducir el grado de empirismo que ha caracterizado las especulaciones que se refieren a la modificación de la atmósfera.*
  
- 2) *Antes de 1950, estos modelos matemáticos eran en sin mayor parte improductivos debido a la abrumadora complejidad matemática de las ecuaciones que constituían los modelos. La llegada de los computadores de gran velocidad en la última década ha alterado radicalmente esta imagen. Las velocidades de computación y las capacidades de memoria han sido elevadas en varios órdenes de magnitud, y un grupo cada vez más nutrido de investigadores de las ciencias atmosféricas han comenzado -a utilizar esta nueva y poderosa herramienta para analizar aspectos cruciales de la física de la atmósfera. La meta práctica e importante del pronóstico numérico mejorado se ha convertido en un estímulo*

que ha llevado recientemente a muchos investigadores a conducir, con los computadores, estudios cada vez más complejos en la amplia área de experimentación con modelos numéricos. Hoy en día, la simulación numérica, si bien impresionantemente compleja y variada en alcances, es ciertamente solo un paso primitivo hacia niveles futuros de mayor comprensión de las sutiles y altamente interdependientes labores de nuestra atmósfera; pero es un principio con profundas implicaciones pronosticables para la modificación del tiempo. Este desarrollo por sí solo es suficiente para justificar un nuevo y más profundo examen de los prospectos en la modificación del tiempo.

- 3) *La habilidad del hombre para observar y medir la atmósfera y su mirada de parámetros ha crecido constantemente.* Dos décadas de mejoramiento en el uso de aviones como plataformas de observación, dos décadas de elaboración de las técnicas de radar meteorológico y pronto una década de experiencia con las incomparables capacidades de observación sinóptica de los satélites meteorológicos, combinadas con muchos otros avances en los sistemas de instrumentación y observación, permiten una casi completamente nueva dimensión en la habilidad del hombre para mantenerse en contacto con los rápidos cambios que son tan característicos del tiempo. Claramente podemos esperar nuevos mejoramientos en el futuro, pero uno *siente* que ya tenemos a mano los requisitos necesarios de habilidad instrumental con qué medir y vigilar adecuadamente muchos de los sistemas atmosféricos que pretendemos modificar.

Las tres consideraciones que hemos discutido arriba son de suficiente importancia básica para los prospectos de la presente y futura modificación del tiempo que, aún sin el estímulo particular de los avances actuales en modificación de nubes per se, sería éste un momento especialmente apropiado para emprender un reconocimiento del campo de modificación del tiempo. Indudablemente que nuestras técnicas disponibles actualmente (o que al menos reconocemos) parecerán primitivas en años venideros, pero creemos que una visión hacia el futuro y una tentativa de Sentar ciertas guías para el futuro inmediato, están a la orden del día.

Los objetivos de modificación del tiempo y del clima se enfocan hacia un *control*: producir deliberadamente cambios benéficos en el medio ambiente y tener bajo control, o evitar cambios que sean dañinos a la sociedad. Estos objetivos son tan ambiciosos como los que más se hayan confrontado a las ciencias físicas. Aún una pequeña medida de control del tiempo podría ser de gran valor, pues mientras más compleja e interdependiente crece nuestra sociedad industrial, más vulnerable se torna a desastres naturales de todas clases.

En cierto sentido la modificación del tiempo hoy en día es una realidad. El hombre puede y de hecho interfiere a la atmósfera de varias maneras. Su habilidad para producir cambios deliberados benéficos es aún muy limitada e incierta, pero ésta no es ya ni económica ni políticamente trivial. Las consecuencias de modificaciones inadvertidas, a las cuales sabemos que el hombre es parte contribuyente, son mal conocidas. Estas incertidumbres cruciales no podrán ser eliminadas hasta que las perturbaciones artificiales puedan ser distinguidas de las naturales. En resumen, el campo de la modificación del tiempo no podrá progresar independientemente de una comprensión básica que nos lleve a una predicción más refinada de los procesos atmosféricos. Los pasos inmediatos, científicos y de ingeniería, hacia esta meta múltiple son claros: un nuevo programa de investigación y operación de modificación del clima en una escala muy diferente de la que existe actualmente.

## **PROGRESO Y PROBLEMAS EN MODIFICACION DEL TIEMPO**

Los siguientes párrafos constituyen un resumen de nuestras conclusiones acerca del estado actual de la investigación, desarrollo y operación de programas de modificación del tiempo y clima.

El Volumen II contiene un estudio sumamente detallado y crítico de este campo, y representa el consenso científico sobre el cual el Jurado ha basado las recomendaciones que se presentan en la última sección de este Volumen. Nosotros urgimos al lector interesado que se refiera al Volumen II para detalles, puesto que muchos de ellos deben ser omitidos en un informe sumario como el presente. La organización del Volumen II, representa la identificación del Jurado con cuatro problemas principales: modificación de nubes y sistemas de tormentas, modificaciones en gran escala del tiempo y clima, modificación de climas locales y regionales, y modificación inadvertida de la atmósfera. Como adición, hemos identificado un cierto número de problemas especiales que ameritan énfasis porque se aplican a varios objetivos y los cuales han sido seriamente abandonados a pesar de su importancia.

## **MODIFICACION DE NUBES Y SISTEMAS DE TORMENTAS**

1. Hay evidencia estadística en aumento, pero todavía algo ambigua, de que la precipitación de cierto tipo de nubes y sistemas de tormentas puede ser modestamente aumentada o redistribuida con la técnica de siembras. Las implicaciones de estos resultados son numerosas y deben ser de preocupación nacional inmediata. La evidencia es completa y en parte contradictoria. El punto de vista actual del Jurado sobre los prospectos actuales del

estímulo de lluvia difieren de los que expresó en el informe preliminar (que fueron negativos). Este cambio de opinión se basa, no solamente en un estudio detallado de proyectos de operación sino también en nuestra revisión de un número sustancial de programas experimentales recientemente completados. Las bases teóricas para deducir los efectos de las siembras de nubes son aún muy crudas porque carecemos de un conocimiento detallado de los detalles físicos de muchos procesos importantes en las nubes. Hay, pues, pocos principios que pueden servir de guía para mejorar los efectos de las siembras y para extrapolar las expectativas de las siembras a otras localidades. Con respecto a los proyectos de operación práctica (comerciales), hacemos énfasis de que la ausencia de siembras hechas al azar nos impide llegar a conclusiones definitivas. Sin embargo, creemos que puede derivarse mucha información útil sobre la eficacia de las siembras del escrutinio cuidadoso que hemos intentado. A continuación, revisaremos la experiencia de las siembras de nubes en tres clases de sistemas: tormentas orográficas, nubes tipo cúmulos y ciclones extratropicales. Esta clasificación es algo artificial, pero útil para nuestros propósitos.

- a) **Tormentas orográficas.** La evaluación (por el Jurado) de 41 estaciones-proyectos de siembras orográficas de nubes hechas por operadores comerciales en el Oeste de los Estados Unidos apoyan la conclusión (del Comité de Consulta sobre Control de Tiempo hecha en 1957) de que aumentos de precipitación del orden del 10 por ciento pueden resultar de la siembra con yoduro de plata desde tierra de sistemas de nubes orográficas en invierno. Resultados similares pero más variables y con resultados más equívocos han llegado de operaciones similares en muchas partes del mundo. En la actualidad hay dos proyectos de este tipo con siembras aleatorias (al azar) en los Estados Unidos; los resultados de los mismos han de ser de gran interés.
- b) **Nubes tipo Cúmulo.** La evidencia experimental y operacional de la estimulación de cúmulos es altamente confusa. Las evaluaciones del Jurado de 14 proyectos de siembras con yoduro de plata en el Este de los Estados Unidos, las cuales incluyen, pero no estaban limitadas a nubes tipo cúmulos, indican aumentos variables en la precipitación, los cuales promedian de un 10 a un 20 por ciento de aumento en las áreas nominales de blanco. Un estudio reciente de continuidad, hecho a solicitud del Jurado, sugiere que aumentos comparables existen hasta 240 km. a sotavento de la zona del blanco. El proyecto "Whitetop", un experimento de siembras aleatorias de cúmulos en Missouri, indica tentativamente aumentos, del 5 al 10 por ciento en la zona de blanco y también una disminución del mismo orden (sombra de lluvia) a sotavento del blanco. Las conclusiones finales del proyecto "Whitetop" son esperadas con gran

interés. Con base a un número de experimentos con siembras aleatorias llevadas a cabo en Australia, los investigadores han llegado a la conclusión de que los efectos positivos mayores de las siembras tienden a ocurrir en sistemas cumuliformes. Varios proyectos recientes exploran la importante cuestión de si el calor latente de fusión, el cual puede ser liberado por la siembra con yoduro de plata, puede tener un efecto discernible en el crecimiento y en el balance de precipitación de los cúmulos.

- c) ***Ciclones extratropicales (no-orográficos)***. No hay evidencia clara de éxito en estimular precipitación en este tipo de tormenta en los Estados Unidos; pero ha habido pocos esfuerzos en esta dirección, excepto por operadores comerciales, los cuales no han hecho distingos entre las tormentas ciclónicas y las de otros tipos. Los informes de Rusia, Israel y Japón, indican aumentos de distintas magnitudes, ambos con siembras con yoduro de plata y con hielo seco, mientras que otros informes (Australia, Canadá) no muestran aparentemente resultado positivo alguno. Los experimentos rusos muestran alguna evidencia de una disminución a sotavento (sombra de lluvia, más allá de la zona del blanco).

El problema principal en evaluar la inseminación, es la gran variabilidad del sistema principal de nubes precipitantes. Esta variabilidad se manifiesta en el espectro de tamaño de las gotas, en el contenido de agua líquida, contenido de hielo, estructura de temperaturas, circulación interna, electrificación y otros factores relacionados. Ninguno de estos factores puede medirse precisamente o estimarse bajo condiciones de campo para permitir otras que no sean crudas estimaciones de las nubes que son y las que no son inseminables, o para seleccionar las áreas más promisorias desde el punto de vista geográfico o sinóptico. Más aún, esta variabilidad abre la posibilidad de que puedan ocurrir disminuciones como resultado de las siembras, una posibilidad que bien puede tener también utilidad práctica. Es probable que ciertas nubes no responden bien a la siembra con yoduro de plata, p. ej., aquellas con abundantes núcleos congelantes naturales o con temperaturas superiores a 0°C. Este último tipo ha sido sembrado con un rocío de agua y partículas de sal, arrojando generalmente resultados positivos con el rocío y más bien resultados inciertos con la sal. La gran variabilidad natural de los cúmulos hace una evaluación estadística rigurosa mandatoria, y bien difícil, en estos casos.

2. *Hay una gran y variada opinión sobre si el granizo puede o no ser suprimido, o sus daños aliviados.* La premisa más prevalente es que el producirse muchos más embriones de



granizo Con la siembra por yoduro de plata, se obtendrá un granizo más pequeño, el cual causará menos daños y es más susceptible de derretirse antes de llegar al suelo. Los experimentos hechos en los Estados Unidos, utilizando generadores terrestres o aéreos no han sido concluyentes. Experimentos importantes a largo plazo en Suiza y Francia, no han llegado a ninguna conclusión. Sin embargo, los experimentos en la Argentina muestran resultados positivos para un cierto tipo de tormenta y negativos para otras. Los rusos Son mucho más optimistas, y reclaman éxito significativo al introducir yoduro de plata directamente en las partes superenfriadas de nubes con un alto contenido de agua líquida, por medio de cañones antiaéreos y cohetes. Estos programas se dice que han salvado en millones de rubios la pérdida de cosechas. Como el granizo es aún más variable que la precipitación, es más difícil obtener pruebas exitosas. Con base a los razonamientos físicos, sin embargo, no podemos excluir la posibilidad de que las siembras puedan a veces *aumentar* los daños del granizo. Un obstáculo fundamental para la obtención de técnicas más eficientes para supresión de granizo es nuestra falta de conocimiento de los procesos en las granizadas, especialmente de la dinámica de grandes nubes de tormenta. En este respecto, los proyectos de investigación sobre granizo en los Estados Unidos han sido hechos a retazos y con tamaño claramente subcrítico; estamos, por tanto, muy satisfechos de notar que hay esfuerzos actuales para establecer un programa de investigación integrado sobre granizo.

3. *Los experimentos sobre supresión de rayos están comenzando a mostrar resultados promisorios.* De acuerdo con el único programa expresamente diseñado con este fin (Proyecto Skyfire, del Servicio Forestal de los Estados Unidos), el concepto físico es producir por la siembra con yoduro de plata de una turbonada, una abundancia anormal de cristales de hielo que actúen como puntos adicionales para descarga en corona y alivien el gradiente del potencial eléctrico por medio de descarga en cortina antes de que pueda producirse una descarga eléctrica. Un ataque similar, propuesto por la Armada de los Estados Unidos, distribuiría dipolos de tirillas metálicas en la tormenta. Los resultados publicados por el proyecto Skyfire indican que se ha disminuido el número de rayos de nube a tierra. El trabajo futuro mostrará si se ha disminuido también la intensidad de las descargas así como su frecuencia.
4. *Con respecto a la modificación de huracanes y tomados, no debe esperarse éxito práctico antes de desarrollar teorías adecuadas sobre la génesis y comportamiento de estas tormentas.* Los cálculos actuales indican que las técnicas a base de fuerza bruta ofrecen

poca promesa para abrumar a los tomados y mucho menos los huracanes. Existe una posibilidad distante de que técnicas modernas, dirigidas hacia la dinámica de las nubes, puedan ser efectivas contra los tomados. La mayoría de los problemas cruciales en la teoría de huracanes está por resolver aún. Los recientes experimentos de modificación de huracanes (Proyecto Stornfury) han resultado en lo que bien podrían ser efectos artificiales en la muralla de nubes en el ojo de la tormenta, pero los cambios observados caen dentro de la posible variabilidad natural de los huracanes. La necesidad actual más inmediata es una observación continua de los huracanes desde su iniciación hasta su disolución, desde encima, dentro y por debajo de la tormenta.

5. *La disipación de las nieblas superenfriadas (frías) y estratos bajos es una operación practicable.* Las operaciones de eliminación de nieblas de este tipo de Groenlandia, por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, en la Unión Soviética, y en el Oeste de los Estados Unidos por varias líneas aéreas han mostrado la practicabilidad de esta disipación.

Tres técnicas de siembras han sido utilizadas: hielo seco, yoduro de plata y propano líquido, todas las cuales inician la formación de cristales de hielo y una subsiguiente caída de partículas de la nube. Todavía se buscan métodos de ingeniería mejorados por aquellos que se preocupan por la seguridad y eficacia de las líneas aéreas.

6. *En los últimos años no se ha hecho progreso significativo en la disipación de nieblas y estratos "calientes" (no superenfriados).* En 1938, se disiparon pequeños volúmenes de niebla caliente utilizando un rocío a base de cloruro de calcio; durante la Segunda Guerra Mundial y posteriormente, los aterrizajes de aviones en Inglaterra y los Estados Unidos, fueron ayudados por el costoso sistema "FIDO". El primer método utiliza la deliquesencia del cloruro de calcio para "desechar" la neblina; el último fuerza a la niebla a evaporarse o a alzarse por calentamiento por debajo. Experimentos recientes han utilizado, sin gran éxito, la siembra de sal seca y el establecimiento de fuertes gradientes eléctricos a través de la niebla. Se ha obtenido éxito limitado sembrando con rocío de agua para "lavar" la niebla, aplicando negro de humo para calentarla y evaporar la nube y con el uso de turbinas de reacción como una modificación del sistema FIDO, así como mezclando niebla de radiación con el aire seco encima utilizando helicópteros.

## **MODIFICACION DEL TIEMPO Y CLIMA DE AREAS EXTENSAS**

Puede decirse categóricamente que no hay en el presente momento manera de producir cambios predecibles en las características de gran escala del clima o de la circulación general de la atmósfera.

Si bien el hombre puede adquirir la capacidad tecnológica para introducir perturbaciones capaces de inducir reacciones atmosféricas masivas, hoy no podemos predecir con certitud alguna de las consecuencias de tales acciones. Mientras nuestra comprensión esté tan limitada, *el embarcarse en una experimentación vasta en la atmósfera sería una enorme irresponsabilidad*. Esto no quiere decir" sin embargo, que modificaciones mayores (en escala continental o más amplia) del tiempo no puedan ser viables y seguras algún día. Para acelerar este día y para resguardarnos contra proyectos prematuros, se sugieren tres vías relacionadas y convergentes de investigación.

1. Debe perseguirse un estudio comprensivo de la teoría de cambios climáticos naturales, aunque este sería un trabajo extraordinariamente dificultoso. En la actualidad estamos desentrañando detalles y modelos de fluctuaciones climáticas pasadas. Una cuestión capital es si nuestro régimen climático actual es relativamente estable o puede cambiar (o puede ser deliberadamente cambiado) de repente. La evidencia paleoclimática, una vez que se comprenda bien, puede darnos sugerencias de si existen inestabilidades de gran escala en la atmósfera.
2. La simulación teórica del comportamiento atmosférico global como un medio de probar las teorías climáticas, parece ser por el momento la vía más prometedora para probar tentativas en gran escala de modificación del tiempo y de la circulación atmosférica.

Nuestro esfuerzo principal debe dirigirse a obtener modelos teóricos válidos de la circulación atmosférica para ser integrados por computadores electrónicos de gran rapidez. Idealmente, estos modelos simularían la dinámica atmosférica y el clima global utilizando bases teóricas tan sólidas, que las consecuencias de perturbaciones artificiales podrían ser evaluadas. Los modelos numéricos actuales no son adecuados excepto para ciertas conclusiones generales muy crudas. Si bien la necesidad más inmediata es la de reforzar la teoría básica, debemos prestar atención a dos obstáculos prácticos inmediatos -computadores inadecuados e información global inadecuada- los cuales se discutirán más adelante en la sección que contiene las recomendaciones.

3. Debe dirigirse mucho más la investigación a los procesos de intercambio de energía en la capa-frontera tierra-aire. Una de las principales debilidades teóricas de los modelos actuales de la circulación atmosférica general es la representación imperfecta de las importantes interacciones a través de las interfaces tierra-aire y agua-aire. Desde el punto de vista de modificación del tiempo, esta debilidad es especialmente crítica, porque la mayoría de las propuestas de modificación del clima se basan en una modificación mecánica de la superficie de la tierra. Las contribuciones de la investigación de esta capa-frontera serían potencialmente de gran significación en muchos aspectos de modificación del tiempo y clima. Los experimentos en el campo deben explorar en detalle los efectos que puedan producirse en los intercambios de energía alterando el albedo, la aspereza, humedad y propiedades térmicas y radioactivas del material de la superficie terrestre. Hoy en día, deberían empezarse ya estos estudios sobre problemas de intercambio de energía en la capa-frontera con atención particular a los efectos de la turbulencia. Los resultados de investigaciones en pequeña escala podrían extenderse, tan pronto como fuese practicable, al desarrollo de teorías adecuadas de convección, sistemas de vientos locales, y otras manifestaciones de meso-escala de la influencia de la capa-frontera en la circulación atmosférica de gran escala.

1. *El potencial futuro de la modificación del clima local (agricultura) y regional (desierto) depende de lleno de nuestra comprensión del proceso de intercambio de energía en la capa-frontera.* Comoquiera que es la misma investigación que hemos discutido en el párrafo anterior, no entraremos en más detalle aquí excepto para señalar que los resultados de las investigaciones de micro y mesa-escala tienen aplicación directa en los estudios de modificación de clima local y regional. Varios métodos de alteración transitoria de ciertos aspectos del clima microagrícola han sido practicados por siglos. Los objetivos modernos son los mismos, primordialmente reducir daños a las plantas por heladas, exceso de calor y vientos. El Jurado no investigó en detalle este control en pequeña escala del clima.

2. *Parece ser teóricamente posible aliviar las condiciones desérticas en ciertas regiones, alterando las cualidades termales de áreas limitadas del suelo.* No se han propuesto aun pruebas en gran escala; cuando se hagan, éstas requerirán fondos substanciales y amplio apoyo logística. El concepto que ha recibido más atención teórica es el efecto de "montaña termal". Se ha propuesto ennegrecer la superficie (para disminuir el albedo) de un área limitada de costa desértica para estimular la convección y a su vez aumentar la nubosidad y la precipitación a sotavento. Se han formulado planes para una prueba de campo de esta técnica, pero en el

momento de escribir este informe no hay nada definitivo. Hay muchas maneras en que la atmósfera puede producir desiertos; no hay una modificación dada que sea universalmente aplicable (y muchos desiertos probablemente no son susceptibles de modificación, sino a través de un cambio capital en el esquema de la circulación global). Ciertas observaciones y estudios teóricos del desierto costero del Perú, por ejemplo, han sugerido que quizás utilizando un efecto opuesto al de la "montaña termal", (esto es, aumentando el albedo) podría ser efectivo allí.

Hoy en día, la modificación inadvertida de la atmósfera es un problema menor en comparación con el que será dentro de un par de generaciones. No hay prospecto de que el crecimiento exponencial de tales actividades de la civilización como la quema de combustible carbonífero, la construcción de ciudades, el volar de los aviones y el lanzar de cohetes vaya a disminuir. Apenas estamos comprendiendo que la atmósfera no es un vertedero de capacidad ilimitada, pero todavía no sabemos cuál es su capacidad actual ni cómo medirla. La necesidad más urgente es de mejorar grandemente y expandir los métodos para descubrir las alteraciones hechas por el hombre en la composición y en el balance de energía de la atmósfera.

1. *Hay concordancia general de que el total de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera ha aumentado de un 10 a un 15 por ciento en este siglo, y de que este aumento es debido a la quema de combustibles fósiles.* Los cálculos más recientes del aumento en el "efecto de invernadero" por esta adición de CO<sub>2</sub>, indican que las temperaturas en la superficie pueden haber aumentado solamente uno 0.2°C desde 1900, pero que la estratósfera pueden haberse enfriado unas diez veces en esta cantidad. Considerando la tasa continuada de aumento de uso de combustibles carboníferos, las implicaciones sobre la futura estabilidad de la estratósfera no pueden ser ignoradas. Una necesidad perentoria y obvia es una observación continuada del contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico y oceánico y una simulación del efecto del CO<sub>2</sub> (incluyendo los efectos en la circulación atmosférica del aumento termal inducido) utilizando los modelos y computadores más sofisticados disponibles.
2. *El problema de la polución atmosférica puede ya estar creciendo más allá de su dominio urbano-local en tamaño y mayormente de efecto biológico- para convertirse en tina molestia grave,* con posibles efectos significativos en el tiempo y en el clima en un área mucho más extensa. Se ha prestado muy poca atención a los efectos de la polución atmosférica en lo que respecta a nubosidad, precipitación inducida y en el balance de radiación. La tendencia de las fuentes de contaminación a aumentar, hace que no deban éstas ignorarse más. El clima de la ciudad en sí,

alterado por el propio carácter físico de la ciudad, se está convirtiendo en un factor importante a medida que una población cada vez mayor tiende a concentrarse en las áreas urbanas. Un problema clave es, que a medida que las ciudades crecen, su ventilación natural disminuye mientras se aumentan la emisión de calor y los contaminantes. *La urbanización es, de hecho, cierta clase de experimento continuado en modificación del clima, y esta fuente importante de conocimiento del medio ambiente, yace esencialmente sin aprovecharse.*

3. *Comparado con los efectos de construcción urbana en gran escala, los efectos meteorológicos de la alteración rural del paisaje (por deforestación, reforestación e irrigación, por ejemplo) parecen ser de poca monta y localizados en sus efectos.* Algunos resultados de alterar la micrometeorología de la capa-frontera pueden tener gran importancia como en la hidrología local (p. ej., erosión, caudales) y en la ecología local. Estos tópicos, sin embargo, se consideran fuera del alcance de este estudio.
  
4. *El aeroespacio ha añadido otra dimensión al problema de modificación inadvertida.* Con el advenimiento de los transportes supersónicos, que volarán rutinaria mente en la estratósfera, la cuestión de las posibles consecuencias del vapor de agua adicional que estos aviones inyectarán en la estratósfera debe contemplarse. Nuestra conclusión tentativa, basada en un tráfico previsto de 4 vuelos diarios para 400 aviones supersónicos es, *que ni la nubosidad adicional (contrails) ni la absorción por el vapor de agua adicional de la radiación de onda larga será suficiente para perturbar apreciablemente las propiedades de la circulación en gran escala, las cuales son influenciadas por el estado termodinámico de la estratósfera.* La contaminación de la alta atmósfera por el escape de los cohetes es, sin embargo, un problema mucho más complejo, primordialmente porque la química de la mesoesfera y la termosfera (incluyendo el papel radiactivo que juegan los constituyentes menores del escape) y los procesos que en estas regiones dispersan o remuevan impurezas Son muy poco conocidos. Como la actividad de cohetes aumentará, y como ya estamos en capacidad de doblar en un solo año la cantidad de algunos componentes exóticos (p. ej., sodio atómico), una investigación vigorosa de la aerología de la alta atmósfera es un prerrequisito claro antes de poder decidir sobre la contaminación futura por los escapes de cohetes.

## **INVESTIGACION ADICIONAL Y DESARROLLO REQUERIDO**

Hemos presentado un número de conclusiones con respecto a la investigación presente y fuera de lo que respecta a modificación del tiempo. Ahora nos concentraremos en cinco áreas problemáticas en las cuales son deseables hacer avances con objeto de lograr una modificación útil del tiempo y ampliar nuestros conocimientos básicos de la atmósfera.

1. *La cuestión de un diseño estadístico aceptable y de la evaluación de experimentos atmosféricos debe resolverse: para hacerla, debe existir una comunicación mucho más directa y continuada entre los estadísticos y los experimentadores.* La gran variabilidad natural de los procesos atmosféricos siempre impondrá un alto nivel de "ruido" a los datos recogidos para evaluación experimental. Para llegar a conclusiones significativas, hay dos vías de ataque, no totalmente exclusivas; o bien recolectar una gran cantidad de datos pertinentes o bien seleccionar para la evaluación aquellos fenómenos para los cuales la variabilidad natural es mínima. Lo primero puede lograrse conduciendo la experimentación por un largo tiempo o aumentando la escala de experimentos. Los efectos de la variabilidad natural pueden reducirse subdividiendo (en terminología estadística, estratificando) los datos experimentales de acuerdo con clases definidas físicamente de situaciones experimentales; v. gr., "tipos de tormentas", y evaluando cada clase por separado. Otro método sería dividir un proceso hipotético en una serie de subclases, y evaluar cada subproceso por separado. Ambos métodos de evaluación demandan medidas experimentales mucho más sofisticadas que las actualmente en uso. Existen otras vías posibles y que deben ser examinadas. La búsqueda de métodos de evaluación más eficientes, sin embargo, no debe demorar el establecimiento de ciertos proyectos importantes para los cuales la evaluación puede proseguir por los cánones actualmente aceptados, que si no son óptimos, son al menos adecuados.
2. *El diseño, desarrollo y comprobación de instrumentos, vehículos y otros equipos para medidas en el campo y en la experimentación ha sido inadecuado.* Una información con fiable, precisa y cuantitativa de muchos parámetros meteorológicos es crucial. La información necesaria puede ser obtenida solamente haciendo uso más extensivo de instrumentos muy mejorados o nuevos. Igualmente, ciertos programas de mediciones y experimentos estandarizados deben iniciarse en diferentes localidades y bajo diferentes condiciones meteorológicas. Puesto que el yoduro de plata y el hielo seco producen efectos interesantes y potencialmente valiosos, la incertidumbre de nuestro conocimiento cuantitativo del proceso total, desde la producción del generador a la microfísica de las nubes no es tolerable por más tiempo.

3. *El estudio del balance del agua atmosférica en todas las escalas debe acelerarse y expandirse.*  
Un conocimiento detallado del transporte del vapor de agua, el cual es muy limitado hoy día, es esencial para proyectos experimentales futuros sobre modificación de nubes y debe servir de base para valorar cualquier esquema de modificación en gran escala. El flujo atmosférico del vapor de agua y su divergencia deben estudiarse como parte del balance total de energía atmosférica. Si bien una evaluación global estará demorada por la falta de información en los trópicos y en el hemisferio Sur, la información disponible para el hemisferio Norte es adecuada hoy día para estudios detallados del transporte del vapor de agua a través de los continentes y grandes cuencas. Los estudios minuciosos del balance del vapor de agua en nubes y tormentas individuales dependerán grandemente de las mejoras sugeridas anteriormente en las mediciones.
  
4. *Los trópicos han sido lastimosamente descuidados por la investigación meteorológica a pesar de la importancia capital de los océanos tropicales y de la convección tropical como las fuerzas matrices de la circulación general global.* Los trópicos abarcan aproximadamente la mitad del globo terráqueo y como incluyen un 75 por ciento de océanos, han sido siempre considerados como inaccesibles a la observación detallada. Parte del remedio para esta situación, sería el uso de satélites sincronizados para observar ciertos parámetros de radiación y la distribución geográfica de los sistemas de nubes tropicales. Para poder interpretar totalmente las observaciones de los satélites, sin embargo, es necesario obtener primero un conocimiento cuantitativo de los mecanismos de intercambio de energía típicos de la interfaz aire-océano y de los diferentes sistemas de nubes en los trópicos. La única manera de que este conocimiento podrá adquirirse es a través de un programa comprensivo de medidas en el campo el cual debe concentrarse desde un principio en los procesos de convección tropicales. Los objetivos científicos a largo plazo de este programa pueden ser prescritos por las necesidades de la simulación numérica atmosférica, pero las cuestiones básicas acerca de las diferencias geográficas y dinámicas en la naturaleza- de los cúmulos y procesos de precipitación deben tener preferencia.
  
5. *Existen muchas razones sugestivas para investigar cabalmente el balance energético de los huracanes y establecer una estructura organizacional adecuada capaz de manejar el amplio y completo programa de campo que sea necesario.* Tal programa debe incluir: 1º una observación continuada de las áreas de generación de huracanes y la observación de las características de gran escala de las tormentas y sus alrededores durante su ciclo vital; 2º una frecuente penetración de las tormentas y sus alrededores con instrumentos capaces de medir



las distribuciones temporal y espacial de los movimientos del aire, la temperatura, el vapor de agua, el flujo de calor, la estructura de las nubes y factores relacionados; y 3° frecuentes mediciones de las propiedades termodinámicas de la interfaz océano-aire debajo y alrededor del huracán. Solamente cuando los huracanes sean estudiados en una escala tan comprensiva, tendremos alguna esperanza de desarrollar medios efectivos para modificarlos o aún de aumentar nuestra habilidad presente de pronosticar su intensidad y movimiento futuros.

### **APOYO FEDERAL A LA INVESTIGACION SOBRE MODIFICACION DEL TIEMPO**

El apoyo económico de la investigación meteorológica en los Estados Unidos es compartido por numerosas agencias. La Tabla I presenta una lista de las contribuciones de las distintas agencias a la investigación atmosférica, excluyendo la aeronomía. El grande y altamente variable apoyo de la Administración Nacional del Espacio y Aeronáutica debe recalarse. El gasto total del Gobierno en las ciencias atmosféricas y en servicios meteorológicos durante el año fiscal de 1965 fue de 431.5 millones de dólares. Si se excluyen las operaciones de la Administración Nacional del Espacio y Aeronáutica, la investigación meteorológica solamente de un 12 por ciento de esta cantidad. La proporción de estos fondos dedicados a investigación académica es difícil de determinar, pero calculamos que las Universidades y otras organizaciones no comerciales recibieron un total de unos 20 millones de dólares en el año fiscal de 1965, o sea un 40 por ciento del presupuesto total para investigación.

Los gastos hechos directamente para apoyar la investigación sobre modificación del tiempo forman apenas una pequeña fracción del total de fondos disponibles para investigaciones meteorológicas. Estos gastos en el año fiscal de 1965 totalizaron unos 4.97 millones de dólares repartidos entre siete agencias, (ver Tabla 2). Estimamos que aproximadamente 1.6 de estos millones fueron utilizados en investigaciones de tipo académico.

TABLA 1.

APOYO FEDERAL PARA INVESTIGACIONES EN METEOROLOGIA

(En millones de dólares) (\*)<sup>1</sup>

AGENCIA	AÑO FISCAL		
	1963	1964	1965
Agricultura	1.2	0.5	0.5
Comercio	10.4	8.5	8.2
Defensa	8.5	9.7	11.2
Ejército			
Marina	5.5	4.9	5.2
Fuerzas Aéreas	8.0	7.6	7.6
Salud, Educación y Seguro Social	1.5	1.6	2.0
Interior	1.6	1.0	2.9 (**) <sup>2</sup>
Comisión Energía Atómica	4.0	5.1	5.7
Fundación Nacional de Ciencias	9.5	11.7	9.7
	--	--	--
SUB-TOTAL	49.2	50.6	53.0
Administración Nacional del Espacio y Aeronáutica			
	54.1	63.2	31.2
	--	-	
TOTAL	103.3	113.8	84.2

<sup>1</sup> (\*) Datos extractados del: "Programas de Tiempo del Gobierno (Operaciones Civiles y Militares e Investigación)", Primer informe del Comité sobre Operaciones del Gobierno, Congreso N° 89, 1° sesión. *Informe de la Cámara de Representantes* N° 117, 17 de marzo 1965 (Tabla 8. Resumen del Programa de e Ciencias Atmosféricas Nacionales, por el Programa de Agencias, pago 27).

<sup>2</sup> (\*\*) Incluye 1 millón aprobado posteriormente por el Informe de la Cámara N° 117.

TABLA 2.

APOYO POR AGENCIAS A LA MODIFICACION DEL  
TIEMPO EN EL AÑO FISCAL DE 1965 (\*)<sup>3</sup>

(Millones de dólares)

AGENCIA	AÑO FISCAL		
	1963	1964	1965
Agricultura	0.13	6.12	0.14
Comercio	0.19	0.18	0.11
Defensa			
Ejército	0.43	0.73	0.25
Marina	0.35	0.50	1.00
Fuerza Aérea	0.18	0.18	0.20
Salud, Educación, Seguro Social			
Interior	0.10	0.18	1.26
Comisión Energía Atómica			
Administración Nacional del Espacio y Aeronáutica	0.05	0.07	
Fundación Nacional de Ciencias	1.32	1.57	2.01
	--	--	-
TOTAL	2.75	3.53	4.97

Entre todas las agencias, La Fundación Nacional de Ciencias apoya una gran variedad de actividades en Modificación del Tiempo. El programa de la Marina en la Tabla 2 representa el Proyecto "Stormfury" y el proyecto ACE. El primero es una tentativa de modificación de huracanes mientras el segundo es un programa más general de modificación del tiempo. El principal interés de la Fuerza Aérea está en desarrollar capacidad para disipar toda clase de nubes estratiformes bajas y nieblas. El trabajo del Ejército tiene que ver con la disipación de capas de nubes superenfriadas y neblinas, el desarrollo de técnicas para siembras con núcleos de condensación y prevención de rayos. El Departamento del Interior, en su programa de Recursos Hidráulicos del Negociado de Conservación, está tratando de determinar la practicabilidad de utilizar la siembra de nubes para aumentar la precipitación en varios estados del Oeste de los Estados Unidos.

<sup>3</sup> (\*) Datos tomados de la Fundación Nacional de Ciencias, informe anual sobre Modificación del Tiempo (Nos. 5, 6 y 7) al Presidente y al Congreso.

No hay cifras concretas sobre el nivel de gastos en investigaciones sobre modificación del tiempo en otros países, pero sí podemos hacer cálculos aproximados acerca de los gastos en la Unión Soviética. La Unión Soviética es un ejemplo de un país con una tecnología avanzada en el que el sistema meteorológico es bastante similar al de los Estados Unidos. Durante 1964, el Servicio Hidrometeorológico de la Unión Soviética empleó 70.000 personas, comparado con 51.000 en 1960 (\*).<sup>4</sup> Este personal debe corresponder a un presupuesto del orden de 700 a 800 millones de dólares, si la proporción de gastos para personal en Meteorología es comparable al de otras áreas de investigación (según discute Korol). Este total de fondos es casi el doble del de nuestro país. Si asignamos un 10 por ciento del gasto total para investigación, la Unión Soviética debe estar empleando de 70 a 80 millones de dólares anuales en las ciencias atmosféricas y otras disciplinas relacionadas, y muy probablemente esta cifra no incluye los satélites. Dos miembros de nuestro Jurado, Verner E. Suomi y Joseph Smagorinsky han visitado importantes centros de investigación en la Unión Soviética. El Jurado también ha discutido los esfuerzos soviéticos con David Atlas y Louis J. Battan, los cuales han hecho una visita extensiva a las instalaciones científicas soviéticas. Estimamos que quizás un 25 por ciento del presupuesto de la investigación atmosférica en la Unión Soviética está dedicado a modificación del tiempo -quizás unos 20 millones de dólares- o si bien esto es solamente un estimado crudo, el total del esfuerzo soviético en modificación del tiempo es probablemente el doble del de los Estados Unidos. No queremos decir con esto que debemos doblar nuestros esfuerzos o que debemos imitar el esfuerzo Soviético. Notamos, sin embargo, que los soviéticos han asionado una prioridad mayor a la modificación del tiempo que lo que hemos asignado hasta ahora nosotros.

La Modificación del Tiempo está apoyada en los Estados Unidos por un relativamente grande número de pequeñas contribuciones. Solamente dos o tres proyectos pueden clasificarse como de mayor importancia, esto es, con un presupuesto de más de 250.000 dólares anuales. Ahora anticipamos un número mayor de esfuerzos más importantes, los cuales quizás envuelvan la contribución de varias agencias. Claramente, la presente situación de fondos no presenta una base sólida para la comparación y selección de distintos proyectos que requieren inversiones de gran cuantía .. ¿Cómo obtener la coordinación necesaria entre las distintas agencias? En principio, esto debería emprenderse por el Comité Interdepartamental de Ciencias Atmosféricas, pero la autoridad e influencia de este Comité son limitadas. Bajo la ley Pública N° 85-510, la Fundación Nacional de Ciencias tiene una responsabilidad amplia para fomentar el estudio de la Modificación del Tiempo,

---

<sup>4</sup> (\*) Korol. Alexander. 1965. Desarrollo e Investigaciones Soviéticas: Su Organización Personal y Fondos. M.I.T. Press, Cambridge, Mass,

pero la Fundación no ha sido capaz de establecer un Programa Nacional en este campo porque es solamente una de un número de agencias con intereses y responsabilidades legítimas en modificación del tiempo.

En nuestro examen de la administración y manejo de la modificación del tiempo, identificamos cuatro áreas problemáticas principales:

1. *Nivel de esfuerzo.* Todos los avances técnicos en meteorología contribuyen al crecimiento económico del país, pero la magnitud de esta contribución es, y continuará siendo, una cuestión debatible. La situación con respecto a modificación del tiempo es parte de este complejo económico. Los resultados prácticos de las inversiones pueden ser muy grandes. No podemos estimar el valor cuantitativo económico de la investigación futura en este campo, pero creemos firmemente que el presente nivel de esfuerzo en ninguna forma guarda proporción con las oportunidades ya demostradas de que investigaciones futuras han de tener tempranas aplicaciones prácticas.
2. *Disipación de los recursos para investigación.* Estamos preocupados porque la mayoría de los recursos para investigación (en personal y fondos) están siendo disipados apoyando esfuerzos subcríticos. Si bien han existido y deben continuar existiendo oportunidades para el investigador individual, perturba que hasta ahora se hayan ofrecido pocas oportunidades a grupos de investigadores de mayor importancia para que enfoquen su interés primario de investigación en modificación del tiempo. Los nuevos esfuerzos no deben ser meramente una ampliación de la escala del trabajo actual; deben igualar el calibre de la investigación que se lleva a cabo en otras áreas de las ciencias atmosféricas.
3. *Implementación de programas de estudios de campo de gran alcance.* En el momento actual la implementación de programas de gran alcance, tales como la existente ventura conjunta del Negociado del Tiempo y la Marina para el estudio de cúmulos tropicales, depende de la iniciativa y persistencia de un pequeño y dedicado grupo científico. Este grupo está severamente limitado por falta de una organización administrativa central con autoridad y habilidad para consumir negociaciones y operaciones interdepartamentales. Si bien ciertos estudios de campo pueden montarse satisfactoriamente "ad hoc", los programas de gran escala, en general, deben estar provistos de un apoyo y una administración competentes. En esta forma, el pequeño grupo científico podría concentrarse en sus objetivos y requerimientos técnicos sin tener que preocuparse de otros asuntos que son competencia del gobierno.

4. *Cooperación entre las agencias.* El Comité Interdepartamental de Ciencias Atmosféricas (ICAS) tiene, en principio, la responsabilidad de coordinar los esfuerzos de modificación del tiempo. La Fundación Nacional de Ciencias tiene un rol especial a través de las responsabilidades que le asigna la Ley Pública N° 85-510. A través de la Conferencia Anual Interdepartamental sobre Modificación del Tiempo, la Fundación provee comunicación esencial entre los científicos y el Gobierno. En el estado actual de las cosas, sin cualquier Departamento importante puede separarse de estas vías e introducir una gran perturbación en el esfuerzo nacional con una acción unilateral, la cual puede envolver solamente una pequeña fracción de su presupuesto total. Lo que es más importante aún, la ICAS no tiene potestad para iniciar acción algún dentro de cualquier agencia. En esta forma, los dedicados esfuerzos de un grupo competente dentro de una agencia determinada, pueden ser ahogados por una administración a la que no les sean simpáticos.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### *Administración y presupuestación de la investigación y desarrollo de modificación del tiempo.*

Estamos convencidos que la modificación del tiempo presenta algunos de los problemas más urgentes que confronta nuestra sociedad. La tentación, por tanto, de mendigar más dinero para programas de investigación ampliados es muy grande. Esta tentación se ve reforzada por la certidumbre de la velocidad con que estos avances en los conocimientos podrán aplicarse a los molestos problemas de los alrededores de nuestra creciente civilización. Por otra parte, nos vamos dando cuenta de que las presentes deficiencias en la magnitud y administración del apoyo a la investigación y desarrollo de modificación del tiempo, no son únicas, sino más bien comunes a todas las ciencias del medio ambiente.

La intervención del Gobierno en las ciencias del medio ambiente incluyen varias áreas de investigación -meteorología (incluyendo modificación del tiempo), climatología, aerología, oceanografía (incluyendo a la biología marina), la geofísica de la tierra sólida, geología- y varias áreas de la ingeniería- contaminación tecnología oceánica, operación de modificación del tiempo, pronósticos del tiempo y servicios climatológicos, hidrología, y exploraciones y tecnología de minerales. Estas áreas de investigación y desarrollo tienen las siguientes características en común.

- a) Las materias tienden a ser interdisciplinarias y, por regla general, carecen de tradición profesional o académica consagrada.

- b) El apoyo a cada una de estas ciencias esta difundido en múltiples agencias. Cada agencia tiene primordialmente un fin social y funciona dentro de los límites de sus propias y relevantes investigaciones de los Alrededores. Como resultado, en la mayoría de estos campos no existe un solo abogado natural dentro de la estructura Federal ni hay un mecanismo claro para hacer decisiones sobre sus presupuestos en las diversas agencias. De hecho, la presión para operar programas en estos campos a menudo se origina en ciertos sectores de la sociedad más bien que en el Departamento Ejecutivo o en la comunidad académica. Como consecuencia, los problemas de los Alrededores no reciben una atención seria o el énfasis balanceado correcto que su importancia para la Nación justifica.
- c) La parte de "gran ciencia" en estas áreas consiste en grandes programas de campo que presentan estrictas demandas en el apoyo logístico. A menudo este apoyo debe ser suministrado por otras agencias, más bien que por aquella responsable del proyecto en cuestión. Muchos y vitales proyectos, pues, no tienen un solo hogar lógico en la presente estructura Federal.
- d) El presente Comité Interdepartamental de Ciencias Atmosféricas provee ayuda en cuestiones de *coordinación de políticas*. En adición a las necesidades de coordinación de políticas, hay una importante necesidad de *coordinación operacional* y de planeación técnica detallada de experimentos de gran escala. Los requisitos de coordinación operacional demandan una organización lineal más bien que un grupo consultor. Esta organización lineal necesitaría controlar una parte mayor del presupuesto total de modificación del tiempo que la que ninguna agencia por separado controla en la actualidad.

Concluimos que la presente división administrativa de las Ciencias del medio ambiente, de acuerdo con los diversos fines sociales de las diversas agencias Federales, ha caducado por la creciente interdependencia entre las varias áreas de investigación e ingeniería del medio ambiente.

Concluimos que el presente apoyo y los presentes mecanismos administrativos no proveen de medios adecuados para repartir las prioridades entre los muchos y amplios experimentos de campo y proyectos que eventualmente serán necesarios.

También concluimos que la presente fragmentación en los esfuerzos actuales sobre investigación y desarrollo de modificación del tiempo presenta el poco corriente aspecto de que los muchos fragmentos están por debajo del tamaño crítico o de la calidad necesaria para hacer un trabajo efectivo.

Creemos que la responsabilidad máxima en modificación del tiempo debe centrarse en una agencia única; al mismo tiempo, sin embargo, debe mantenerse un grado de responsabilidad delegada que permita a otras agencias llenar sus propios requisitos para misiones de trabajo en este campo. El Jurado ha considerado un cierto número de posibles arreglos administrativos para apoyar la investigación de modificación del tiempo -por ejemplo-, un Laboratorio Nacional para modificación del tiempo; una agencia líder, existente o de nueva creación, con la responsabilidad primaria sobre modificación del tiempo; o una agencia múltiple que comparta esta responsabilidad. Sin embargo, la complejidad del problema es tal que el Jurado no quiere tomar una posición única a este respecto como el sistema administrativo más deseable para obtener las metas que se han propuesto en este informe.

### **RECOMENDACIONES**

*Recomendamos un estudio inmediato y exhaustivo de la Administración y el Apoyo de la investigación y desarrollo de modificación del tiempo.*

El grupo que lleve a cabo este estudio debe considerar la consolidación de las responsabilidades primarias de modificación del tiempo en una sola agencia (bien ya existente o de nueva creación) y debe considerar si la modificación del tiempo puede ser sensatamente separada del resto de las demás ciencias del medio ambiente. Debe prestarse atención adecuada a los aspectos regulatorios de las operaciones de modificación del tiempo.

*Recomendamos que se den inmediatamente los pasos necesarios por las distintas agencias para elevar el apoyo económico del nivel actual de cinco millones de dólares en 1965 hasta al menos 30 millones en 1970.* Esta recomendación se basa en una estimación aproximada del costo de las investigaciones necesarias, con énfasis en programas de investigación en el campo. El futuro progreso de la modificación del tiempo dependerá de una manera crítica de nuestro progreso en entender la atmósfera, y en extender nuestra capacidad de pronosticar los fenómenos atmosféricos ambos en tiempo y en una escala local. El aumento de presupuesto para modificación del tiempo debe ir acompañado de un aumento conmensurable en el presupuesto para las ciencias atmosféricas de apoyo y para el desarrollo y operación de facilidades y sistemas de investigación de apoyo, incluyendo nuevos computadores y redes de observación para simular la circulación atmosférica general.

El Jurado no anticipa que estos esfuerzos en la modificación del tiempo se verán limitados por falta de personal en los próximos cinco años. Los problemas de modificación del tiempo son de tan



amplio interés científico que los científicos atmosféricos serán ayudados por trabajadores de otras áreas relacionadas. Más aún, la experiencia en otros campos como el espacio y la oceanografía sugieren que el reconocimiento de un campo como de interés nacional tiende a garantizar una fuerza científica efectiva.

### **PROYECTOS DE ESTIMULO DE LA PRECIPITACION**

Hemos estudiado un amplio muestrario de programas experimentales y comerciales de estímulo de la precipitación tanto en los Estados Unidos como en el extranjero. La evidencia disponible, si bien aún no conclusiva, indica que las técnicas de nucleación artificial, bajo ciertas condiciones meteorológicas, pueden utilizarse para modificar la distribución en espacio y en tiempo de la precipitación. Específicamente, hemos hallado evidencia de aumentos de precipitación de hasta 10 a 20 por ciento sobre áreas de blanco de hasta 2500 kilómetros cuadrados por períodos desde varias semanas hasta varios años. Si la siembra de nubes produce también efectos colaterales significativos a sotavento de esta área es todavía una cuestión sin decidir; hay indicaciones tentativas tanto para aumentos como para disminución de lluvias hasta unos 230 kilómetros a sotavento del blanco principal. Si se puede también producir disminución apreciable en las lluvias por inseminación artificial de las nubes, tampoco está claro aún; esta cuestión demanda todavía un estudio cuidadoso. Las incertidumbres en la siembra de nubes son tales, que no podemos condonar operaciones indiscriminadas de siembras las cuales pueden destruir la oportunidad para una evaluación con fundamento; más bien creemos que deben continuarse la investigación y operación en los aspectos estadísticos y físicos para poder mantener la objetividad necesaria.

### **RECOMENDACIONES**

*Recomendamos que se establezcan a corto plazo varios experimentos de siembras aleatorias cuidadosamente diseñadas y planeadas en tal forma que permitan estimar la inseminación de varios tipos de tormentas.* Con objeto de obtener conclusiones más precisas acerca de la magnitud posible de los efectos de las siembras de nubes, continúa presente la necesidad de mantener proyectos orográficos cuidadosamente diseñados. Más aún, nuestros análisis indican la necesidad de experimentos similares el Oeste y el Este de los Estados Unidos. Debe utilizarse un amplio espectro de técnicas de observación en estos experimentos para proveer información esencial de las detalladas relaciones de causa efecto que gobiernan el potencial de inseminación de los diferentes tipos de tormentas. Estos experimentos deben ser planificados para continuarlos por tanto tiempo como sea necesario para obtener resultados definitivos.

Es posible derivar información científica sobre la eficacia de las siembras de nubes en operaciones comerciales de un tipo que no ha, en el pasado, contribuido directamente al fondo de conocimientos científicos en lo que concierne a estímulo de lluvia.

*Recomendamos, por tanto, que se hallen medios, con fondos Federales si es necesario, para asegurar mejores evaluaciones de estos proyectos operacionales que las disponibles hasta el presente.*

*Recomendamos que se dé inmediata atención a una cuidadosa vigilancia y regulación de los programas en operación para modificación del tiempo.*

Esto requerirá nueva legislación, y esta legislación debe reflejar las implicaciones económicas, políticas, sociales y científicas de los programas. Para asegurar beneficio y valor social máximo, la legislación debe incluir medios de asignar a una sola agencia Federal, posiblemente creada para estos y otros fines relacionados, la responsabilidad de fiscalizar y regular las operaciones así como para asegurar la publicación de informes completos. Esta agencia debe tener poderes y recursos para llevar a cabo evaluaciones independientes y puede necesitar autoridad para resolver la adjudicación de proyectos que estén en conflicto.

Enfatizamos una vez sobre la complejidad de estas materias, muchas de las cuales presentan problemas sin precedentes. Urgimos, por tanto, un gran cuidado en la formulación de la legislación y la maquinaria reguladora necesarias. Las agencias Federales que ya existen y que tienen responsabilidades en el área de ciencias del medio ambiente deben inmediatamente atacar estos estudios, según sean requeridos, para información de los legisladores que se enfrenten con estos problemas.

#### **PRIORIDADES EN LA INVESTIGACION**

Somos remisos a juzgar la relativa importancia del gran número de los problemas a investigar. Empero, como visualizamos que el establecimiento de un Programa Nacional debe proceder de una manera ordenada, esto solamente puede lograrse si se proveen guías adecuadas. Los requerimientos para investigación son, obviamente, muy variados. Ya hemos recomendado antes la temprana iniciación de nuevos experimentos de siembras de nubes con yoduro de plata para estimular la precipitación. Las recomendaciones que siguen, son adiciones a estas y otras subsiguientes recomendaciones más amplias que aparecerán en las dos próximas secciones de este informe.

## **RECOMENDACIONES**

Recordamos que se comience inmediatamente la planeación de las siguientes importantes investigaciones de campo:

1. *Un estudio comprensivo de exploración del balance energético de los huracanes, con miras a lograr un modelo teórico del huracán y, subsiguientemente, a hipótesis sobre modificación de los mismos.* Este programa debe planearse para que pueda comenzar en toda su escala simultáneamente con el lanzamiento de un satélite meteorológico en órbita sincrónica sobre el Atlántico Tropical.
2. *Medidas de la convección tropical y otros aspectos; los procesos de intercambio de energía en los trópicos.* Urgimos que este programa se planee para investigar una gran variedad de fenómenos de tiempo tropicales, incluyendo las "bajas frías" y las circulaciones y nubes estratosféricas de la alta tropósfera, así como varios tipos de cúmulos. Este programa debe desarrollarse en varios años, pero el trabajo de campo a toda escala debería comenzarse inmediatamente, utilizando, por ejemplo, las facilidades y experiencias del proyecto "Stormfudy". Este programa puede, en parte, relacionarse con el de investigación de huracanes, pero sin que el uno diluya al otro.
3. *Un estudio comprensivo de las granizadas.* Esta recomendación va esencialmente en apoyo de la recomendación ya hecha por el Primer Simposio Nacional para Supresión de Granizadas, llevado a cabo en Boulder, Colorado, en Octubre de 1965. Recalamos que este proyecto deberá continuarse hasta que las granizadas sean suficientemente bien conocidas, para justificar experimentos específicos de modificación.
4. *Una serie de proyectos coordinados para medir la dinámica y el balance de agua de una variedad de tormentas precipitantes.* Ninguno de estos proyectos necesita ser muy grande. Se requeriría cierta estandarización de equipo y técnicas para asegurar la comparabilidad cuantitativa de diferentes resultados.
5. *En adición a los estudios de estímulo y a los proyectos de campo recomendados arriba, el jurado reconoce el importante potencial de otros estudios especializados que envuelven actividades en el campo.* Estos estudios incluyen continuar los esfuerzos de investigación sobre rayos, sobre modificación de la dinámica de los cúmulos, sobre la iniciación de convección y sobre la disipación de nieblas calientes y de capas extensas estratificadas superenfriadas.

Es claro que toda investigación acerca de las ciencias atmosféricas contribuirá a la meta de modificación del tiempo y clima. Sobre las investigaciones que prometen la más directa contribución, recomendamos que la más alta prioridad se asigne a los siguientes estudios:

1. *Estudios del balance de agua atmosférica, inicialmente sobre el transporte del vapor de agua sobre los Estados Unidos en los lugares donde el potencial de siembras de nubes es importante.* Los estudios sobre el transporte global del vapor de agua y del balance del agua en tormentas individuales deben acometerse tan pronto como se tenga información adecuada. Estos estudios imponen un requisito urgente de obtención de datos con base global.
2. *Estudios de los procesos de intercambio de energía en la capa frontera.* Hay importantes cuestiones que deben contestarse con respecto a los efectos de la aspereza de las superficies y el albedo en las circulaciones de meso-escala. Es aparente que estos estudios requieren el apoyo de mediciones extensivas en el campo y proyectos experimentales.
3. *Un continuado desarrollo de modelos teóricos de los mecanismos de condensación y precipitación incluyendo una temperatura incorporación de las influencias eléctricas y de los efectos de cambios de concentración en los núcleos de condensación y congelación.* Estos modelos deben evolucionar hacia una simulación más completa de los sistemas de tormentas, con lo que podría descubrirse nuevas posibilidades de modificación, las cuales podrían después ser probadas en el campo.
4. *Nuevos y más comprensivos estudios de los efectos meteorológicos de la polución atmosférica (incluyendo el anhídrido carbónico) y la urbanización.* Este proyecto debe evolucionar hacia un análisis más completo del clima urbano per se en vista de que él constituye un experimento continuado de modificación del clima en meso-escala. Más aún, los efectos de la dispersión de contaminantes en el balance de energía de la atmósfera deberán ser evaluados por los modelos numéricos más avanzados disponibles, en combinación con mediciones de los caracteres físicos y químicos de estos contaminantes.

### **FACILIDADES PRINCIPALES DE INVESTIGACION Y SISTEMAS DE APOYO**

Desde los mismos comienzos de la simulación numérica de procesos atmosféricos en 1949, la tecnología de los computadores ha quedado rezagada ante las necesidades de las ciencias atmosféricas, por lo menos en cinco años. El que esta disparidad no haya sido mayor, ha sido debido en gran parte al estímulo que la industria de los computadores ha recibido de las aplicaciones a la física nuclear. Es evidente, sin embargo, que las posibilidades de modificación de la atmósfera y el pronóstico a largo plazo, están creando una urgente necesidad de desarrollar computadores la cual debe recibir una alta prioridad. No solamente debe la industria de computadores responder a estas urgentes necesidades sino que el número de computadores disponibles debe ser comparable al talento científico disponible para explotados.

Estrechamente asociada con la necesidad de computadores más poderosos, ha y una gran necesidad de un sistema mundial mejorado de observación del tiempo. Este sistema es obviamente un pre-requisito para una predicción más precisa y de mayores alcances del tiempo, y por tanto ya está recibiendo adecuada atención internacional en el momento actual. Menos obvio es el hecho que la estimulación adecuada para modificación de gran escala de la atmósfera depende también de una información global de mucha mayor densidad y calidad que la obtenible hasta el presente.

La adquisición y coordinación de los componentes de los sistemas de medición, que son el corazón de las investigaciones mayores de campo, ha sido sumamente difícil en el pasado, en detrimento de los objetivos científicos. Por ejemplo, los aviones son indispensables para sondear la atmósfera, tanto en proyectos de modificación de nubes como para investigaciones básicas sobre modificación del tiempo y clima. Las dos facilidades civiles disponibles, en la Administración de Servicios y Ciencias del medio ambiente y en el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas, han suministrado muchos de los aviones necesarios. Sin embargo, cuando han sido necesarios aviones adicionales, o cuando se han requerido naves especializadas (p. ej., con gran techo o que puedan revolotear), ha sido necesario solicitarlos a los servicios militares. Las prioridades militares han hecho que esta alternativa sea impráctica y a menudo embarazosa.

### **RECOMENDACIONES**

El mejor computador disponible en el presente momento tiene apenas un cincuentavo de la velocidad necesaria para nuestros requerimientos actuales. En 10 años, los requerimientos de computación podrán volverse dos o tres órdenes de magnitud mayores.

*Recomendamos, por tanto, que se tomen los pasos necesarios para alentar a la industria a responder a estos requerimientos del futuro.* Los requerimientos de un sistema de computación tan avanzado ya han sido desarrollados por varios grupos, incluso el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas, la Universidad de California en Los Angeles y por el Comité interdepartamental de Ciencias Atmosféricas.

*Recomendamos que los Estados Unidos presten apoyo y liderazgo al pronto establecimiento de un sistema global de observación avanzada.* Las guías científicas para la acción requerida ya han sido trazadas por el Jurado de la Academia Nacional de Ciencias sobre Cooperación Meteorológica Internacional (\*)<sup>5</sup>. La planeación de una "Vigilancia Mundial del Tiempo" ya está adelantada bajo los auspicios de la Organización Meteorológico Mundial.

Con objeto de promover la máxima efectividad de programas extensivos de investigaciones en el campo, tales como serían necesarias para el estudio de nubes, huracanes y convección tropical:

*Recomendamos que las facilidades de aviones para investigación civil sean ampliadas para incluir una diversidad de equipo y sistemas de información de apoyo que llenen los requisitos que se emplazan.*

## **ASPECTOS INTERNACIONALES**

Es obvio que un programa de largo plazo de control de tiempo y de modificación de clima puede tener una relación directa entre las relaciones entre Naciones. Puede ayudar al avance económico y social de los países menos desarrollados, muchos de los cuales confrontan problemas relacionados con climas hostiles y serios desbalances en los recursos del suelo y el agua. Y, muy importante, puede servir para desarrollar intereses comunes entre todas las Naciones prestando estímulo para nuevas facetas de cooperación internacional.

El reto y la oportunidad que presentan al mundo los prospectos de que el hombre pueda adquirir poder para controlar y modificar su medio atmosférico es uno de los aspectos más excitantes de este asunto. Estamos tratando sobre las posibles consecuencias de un nuevo y quizás enorme poder para influenciar las condiciones de la vida humana. Sus potencialidades para aplicación benéfica son vastas. En último análisis, será esencial, tanto internacional como nacionalmente,

---

<sup>5</sup> (\*) Practicabilidad de un Experimento de Análisis y Observación Global, NAS-NRC. Publ. N° 1290 (1966).

desarrollar controles políticos y sociales sobre el uso de este nuevo poder para limitar sus usos a fines constructivos y predecibles.

El solo hecho de que el desarrollo de la capacidad de influenciar la atmósfera esté en su infancia agranda las oportunidades para desarrollar actitudes óptimas y modelos de colaboración. Ya se han hecho algunos comienzos de colaboración en los problemas del tiempo y clima: y podemos confiar que éstos serán útiles en estimular un reconocimiento pragmático de las ventajas materiales derivadas de una mayor colaboración internacional en estos asuntos.

En resumen, el Jurado urge vivamente que se conduzca un programa internacional amplio de investigación sobre control de tiempo y clima, con un reconocimiento apropiado de las implicaciones internacionales. Y de acuerdo:

Recomendamos que la agencia Federal a que se asigne las responsabilidades mayores en este campo, esté autorizada para hacer frente a las complicadas *discusiones internacionales que puedan surgir de proyectos de modificación del tiempo.*

#### **COMITE DE CIENCIAS ATMOSFERICAS**

Thomas F. Malone, The Travelers Insurance Co., Presidente

Henry G. Booker, Universidad de California, San Diego

George F. Carrier, Universidad de Harvard

\*<sup>6</sup>Hugh L. Dryden, Administración Nacional del Espacio y Aeronáutica

Michael Ference Jr., Ford Motor Co.

Robert G. Fleagle, Universidad de Washington

Herbert Friedman, Laboratorio Naval de Investigación

Mark Kac, Universidad Rockefeller

William W. Kellogg, Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas

C. Gordon Litle, Administración de Servicios y Ciencias del medio ambiente.

Gordon J. F. McDonald, Universidad de California, Los Angeles

Edward Teller, Universidad de California, Livermore

Phillip D. Thompson, Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas

John R. Sievers, Academia Nacional de Ciencias \_ Consejo Nacional de Investigación, Secretario Ejecutivo,

---

<sup>6</sup> \* Fallecido el 2 de diciembre de 1965.

**JURADO SOBRE MODIFICACION DEL TIEMPO Y DEL CLIMA**

Gordon J. F. McDonald, Universidad de California, Presidente

Julián H. Bigelow, Instituto de Estudios Avanzados

Jule G. Charney, Instituto Tecnológico de Massachusetts

Ralph E. Huschke, Corporación RAND

Francis S. Johnson, Centro del Suroeste de Estudios Avanzados

Heinz H. Lettau, Universidad de Wisconsin

Edward N. Lorenz, Instituto Tecnológico de Massachusetts

James E. McDonald, Universidad de Arizona

\*<sup>7</sup>Joanne Simpson, Administración de Servicios y Ciencias del medio ambiente.

Joseph Srnagorinsky, Administración de Servicios y Ciencias del medio ambiente.

Verner E. Suomi, Universidad de Wisconsin

Edward Teller, Universidad de California, Livermore

H. K. Weickmana, Administración de Servicios y Ciencias del medio ambiente.

E. J. Wockman, Universidad de Hawai.

**MIEMBROS DE COORDINACION**

Donald L. Gilman, Administración de Servicios y Ciencias del medio ambiente.

Edward P. Todd, Fundación Nacional de Servicios y Ciencias del medio ambiente.



---

<sup>7</sup> \* Hasta fines de 1964.