

M E M O R A N D U M

- PLAN HIDROLOGICO INSULAR
- PROYECTO INTENSIFICACION  
DE PRECIPITACIONES

Febrero - 1.988



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

MEMORANDUM

Como consecuencia de la reunión celebrada el día 9 de Febrero de 1.988 en la sede de la Consejería de Obras Públicas, con la asistencia del propio Consejero, Director General de Aguas y del Presidente de la Comisión de Recursos Hidráulicos de este Cabildo, asistido éste último por D. Francisco Monzón y D. Francisco Reyes, como Asesores, se concretaron diversas cuestiones referentes a las siguientes materias tratadas

- 1.- Plan Hidrológico Insular.
- 2.- Proyecto de Intensificación de Precipitaciones.

Sobre ambos asuntos se asumió el compromiso de remitir por parte del Cabildo de Gran Canaria a la Consejería de Obras Públicas un Memorandum con propuestas definidas, a fin de fijar los términos de unos convenios de colaboración entre ambos organismos para afrontar conjuntamente la ejecución de los dos trabajos, sin perjuicio de extender a otros campos la colaboración deseable para actuar de forma coordinada en temas de interés común.

Dado cumplimiento a dicho compromiso se abordan en este Memorandum, en documentos separados, ambas materias, incluyendo los antecedentes y propuestas, ajustados a los términos de lo tratado en la reunión de referencia.



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

PLAN HIDROLOGICO INSULAR

Confeccionado por la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Agua del Gobierno de Canarias, y remitido con fecha 10 de Diciembre de 1.987 a este Cabildo Insular el borrador de un Convenio para la redacción del Plan Hidrológico Insular, conviene precisar dos cuestiones, con carácter previo, a saber:

1.- El alcance exacto del Convenio que se pretende, determinado en las estipulaciones del borrador recibido, que está circunscrito al objeto de la redacción de un Avance del Plan Hidrológico Insular. A falta de una regulación especial definitiva de la realización de este tipo de trabajos y de sus efectos, que no contiene ni la Ley de Aguas Nacional ni la Territorial de Canarias -publicada aunque no vigente-, constituye norma meramente orientadora por analógica la existente en la Ley reguladora del Régimen del Suelo y Ordenación Urbana, en cuanto permite que las Entidades y Organismos interesados podrán formular avances del Plan y anteproyectos parciales que sirvan de orientación a la redacción de los planes sobre bases aceptadas en principio.... La aprobación sólo tendrá efectos administrativos internos preparatorios de los planes y proyectos definitivos.

De esta finalidad, meramente preparatoria del planteamiento definitivo, deriva el carácter de no vinculante para el órgano que haya de efectuar la aprobación final del Plan, aunque por razona-



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

---

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

bles y elementales principios resultará aconsejable seguir y respetar las bases y recomendaciones de tales trabajos orientativos y preparatorios.

2.- Y la situación sobrevenida a posteriori de la recepción de dicho borrador, aunque esperada por el conocimiento de la iniciativa legislativa ejercida, relativa a la promulgación de la Ley 14/1.987, de 29 de Diciembre, sobre modificación de la disposición final tercera de la Ley Territorial de Aguas de esta Comunidad Autónoma, de 5 de Mayo de 1.987, en cuanto dispone que esta última Ley entrará en vigor el día 1 de Julio de 1.989; originándose consecuentemente una "especial" extensión del plazo llamado "vacatio legis", aún después de haber empezado a regir la expresada Ley de Aguas, con los efectos propios e inherentes, sobre lo que resulta obligado pronunciarse, aunque en forma sintética.

-La regulación legal referente a la elaboración de los Planes Hidrológicos Insulares; en cuanto a su extensión, contemplando los aspectos que obligatoriamente han de contener; necesidad de adaptación a las disposiciones del Plan Hidrológico de Canarias; y efectos vinculantes tanto para la Administración como para los particulares, respecto a la obligatoriedad de ajustar a sus disposiciones los actos administrativos y las actuaciones públicas y privadas, referidas al dominio público hidráulico y a la utilización de las aguas; todo ello está recogido, como es sabido,



Excmo. Cabildo Insular  
de  
Gran Canaria

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

en la Ley de Aguas de Canarias, en estos momentos no vigente aún, por las circunstancias antes expuestas, aunque con la previsión de su aplicación a partir de Julio de 1.989.

-La normativa sobre la planificación hidrológica, contenida en el Título III de la Ley de Aguas Nacional, de 2 de Agosto de 1.985, determina que los planes hidrológicos de cuenca habrán de comprender, obligatoriamente, el tratamiento de los doce apartados detallados en el Art. 40. Esta normativa, reguladora de la planificación, es totalmente nueva y por lo tanto innovadora y aplicable, para todo el territorio nacional, sin excepciones. No está afectada por la disposición adicional tercera de la propia Ley, en cuanto a su aplicación en Canarias, ya que solamente se tuvo la previsión de que no se produjeran efectos derogatorios respecto de la anterior legislación que se aplicaba en el territorio de nuestra Comunidad Autónoma, a fin de mantener su subsistencia y vigencia hasta que se dictase en Canarias la nueva legislación sobre aguas.

-Pues bien, no existiendo de antes legislación reguladora de la planificación, lo contenido en la Ley de Aguas Nacional en esta materia indudablemente tiene directa aplicación en Canarias, desde el mismo momento en que entró a regir esta Ley, o sea, el día 10 de Enero de 1.986; en el bien entendido, no obstanté, de que, de acuerdo a lo dispuesto en el Art. 39 de la propia Ley, dado que el procedimiento para la elaboración y revisión de



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

los Planes Hidrológicos de cuenca ha de regularse por vía reglamentaria, aún sigue pendiente esta regulación, por la falta de desarrollo reglamentario del Título III de la Ley de Aguas Nacional.

Enmarcada en sus exactos términos la cuestión, lo que era obligado para delimitar el alcance exacto de los estudios y trabajos objeto del Convenio, se plasman a continuación otros extremos tratados en las reuniones habidas, condicionantes de las aportaciones de los organismos interesados y de la forma de elaboración de las materias a abordar en el Avance pretendido.

### **PREVIA EXISTENCIA DE ESTUDIOS HIDROLOGICOS EN CANARIAS**

Precisamente no han sido pocos. Desde finales de la década de los sesenta, se han acometido los Estudios Científicos Canarias SPA-15, primero, bajo los auspicios de la UNESCO, y MAC-21 en segundo lugar, con el patrocinio del M.O.P.U. Durante más de diez años estos Estudios sirvieron en gran medida de excusa para demorar la adopción de iniciativas que en alguna forma estaban predeterminadas. Incluso MAC-21 planteaba soluciones acordes a las demandas del año horizonte 1.995, con veinte años de previsión mínima, que prácticamente han ido transcurriendo sin acometer sus recomendaciones.

Cuando se esperaba, después de la presentación de los trabajos



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

del Proyecto MAC-21, que llegaba la hora de las realizaciones, nuevas demoras derivaron del encargo de otros estudios, como los de los cuatro grupos de trabajo constituidos en 1.981, a partir de los acuerdos de la Comisión Interministerial de Planificación Hidrológica de las Islas Canarias, que al cabo de varios años presentó el resultado de sus deliberaciones.

Posteriormente, la dinámica derivada de la promulgación del Estatuto de Autonomía de Canarias, generó la consecuencia de la traslación de las competencias del M.O.P.U., en materia de obras y gestión de los recursos hidráulicos a la Comunidad Autónoma, con los problemas propios de la limitación de recursos económicos imprescindibles para afrontar las previsiones mínimas de una política hidráulica efectiva, que remediase el secular problema que tenemos planteado en Canarias en materia de agua; agravado por la ostensible disminución del gasto en inversiones en este campo, operada en todo este tiempo en el que primaron los estudios y prospecciones investigadoras; con la añadida incertidumbre, en orden a la continuidad del sistema de financiación de obras hidráulicas, con base a la legislación especial de auxilios para las Islas Canarias.

Y finalmente, una vez acordada por la Administración Autonómica la iniciación de los trabajos relativos al Plan Hidrológico Regional, fue resuelto el encargo y variada la filosofía para acometer primero los Planes Hidrológicos Insulares, en cuya tarea



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

preliminar ahora estamos.

En nuestra Provincia, todo el fondo documental de los señalados Estudios hasta ahora emprendidos, se encuentra en las dependencias del Servicio Hidráulico de Las Palmas, que además cuenta con el material que se ha podido recopilar de momento, referente al Plan Hidrológico Regional y los medios informáticos que se han venido utilizando para dicho trabajo.

**FORMULAS PARA LA ELABORACION DEL AVANCE DEL PLAN HIDROLOGICO INSULAR**

En el borrador del Convenio recibido, se ha previsto que el Cabildo se compromete a la redacción de un Avance del Plan Hidrológico, que contendrá el orden de prelación de los consumos y contemplará además un cuerpo de nueve estudios separados que se enumeran en el mismo; que deberá estar ultimado el 1 de Enero de 1.989, aportando el Gobierno de Canarias 14.312.256 pesetas.

No obstante, en las reuniones posteriores celebradas, se ha puesto de manifiesto y asumido lo siguiente:

- La cortedad del plazo.
- La insuficiencia de la aportación económica del Gobierno de Canarias.
- La limitación de medios disponibles por el Cabildo de Gran Canaria.





*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

**SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS**

-La extensión de los estudios que han de elaborarse, algunos tan "especiales" como los relativos a la determinación de las zonas o acuíferos no aprovechados o infraexplotados, sobreexplotados o en riesgo inminente de estarlo (en el momento de redacción del Plan), o la enumeración y trazado real de los pozos y galerías existentes de acuerdo con el registro y catálogo de aguas y aforos autorizados; la descripción y calificación de las aguas desde el punto de vista de la calidad o la descripción y previsión de consumo y aprovechamiento, incluyendo previsiones sobre las aguas residuales depuradas. Sobre gran parte de estos temas, además, el soporte documental necesario obrante en los correspondientes expedientes tramitados para el otorgamiento de autorizaciones, obra en el propio Servicio Hidráulico de la Consejería.

-La mayor afectación de la problemática hidráulica a la Isla de Gran Canaria, por sus condicionantes, que obliga a diferenciar sus necesidades tanto a la hora de los trabajos de planificación como en las inversiones.

-Y por consecuencia de todo lo anterior, se aceptó la fórmula de la coparticipación de la propia Consejería a través de su Servicio Hidráulico y este Cabildo Insular, con ampliación de la dotación de medios para la realización de tales trabajos de planificación, a plasmar en el Convenio de Colaboración, cuyo segundo borrador se ha elaborado y se acompaña como Anexo.



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

CONVENIO ENTRE LA CONSEJERIA DE OBRAS PUBLICAS, VIVIENDA Y AGUA  
Y EL CABILDO INSULAR DE GRAN CANARIA, PARA LA REDACCION DEL AVAN-  
CE DEL PLAN HIDROLOGICO INSULAR.

En Santa Cruz de Tenerife, a

**S E R E U N E N**

De una parte, el Excmo. Sr. Don Ildefonso Chacón Negrín, Conseje-  
ro de Obras Públicas, Vivienda y Agua del Gobierno de Canarias.

De otra, el Ilmo. Sr. Don Carmelo Artiles Bolaños, Presidente del  
Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria.

**C O M P A R E C E N**

El primero en nombre y representación del Gobierno de Canarias,  
en ejercicio de la potestad que le confiere el artículo 19.1 de  
la Ley Territorial 8/86, de 18 de Noviembre de las  
Administraciones Públicas Canarias, previo acuerdo del Consejo de  
Gobierno, de 27 de Noviembre de 1.987, por implicar el Convenio  
obligación de contenido económico.

El segundo, en nombre y representación del Excmo. Cabildo Insular  
de Gran Canaria, facultado por el Pleno de la Corporación Insu-



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

lar, de acuerdo con lo que dispone el núm. 3 del artículo 19 de la Ley Territorial 8/86, de 18 de Noviembre.

**M A N I F I E S T A N**

**PRIMERO.**- Que tanto para el Gobierno de Canarias como para el Cabildo Insular de Gran Canaria, constituye motivo de especial preocupación la inexistencia de una planificación hidrológica, imprescindible para llevar a efecto la más adecuada política en materia de aguas en el Archipiélago Canario.

**SEGUNDO.**- Que en orden a la formulación de dicha política se considera necesario concretar los términos de la planificación hidrológica regional a partir de un análisis de la problemática hidráulica a nivel insular.

**TERCERO.**- Que los Cabildos constituyen las instituciones donde hallaría su expresión más natural un análisis de tal naturaleza.

**CUARTO.**- Que, en consecuencia, el Gobierno de Canarias se encuentra dispuesto a aportar los medios necesarios y la ayuda financiera precisa para que, por el Cabildo Insular de Gran Canaria conjuntamente con la Consejería de Obras Públicas, a través de sus respectivos Servicios Hidráulicos, se realicen los estudios previos dirigidos a la formulación de un Plan Hidrológico Insular y ello con arreglo a las siguientes



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

**ESTIPULACIONES**

**PRIMERA.** - El Avance del Plan Hidrológico Insular contendrá el orden de prelación de los consumos y contemplará, entre otros, los siguientes aspectos:

- Inventario general de los recursos en explotación.
- Zonas o acuíferos no aprovechados o infraexplotados.
- Zonas o acuíferos que, en el momento de la redacción del Plan, se encuentren sobreexplotados o en riesgo inminente de estarlo.
- Sistema de captación y aprovechamiento a emplear según las diferentes zonas y criterios para su ordenación.
- Redes idóneas de transporte y alternativas posibles.
- Enumeración y descripción de embalses, depósitos y otras obras e instalaciones relevantes existentes.
- Enumeración y trazado real de los pozos y galerías existentes de acuerdo con el registro y catálogo de aguas y aforos autorizados.
- Descripción y previsión de evolución de los lugares de consumo y aprovechamiento, incluyendo previsiones sobre las aguas residuales depuradas.

**SEGUNDA.** - La redacción del avance objeto del presente Convenio



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

deberá estar ultimada el 1 de Julio de 1.989.

**TERCERA.**— A tal objeto, el Gobierno de Canarias aportará inicialmente una financiación de CATORCE MILLONES TRESCIENTAS DOCE MIL DOSCIENTAS CINCUENTA Y SEIS (14.312.256) PESETAS, cantidad que se librará al Cabildo Insular de Gran Canaria a la presentación por el equipo redactor del Avance del programa y calendario de realización de los trabajos objeto de este Convenio. Aplicación Presupuestaria: 11.05.105.607.03. Proyecto 253.01.

Igualmente, el Gobierno de Canarias se compromete a suplementar dicho importe con la cantidad que se presupueste a propuesta conjunta de la propia Consejería de Obras Públicas y el Cabildo de Gran Canaria, como necesaria para la atención de los gastos imprescindibles para ultimar este Avance del Plan Hidrológico Insular de Gran Canaria. Este suplemento de crédito habrá de obtener disponibilidad en el presente Ejercicio Económico y su importe se librará al Cabildo de Gran Canaria a medida que sea necesario atender al pago de las prestaciones y gastos que se generen en la realización de los trabajos incluidos en el Avance.

**CUARTA.**— Será director de los respectivos estudios y trabajos parciales y del Avance en su conjunto a que se contrae este Convenio, el Ingeniero-Jefe del Servicio Hidráulico en la Consejería de Obras Públicas en Las Palmas.

Bajo su dirección se formarán los equipos técnicos y facultativos



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

precisos que desarrollen y lleven a efecto cada uno de los señalados trabajos objeto del Convenio.

Se utilizarán en lo posible y necesario los medios personales, materiales y fondos documentales adscritos y obrantes en los respectivos Servicios Hidráulicos, pudiéndose efectuar encargos específicos o contratar determinadas prestaciones que no puedan obtenerse o prestarse directamente por ambos Organismos oficiales. Estos encargos y contrataciones los efectuará el Cabildo Insular de Gran Canaria con cargo a la ayuda económica que a este fin se ha previsto reciba del Gobierno de Canarias.

Al concluir los estudios y trabajos objeto de este Convenio, con independencia de que los respectivos Servicios de Recursos Hidráulicos de los dos Organismos colaboradores dispongan de toda la información y la documentación de base y de los propios trabajos definitivos resultantes, el Cabildo de Gran Canaria dispondrá y conservará los medios de procesamiento, programas, fondos informáticos y restante instrumental que haya sido necesario utilizar y adquirir para la preparación del Avance.

**QUINTA.**— Se constituirá una Comisión de seguimiento de los trabajos del Avance integrada por representantes del Gobierno de Canarias que tengan relación directa, en sus respectivas funciones, con los estudios y trabajos a realizar; y cuatro representantes del Cabildo de Gran Canaria; su Presidente, Presidente de



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

la Comisión de Recursos Hidráulicos, Ingeniero Director y el Jefe de Servicio responsable del área jurídico-administrativa, adscritos estos últimos al Servicio Insular de Recursos Hidráulicos. Pueden integrarse también representantes de otros organismos públicos interesados y expertos que en cada momento la propia Comisión considere conveniente.

Se reunirán con la periodicidad aconsejable para efectuar su labor de seguimiento y revisión de los programas y calendarios de los correspondientes trabajos, al menos una vez al trimestre.

Estará presidida por el Presidente del Cabildo Insular de Gran Canaria y en su primera reunión se fijarán las normas internas de funcionamiento.

**SEXTA.-** Las Partes, de forma expresa, verifican como declaración y compromiso que respectivamente asumen la manifestación de su voluntad de acometer las obras e inversiones que en materia hidráulica estén contenidas en sus propios programas de realizaciones, de modo que bajo ningún concepto queden demoradas en espera, ni de la elaboración del Avance ni del propio Plan Hidrológico Insular, al objeto de no retardar la entrada en funcionamiento de las mismas, en cuanto estén definidas como imprescindibles y necesarias. Consecuentemente la realización del Avance no ha de suponer en absoluto paralización de las obras en curso, o de ejecución o de proyección y contratación; subsistiendo los



Excmo. Cabildo Insular  
de  
Gran Canaria

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

correspondientes compromisos políticos y presupuestarios ya adquiridos; y respetándose la propia libertad de llevar a cabo las inversiones que se puedan programar.

**SEPTIMA.-** En todo caso, ambos Organismos se comprometen a prestarse recíprocamente la colaboración, con intercambio permanente de información, para operar de forma coordinada en la realización de obras e inversiones hidráulicas en Gran Canaria, de modo que se economicen esfuerzos y se pueda tener unidad de actuaciones, en evitación de la dispersión y del uso inadecuado de sus respectivos recursos.

Del presente Convenio se dará cuenta a la Comisión de Desarrollo Autonómico y Administración Territorial del Parlamento de Canarias, en cumplimiento de lo preceptuado en el núm. 4 del Art. 19 de la Ley 8/86, de 18 de Noviembre.

Para su cumplimiento y efecto, y en prueba de pleno consentimiento, se firma el presente Convenio en el lugar y fecha indicados ut supra.

EL CONSEJERO DE OBRAS PUBLICAS,  
VIVIENDA Y AGUAS:

EL PRESIDENTE DEL CABILDO  
INSULAR DE GRAN CANARIA:

Fdo., Ildefonso Chacón Negrín

Fdo., Carmelo Artiles Bolaños





*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

**PROYECTO DE INTENSIFICACION DE PRECIPITACIONES**

**ANTECEDENTES**

Se está desarrollando este Proyecto en la isla de Gran Canaria, como una de las variadas medidas extraordinarias, que han sido precisas acometer, con la finalidad de incrementar los escasos recursos hidráulicos disponibles en nuestro Archipiélago. Ha sido posible plantearlo y desarrollarlo en las fases hasta ahora emprendidas, en virtud de las recomendaciones contenidas en el primer estudio global y científico realizado por el Ministerio de Obras Públicas de nuestro País, bajo los auspicios de la UNESCO, denominado "Canarias-SPA-15", realizado a partir de 1.970 y ultimado en 1.975. Concretamente, en el apartado relativo a recursos hidráulicos marginales, del volumen correspondiente a las "Generalidades, Resumen y Conclusiones" de este Estudio Científico, se consideró que la lluvia artificial es una posibilidad que podría intentarse, si bien -expresaba dicho informe- no se esperan incremento de la precipitación superiores al diez por ciento en los meses de Invierno, estando además condicionada esta posibilidad por el coste.

Inmediatamente después de terminados los trabajos del citado Proyecto "Canarias-SPA-15", se prosiguieron los estudios de planificación hidráulica en esta Región, mediante otro Estudio Científico, afrontado directamente por el gobierno español a través



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

de la creada al efecto Comisión Interministerial Coordinadora de las actuaciones del Estado en materia de aguas en las Islas Canarias, cuyos objetivos fueron fijados en un Plan de Operaciones tendente a:

- Asegurar el uso óptimo de los recursos hidráulicos disponibles y determinar los déficit existentes, así como los procedimientos más adecuados para satisfacerlos.
- Determinar prioridades y establecer programas de actuación, teniendo en cuenta los balances insulares entre recursos hidráulicos disponibles, en sentido lato, y las demandas previsibles, así como las restricciones institucionales y de inversión.

Bajo estas premisas se acometió el Proyecto de Planificación y Explotación de los recursos de Agua de las Islas Canarias, llamado abreviadamente "Proyecto MAC-21".

En el Informe Principal de este Estudio, presentado en 1.981, entre otras muchas conclusiones, se recomendó expresamente continuar cuanto antes las investigaciones relativas a la eventual viabilidad de "importar" (término empleado en el sentido más amplio) recursos hidráulicos por cualquier procedimiento plausible. Aunque es evidente -se expresó en la referida conclusión- que éstos (procedimientos) no podrán aplicarse en etapas inmediatas, no lo es menos que si se demuestra su factibilidad técnico-económica, supondría una innovación importante a tener en cuenta



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

en futuras etapas del desarrollo hidráulico de las Islas.

Con estos antecedentes, el Cabildo Insular de Gran Canaria, especialmente sensibilizado y alarmado por el progresivo descenso de los recursos hidráulicos disponibles en esta Isla, notoriamente insuficientes, planteó la oportunidad de emprender los trabajos recomendados de investigación en el campo de la estimulación artificial de precipitaciones, entre otras medidas también previstas para resolver el grave problema existente de carencia de agua.

A tal fin, se propuso y seleccionó el "Proyecto de Intensificación de Precipitaciones en la isla de Gran Canaria", para determinar la viabilidad de las experimentaciones en esta materia, por el Comité Científico y de Cooperación Tecnológica, establecido en virtud de los Acuerdos o Tratado de Amistad y Cooperación entre España y Estados Unidos de 1.976. Los antecedentes y objetivos de este Proyecto están desarrollados en el documento que se adjunta, elaborado por el Bureau of Reclamation de la División of Atmospheric Resources Research (Departamento del Interior USA), en Septiembre de 1.984.

A consecuencia de la expiración del referido Tratado, el 31 de Diciembre de 1.982, el Programa emprendido dejó de recibir fondos de los asignados por el Comité Conjunto Hispano-Norteamericano desde el término de la segunda Campaña que duró de Octubre de 1.982 hasta Abril de 1.983.



*Cacmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

En síntesis, las causas de estas limitaciones en el uso completo de todos los medios previstos como necesarios, se deben las variadas circunstancias que han concurrido ultimamente y que pueden agruparse del siguiente modo:

- a) Desarrollo del proceso de traspaso de funciones y competencias en materia de administración de recursos hidráulicos desde el Estado (Ministerio de Obras Públicas) a la Región Canaria (Gobierno de Canarias, Consejería de Obras Públicas, Dirección General de Aguas), que ha culminado, aunque con deficiencias en cuanto a disponibilidad de medios económicos.
- b) Posposición del esquema definitivo de traslado a los Cabildos de competencias y funciones en esta materia hidráulica, denominada en una primera fase hasta la disponibilidad de la llamada "Ley de Cabildos", aún sin desarrollar en este campo y controvertida en cuanto al sistema y extensión del traspaso de tales funciones.
- c) Falta de definición del grado de intervención y participación de los Cabildos Insulares en la planificación, investigación y administración de los recursos hidráulicos.
- d) Igual falta de concreción de la participación estatal, a través de un Convenio con la Comunidad Autónoma, previsto en el Decreto de Transferencias, para llevar a cabo, entre otras cosas, Proyectos, Programas o Estudios de alta investigación



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

tecnológica, en materia de aguas, como el que nos ocupa.

- e) Cambios legislativos operados en la regulación jurídica de las aguas, con las añadidas dificultades de ordenación sectorial de esta materia en nuestra Región, aún pendiente de ultimar.
- f) Dificultades para materializar la ayuda y cooperación científica y tecnológica, a través del Comité Conjunto Hispano-Norteamericano, que canalizó inicialmente este Proyecto, incardinándolo dentro de sus programaciones.
- g) Dependencia, en algún grado, de la forma en que se contemple el propio Proyecto en los correspondientes Planes Hidrológicos Regional e Insulares, en sus conclusiones, dentro de las medidas globales diversas que han de adoptarse para paliar el problema de la falta de agua en nuestras Islas.
- h) Y falta de integración formal en el Proyecto de los Organismos Oficiales Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología, o de la Organización Meteorológica Mundial, pese al conocimiento que tienen del mismo y de las ayudas indirectas y ocasionales que prestan.

A pesar de todo, el Cabildo de Gran Canaria, en solitario, para no abandonar totalmente este Proyecto, iniciado con dificultades indudables, decidió afrontar y continuar los trabajos de siembra



*Cacmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

con material higroscópico, manteniendo la utilización del radar meteorológico, proporcionado por el M.O.P.U. -a través del CEDEX-, más la red de los veinticuatro pluviógrafos de observaciones, proporcionados por la Administración Norteamericana; y de los equipos de preparación del material de siembra y avión de inseminación; todo ello para no interrumpir y mantener la obtención de la información básica a procesar en su día para la evaluación definitiva, así como en espera de que de nuevo este Proyecto cuente con los medios completos de investigación, no utilizados desde 1.983.

**PROPUESTAS**

Se interesa de la Consejería de Obras Públicas de la Comunidad Autónoma la participación en este Proyecto, a fin de que pueda reemprenderse la totalidad de las misiones propias del mismo y se puedan asimismo realizar las correspondientes tareas de evaluación.

A tal fin podría:

Prepararse un Convenio de Colaboración, entre la propia Consejería y este Cabildo Insular, extensible al M.O.P.U. y al Instituto Nacional de Meteorología.

Los medios necesarios a aportarse por no estar ahora usándose, serían:



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

-Avión equipado con el instrumental de investigación de física de nubes, con las características adecuadas para llevar a cabo la medida y registro, segundo a segundo, de todos los datos inicialmente programados.

Una solución alternativa sería la de conseguir, separadamente, el avión por un lado, que podría ser proporcionado por la Dirección General de Aviación Civil, de los que cuenta para la formación y adiestramiento de pilotos en la Escuela Nacional de Aeronáutica (ENA) en Salamanca, dentro de un programa a negociar con dicho Organismo; y de otro el paquete del instrumental a instalar en dicho avión, que podría ser alquilado en EE.UU., existiendo por nuestra parte detalles de sus características, disponibilidades y precios, que oscilan estimativamente en 50.000 dólares USA por Campaña.

-Fijación del método definitivo de tratamiento y evaluación de los datos obtenidos e iniciación de tales trabajos, en conjunción con los inicialmente desarrollados bajo la dirección del Bureau of Reclamation Norteamericano.

-Mejora de las condiciones de los medios de sembrado de nubes, con adecuación del avión, que se está utilizando desde 1.981 y que necesita una puesta a punto.

-Disponibilidad de todos los datos meteorológicos necesarios, incluyendo los obtenidos por vía satélite, radio-sonda y radar,



*Excmo. Cabildo Insular*  
*de*  
*Gran Canaria*

---

SERV. INS. RECURSOS HIDRAULICOS

mediante la colaboración del Instituto de Meteorología.

Esta participación que se pretende de la Consejería, puede plasmarse a través de un Convenio, a realizar después de conocer el grado de colaboraciones que podrían proporcionar los organismos oficiales antes señalados, interviniendo también los mismos o no, según el resultado de las gestiones que pueden emprenderse en la forma más conveniente.

Por nuestra parte estamos en disposición de llevar a cabo los contactos y gestiones oportunos y de elaborar un primer borrador del Convenio que deseamos obtener.



BORRADOR TRADUCIDO

GRAND CANARY ISLAND

PRECIPITATION ENHANCEMENT PROJECT

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR

Bureau of Reclamation

Division of Atmospheric Resources Research

September 1984

# I N D I C E

	<u>Página</u>
I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	3
A. Modificación del tiempo en la Isla de Gran Canaria	3
B. Posibilidades de aumento de precipitaciones en las Islas Canarias	6
1. Tipos de nubes	7
2. Posibilidad Técnica	9
C. Beneficios Potenciales	10
1. Aumento del suministro de agua dulce	11
2. Beneficios de los Estados Unidos	12
D. Seguridad de las Operaciones	14
III. EL PROYECTO	17
A. Objetivo del proyecto	17
B. Propósito del proyecto	17
C. Soporte del proyecto	18
D. Descripción del proyecto	20
1. Descripción operacional	21
2. Medidas de lluvia	25
3. Análisis y archivo de datos	26
4. Evaluación científica y económica	29
5. Criterio de suspensión	31
IV. DESCRIPCION TECNICA	33
A. Mecanismo de implementación	33
B. Descripción detallada	33
1. Necesidades de equipo y disponibilidades	33
a. Planificación y Gestión del Proyecto	33
b. Centro de control de operaciones	34
c. Avión de siembra higroscópica	34
d. Avión de investigación de física de nubes	35
e. Mantenimiento en operación de Aviones	36

	<u>Página</u>
f. Radar Meteorológico	37
g. Red de pluviógrafos de superficie	37
h. Sondeos atmosféricos	37
i. Evaluación científica y económica	38
2. Necesidades de personal	38
a. CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid	39
b. Cabildo de Gran Canaria	39
c. Instituto Meteorológico Nacional	40
d. Bureau of Reclamation, DARR	40
e. Avión de investigación de física de nubes	40
3. Condiciones de entrenamiento	41
V. PLAN DE FINANCIACION	43
A. Origen de los fondos	43
B. Destino de los fondos	43
C. Presupuesto	43
VI. IMPLANTACION Y OPERACION DEL PROYECTO	49
A. Responsabilidades	49
1. Gobierno de los Estados Unidos	49
2. Gobierno Español	49
B. Plan de implantación y operación	50
C. Gestión del Proyecto	53
1. Comité de Guía	53
2. Cabildo de Gran Canaria	54
D. Seguimiento	55
E. Evaluación del Proyecto	55

## I. INTRODUCCION

Las Islas Canarias presentan históricamente una escasez de agua. Los limitados recursos hídricos han sido sometidos a una demanda creciente a lo largo de muchos años. En Gran Canaria, las extracciones de las reservas subterráneas han sido superiores a la recarga natural durante más de 20 años. El agua para la agricultura de regadío ha sido sobre-explotada con el resultado de que muchos pozos en las zonas agrícolas del este y sureste están afectados por la intrusión marina. La producción de frutas y vegetales para el mercado europeo de invierno es una parte de la economía Canaria. Igualmente el suministro de agua potable para la ciudad de Las Palmas y para el desarrollo de la industria turística en otras zonas de la isla ha producido un aumento de las dificultades y los costes. Actualmente, se suplementan los recursos naturales mediante desalación de agua de mar en una serie de instalaciones anejas a la principal planta eléctrica de la isla; el coste resulta superior a un dólar/m<sup>3</sup>. El Cabildo de Gran Canaria define la escasez de agua como "el mayor y más complicado problema por resolver".

Durante los años 70, el gobierno español llevó a cabo varios estudios sobre la disponibilidad de agua de la Isla de Gran Canaria, en colaboración con las Naciones Unidas. Los estudios de SPA-15, bajo el patrocinio de la UNESCO, y consecuentemente, los de MAC-21, dirigidos por el MOPU, con la participación del Cabildo de Gran Canaria, concluyeron que era posible el uso de la estimulación de lluvia para aumentar los recursos naturales.

La siembra de nubes para aumentar la precipitación se considera factible y prometedora con respecto a los recursos de agua dulce de Gran Canaria.

Un programa de siembra de nubes para aumentar la precipitación con resultados positivos puede ayudar a cubrir las necesidades de agua y a disminuir la incidencia de la actual esca

sez de agua; sin embargo, no resolverá totalmente el problema. La siembra de nubes debe ser considerada únicamente como una herramienta de la gestión de recursos hidráulicos.

Deben de plantearse otros proyectos para desarrollar - otras fuentes de recursos, como la desalación de aguas salobres de pozos, reutilización de aguas residuales y la repoblación forestal. Se ha diseñado e instalado en Gran Canaria una planta - piloto para desalación. La reutilización de aguas residuales es, simplemente, un asunto de tecnología de tratamiento de agua y - distribución. La repoblación forestal tiene un efecto menos indirecto, pero no debe ser olvidado.

También se debe considerar la iniciación y/o el desarrollo de programas para mejora de las prácticas de conservación - de suelos, reconversión agrícola o cultivos de menor demanda de agua, ordenación de riegos, gestión de pozos y embalses y control de apertura de nuevos pozos. Lo más importante es que es necesario intensificar las medidas de conservación de agua, especialmente en pueblos y ciudades.

El gobierno español ha solicitado asesoramiento del Departamento de Estado de los EEUU, para el diseño, entrenamiento en operación, y evaluación de un proyecto experimental de intensificación de precipitaciones en la isla de Gran Canaria. Este documento incorpora un programa operacional de 3 años, que tiene como meta determinar si el tratamiento de nubes para estimular la lluvia, es un medio apropiado y económico para aumentar la limitada disponibilidad de agua en la Isla de Gran Canaria. Los EEUU proporcionarán la dirección técnica para este proyecto a través de la división de Investigación de Recursos Atmosféricos (Atmospheric Resources Research), Bureau of Reclamation, actuando como el agente técnico del Departamento de Estado de los EEUU.

## II ANTECEDENTES

### A. Modificación del tiempo en la Isla de Gran Canaria

A partir del comienzo de los 5 años del tratado de amistad y cooperación entre los EEUU y España en 1978, se revisó y aprobó por el Comité Científico y de Cooperación tecnológica establecido dentro del Tratado, la correspondiente propuesta de proyecto para experimentar la intensificación de precipitaciones.

El proyecto de intensificación de precipitaciones en la Isla de Gran Canaria se aprobó como parte del programa "Técnicas de planificación, desarrollo y explotación de recursos hídricos", dentro del cual se le asignó el número 3030. Se asignó la supervisión y administración española del proyecto al Centro de Estudios Hidrográficos, como agente del MOPU. Se ha presentado un programa de 6 años, con la esperanza de poder establecer con un período de esta duración, los efectos que produce la estimulación de lluvias.

Se definieron dos clases diferentes de funciones y objetivos: El papel del Bureau of Reclamation se concentró en la investigación científica, con el objetivo particular de investigar la formación de lluvia en nubes cálidas con actividad convectiva de débil a moderada, y en concreto, en la posibilidad de estimulación de la lluvia en esas circunstancias, mediante la siembra con partículas higroscópicas. El papel del Cabildo se concentró en la aplicación práctica y en el desarrollo de una capacidad eficaz de siembra. El papel del Bureau se concretó en el suministro de un avión con tripulación especialmente equipados y entrenados para las investigaciones de física de nubes. Como papel del Cabildo se estableció la aportación de un avión para siembra de nubes, incluyendo el material de siembra, su preparación y almacenamiento, y la operación de una red pluviográfica en la zona del estudio. Ambas entidades contribuyeron a la instalación y funcionamiento de un radar meteorológico, que se utilizó para los aspectos científicos y prácticos del programa.

Las actividades de la campaña 1981-1982, se dedicaron - principalmente a la familiarización del personal, pruebas de -- equipo, y a establecer una red pluviográfica. Como consecuencia de la poca frecuencia de condiciones metereológicas favorables, así como dificultades en el trabajo del avión de siembra y otros problemas, no ha sido posible alcanzar la realización completa del plan experimental. Se apreciaron algunos indicios positivos de los efectos de la siembra, pero no se pudo realizar un análi~~s~~is metódico por la dispersión y baja calidad de los datos.

La campaña 1982-83 se programó como la primera de cinco campañas de experimentación orientadas hacia la práctica, para conseguir tomar una decisión sobre la conveniencia de transformar el proyecto en una actividad permanente, dentro de la ges-- tión de recursos hidráulicos de la Isla de Gran Canaria. Se estableció un plan de operaciones para la siembra aleatoria, y re~~c~~ogida de datos de las nubes en aproximación a la costa de Gran Canaria de tamaño y desarrollo suficientes como para poder des-- prender lluvia; cada nube o grupo de nubes se designó como una unidad experimental. Se dió prioridad al tratamiento al azar de nubes calientes con un desarrollo vertical de por lo menos 1.500 m. En los días en que las temperaturas superiores de las nubes convectivas eran inferiores a  $-5^{\circ}\text{C}$ , y dichas nubes seguían aumen-- tando de tamaño, se seleccionó el tratamiento con hielo seco. - La recogida de los datos de las nubes se hizo con un avión de - física de nubes antes, durante y después de cada operación de - siembra o de no siembra.

Las tripulaci~~o~~nes de los aviones de física de nubes y de siembra notaron que, aparentemente, había respuest~~a~~a a la siem-- bra higroscópica. Dicha respuesta incluía un cambio en la distri~~b~~ución de gotas, con mayores tamaños en las zonas sembradas, en comparación con las no sembradas. Los tripulantes del avión de siembra indicaron que 15 minutos después de la mayoría de las - operaciones de siembra higroscópica, las gotas que golpeaban el parabrisas del av~~ion~~ habían aumentado considerablemente, y que poco tiempo despues observaban el desprendim~~ie~~nto de precipita-- ciones importantes de la nube o sistema nuboso sembrado.

La expiración del tratado de amistad y cooperación entre EEUU y España, el 31 de Diciembre de 1982, interrumpió la realización de los aspectos científicos del programa que anteriormente se aportaban a través del Comité Conjunto Hispano-norteamericano para la Cooperación Científica y Tecnológica y el programa dejó de recibir fondos de dicho origen en la campaña 1983-84.

Sin embargo, el Cabildo de Gran Canaria, con la ayuda del Centro de Estudios Hidrográficos de España preocupados de perder el programa por completo, realizaron el programa de la estación 1983-84 a nivel de 30.000.000 de pts (unos 220.000\$). Por esto se realizó la siembra higroscópica desde el 15 de Noviembre de 1983 hasta el 15 de Abril de 1984, manteniendo la operación del Radar y de las observaciones pluviográficas, pero sin disponer del avión de física de nubes, de los datos del METEOSAT, visibles e infrarrojos y otros.

La División of Atmospheric Resources Research preparó un borrador de informe para el programa cooperativo de intensificación de precipitaciones de 1982-83 que se inició bajo el pasado tratado de Amistad y Cooperación con España. Se enviaron copias del borrador de informe al Cabildo Insular de Gran Canaria y al Director del Centro de Estudios Hidrográficos para su revisión. Se preparará un informe final después de la recepción de los comentarios a los borradores.

No se puede hacer una evaluación científica de los resultados de siembra higroscópica hasta que no se puedan estudiar más nubes. No obstante, la Division of Atmospheric Resources Research, Bureau of Reclation, cree que se ha avanzado lo suficiente en el proyecto de intensificación de precipitaciones y que los resultados preliminares son lo suficientemente esperanzadores como para garantizar que se puede continuar el proyecto hasta una conclusión satisfactoria concordante con el diseño original del mismo.



## B. Posibilidades de aumento de Precipitaciones en Las Islas Canarias

El Archipiélago Canario, mostrado en la figura núm. 1 - se compone de siete islas y varios islotes. Está situado en la parte este del Océano Atlántico, a 4 grados norte del Trópico de Cáncer. La isla de Gran Canaria dista unos 260 Km. de la costa del Norte de Africa a una latitud de 28°N, aproximadamente - la misma que Tampa, Florida. La superficie de Gran Canaria es de unos 1.558 Km<sup>2</sup> y alcanza una máxima elevación de 1.949 m sobre el mar en el centro de la isla.

La isla de Gran Canaria está en la zona de los alisios del nordeste, al sur de la prolongación este del anticiclón de las Azores. Bajo la influencia de la surgencia de agua oceánica relativamente fría, el tiempo normal presenta una capa marina - moderadamente nubosa con un espesor de unos 800 m, coronada por una inversión de aire seco subsidente.

Dos tipos de perturbaciones alteran este régimen, produciendo una estación lluviosa bimodal desde la mitad de Noviembre hasta mediados de Abril. El primer tipo de perturbación, que normalmente ocurre durante la primera parte de la estación lluviosa, parece una perturbación de tipo tropical débil, aumentando el espesor de la capa húmeda y la inestabilidad desde el suroeste, generalmente con vientos del sur o del sureste. Produce tormentas, en ocasiones fuertes, con chaparrones locales intensos en cotas bajas y nieve granulada en las cimas. El segundo tipo, común entre Diciembre y Marzo, acompaña el paso del frente polar, con aumento de espesor de la capa marina y debilitamiento o destrucción del tope de inversión, formándose estratocúmulos de gran espesor acompañados por cúmulos ocasionales.

Se desarrollan chubascos ligeros y dispersos sobre el mar, resultando más frecuentes e intensos sobre tierra, pero no alcanzando nunca la intensidad de las tormentas.

La precipitación anual aumenta desde menos de 100 mm - sobre el Océano abierto a 200 mm cerca de la costa de barlovento y hasta casi 1.000 mm en la parte alta de barlovento de la isla, con una zona de menor precipitación en la mitad de sotavento.

La pluviometría anual en una parte representativa de - la zona de estudio es bastante variable, con una desviación típica del 20% de la media anual, siendo el valor máximo de los últimos 35 años mayor que cuatro veces el valor mínimo.

Durante el paso de los frentes polares, los alisios -- del Noreste, rolan al Norte o al Noroeste. Como el espesor de la capa marina aumenta bajo la influencia de la divergencia en altura y la inversión marina se debilita, el flujo de aire tiende a menos a rodear la isla y más a ascender su pendiente desde la costa hacia las cumbres, tendencia que se refuerza durante el máximo del ciclo diario solar de calentamiento. La trayectoria del aire a través de la isla se desplaza sobre terrenos que varían desde 300 hasta 1.500 m., con un efecto de ascensión -- orográfica entre 600 y 1.000 m. La distancia entre la costa y las cimas varía entre 15 y 25 Km. Las posibilidades de aumento de precipitación están directamente relacionadas con dichas -- perturbaciones atmosféricas. Sin el desarrollo de nubes apropiadas, estimulado por la profundización de la capa húmeda de los Alisios, no habría posibilidad de estimulación de lluvias.

### 1. Tipos de nubes

Las nubes en estado natural, se componen de gotas de - agua, la mayor parte de las cuales tienen un diámetro de 13 micras, tan pequeñas que su velocidad de caída es despreciable. Unas pocas, un poco mayores que sus vecinas, chocan con las más próximas y comienzan a crecer. Mientras las nubes permanecen - con poco desarrollo vertical, el crecimiento es muy lento y nunca llegan a ser suficientemente grandes como para caer más de - unos pocos metros por debajo de la base de la nube, antes de - evaporarse.

En tiempo revuelto hay dos modos en los que las nubes producen lluvia. La primera y más frecuente es un aumento del espesor de la capa nubosa acompañada de una convección débil a moderada en forma de estratocúmulos con algunos cúmulos intercalados, con una altura no mayor de 3,5 Km y unas temperaturas comprendidas entre  $+5^{\circ}$  a  $-5^{\circ}$  C. Su espesor varía entre 1,5 y 2,3 Km, pero raras veces es mayor. En estas nubes la lluvia se forma por el proceso de coalescencia (nube cálida), durante el cual ni la formación de hielo ni la liberación de inestabilidad dinámica juegan un papel importante.

Conforme las nubes sean más gruesas y las gotas de la parte superior mayores, más gotas se formarán por colisión y más podrán alcanzar el tamaño de lluvia antes de llegar a la base de la nube.

Algunas veces, cuando hay fuerte inestabilidad, la capa marina resulta tan gruesa y la inversión superior tan debilitada que las cimas de las nubes alcanzan alturas en las que la temperatura está por debajo de  $-5^{\circ}$  C. Si la parte más fría de la nube permanece más caliente que  $-10^{\circ}$  C, el proceso de lluvia cálida predomina siempre aunque se encuentren unos pocos cristales de hielo en la nube. Es corriente la aparición de precipitaciones en forma de pequeñas bolas de hielo y casi siempre sin escarcha. La escasez de escarcha indica que han crecido por colisión en estado líquido antes de encontrar un núcleo de congelación.

La segunda manera de desarrollo de la precipitación, mucho menos frecuente que la primera, es la ruptura de la inversión de los alisios y el establecimiento de una gruesa capa de aire condicionalmente inestable, produciendo la formación de un grupo de grandes cúmulos y cumulonimbos con cimas por encima de 5 Km y temperaturas por debajo de  $-10^{\circ}$  C.

Las nubes de estos tipos se componen a menudo de gotas líquidas de forma total o parcial, a pesar de las bajas temperaturas. Las gotas líquidas en esas nubes se llaman "sobreen-

friadas". La forma normal de precipitación a partir de dichas nubes es de gránulos escarchados de hielo blando, mostrando -- que las gotas sobreenfriadas de las nubes se recolectaron predominantemente sobre cristales de hielo o en grandes gotas antes de su helada. Cuando el aire debajo de las nubes es suficientemente templado, las partículas congeladas se funden y alcanzan el suelo en forma de lluvia.

## 2. Posibilidad Técnica

En el proceso de coalescencia (nube cálida), hay dos factores que rigen la aparición de lluvia a partir de una nube dada cuando se mueve subiendo la pendiente de la ladera de barlovento de la isla, pasa sobre la cima y comienza su descenso. El primer factor es el tiempo necesario para que las gotas crezcan por colisión hasta que se transformen en gotas de lluvia. El segundo es el tiempo disponible desde que comienza el crecimiento de las gotas de lluvia hasta que la nube atraviesa su punto de mayor espesor y comienza a descender por el lado de sotavento de la isla. Cuando el tiempo disponible supera el tiempo necesario, la lluvia cae. Al contrario, la lluvia no cae. En Gran Canaria, la lluvia en las cercanías de la cima de la pendiente es cerca de ocho veces mayor que en las cercanías de la orilla. Esto muestra que el engrosamiento de las nubes cuando se mueven cuesta arriba (y por lo tanto aumenta el agua condensada que contienen) juega un papel dominante en la formación de la lluvia natural sobre la isla de Gran Canaria. Por eso, la duración necesaria del aire en una trayectoria ascendente sobre la isla es crítica para la formación de lluvia: es suficiente algunas veces, pero muchas veces es demasiado corta.

Los modelos de formación de lluvia bajo las condiciones de nubes cálidas que predominan sobre Gran Canaria indican que el tiempo necesario para la formación natural de lluvia es del orden de 300 segundos. El fundamento científico de la estimulación de lluvia consiste en disminuir el tiempo requerido para la formación de gotas de lluvia en el interior de las nu-

bes. Este tiempo puede ser acortado, al menos en teoría, a unos 450 segundos por la siembra de las nubes con un gran número de gotas líquidas de un tamaño suficiente para iniciar el proceso de crecimiento por coalescencia más pronto de lo que se ocurriría en el proceso natural de desarrollo de las nubes. Es técnicamente posible que la siembra con material higroscópico aumente el número de nubes que desarrollan precipitación y también aumentar la cantidad de precipitación a partir de las nubes en que el proceso natural comienza pero se para antes de realizar completamente su potencial. Los resultados de los modelos indican esto.

En los escasos episodios de formaciones de grandes cúmulos y cumulonimbos, donde el proceso de precipitación en fase hielo (nubes frías) domina, existe una oportunidad de estimular la lluvia mediante la siembra con partículas de hielo seco, produciendo una concentración importante de cristales de hielo en la nube antes de que aparezcan de forma natural. Esto acorta el tiempo necesario para la precipitación en las nubes frías mucho más que la siembra de gotas en las nubes cálidas. La siembra de fase-hielo de dichas nubes también produce la estimulación dinámica de su crecimiento, acompañada de un aumento de la intensidad y duración de la precipitación.

En las nubes frías de este tipo, la experimentación en el área del Caribe (donde se presentan más a menudo) ha mostrado que responden dinámicamente a la siembra con sustancias que actúan como núcleos de congelación.

La probabilidad de una respuesta positiva sobre la isla de Gran Canaria es suficiente para proponer futuras investigaciones.

### C. Beneficios Potenciales

Los beneficios potenciales de un proyecto experimental de intensificación de precipitaciones en la isla de Gran Cana-

ria se encontrarán en las áreas de toma de decisiones en la -- gestión de recursos hidráulicos, aumento de cosechas y mejor -- comprensión de la tecnología de siembra para estimular la lluvia en las nubes cálidas. Al final del proyecto experimental, el Cabildo de Gran Canaria tendrá suficiente información del -- potencial y de la economía del aumento de agua a través de un programa de siembra de nubes, para tomar una decisión razonada entre iniciar un programa operativo de siembra de nubes o invertir los fondos de dicho programa en la búsqueda de alternati-- vas de gestión de recursos hidráulicos más prometedores.

Ya que el proyecto experimental está enfocado en la -- práctica, los aumentos de precipitación producidos por las ope-- raciones de siembra experimental tendrán un efecto positivo en la economía local.

#### 1. Aumento del suministro de agua dulce

Si el proyecto experimental mostrara que una siembra -- adecuada puede estimular la lluvia de las nubes cálidas y/o -- frías, y un programa completo de siembra, día y noche, explota-- ra todas las oportunidades de estimulación, podría esperarse -- un aumento en el suministro de agua de Gran Canaria del 10 al 18 por ciento anual. Aunque relativamente pequeña, la cantidad añadida resultaría bastante importante.

Como el agua potable tiene la mayor prioridad en Gran Canaria, los recursos anteriormente aplicados a la agricultura deben ser desviados, cada vez más, para el uso urbano.

Por ello, el efecto práctico del éxito de la estimula-- ción de lluvia se concentrará en la agricultura marginal y se podrá expresar como un aumento en la producción agrícola y es-- pecíficamente en el valor de las exportaciones agrarias.

## 2. Beneficios de los Estados Unidos

Los EEUU siempre se han encontrado en primera línea en la investigación, desarrollo y aplicación sobre la modificación del tiempo.

El Bureau of Reclamation ha sido líder en la aplicación de la técnica de aumento de precipitaciones, cuando ha resultado aplicable, como una herramienta de la gestión de recursos - hidráulicos. El estado científico actual de la estimulación de lluvia se ha descrito recientemente en varias publicaciones incluyendo: "The Management of Water Resources" por el Weather - Modification Advisory Board dirigido por Harlan Cleveland; "National Weather Modification Policies and Programmes", un informe para el Presidente y el Congreso por el U.S. Department of Commerce; "Weather Modification by Cloud Seeding" por Aznett - Dennis.

Los autores están de acuerdo en que la modificación de los procesos de las nubes para intensificar la precipitación - es científicamente posible.

En Marzo de 1981 hubo una reunión de expertos en modificación de nubes cálidas en Malasia. Esta reunión fue recomendada por la WMO (Organización Meteorológica Mundial) por el interés expresado en el potencial de aumento de lluvia en países tropicales y subtropicales, incluyendo India, Tailandia, Indonesia y Malasia. Se está sintiendo la necesidad de aumento o - redistribución de la lluvia en muchas regiones tropicales, a pesar de lluvias anuales relativamente copiosas. Este grupo de expertos concluyó que "actualmente no hay evidencia científica - de la eficacia de los procedimientos de modificación de nubes cálidas así como del aumento o redistribución de la lluvia que producen. Sin embargo hay resultados esperanzadores en varios proyectos que permiten ser optimistas. Se piensa que se deben impulsar más estudios y dedicar más recursos".

El proyecto experimental de intensificación de precipitación en Gran Canaria proporciona una excelente oportunidad para investigar ciertas cuestiones básicas de la física de las nubes cálidas y de la susceptibilidad que tienen frente a la siembra artificial con sustancias. Este fenómeno se presenta en algunas áreas de los Estados Unidos pero lo hace de manera más simple y, por lo tanto, más fácil de investigar en las Islas Canarias.

A causa de la simplicidad y de la frecuencia de presentación de nubes cálidas favorables, las Islas Canarias son un lugar con ventajas para el estudio del proceso de lluvia cálida y de la posibilidad de aumentarla.

Los datos del Proyecto de Gran Canaria se deben poner a disposición de otros investigadores para su estudio de manera que los resultados puedan contrastarse, incrementando los actuales conocimientos. Se recomienda la publicación de este trabajo en la literatura científica abierta.

La tecnología de siembra de nubes que se desarrollará consecuentemente será usada en las regiones apropiadas de los EEUU donde las nubes cálidas aparecen con frecuencia utilizable y en otras áreas con escasez de agua del mundo en las que el proceso de precipitación cálida predomina.

La lluvia adicional de dichas nubes beneficiará a los EEUU económicamente. La ayuda técnica a países extranjeros en proyectos de estimulación de lluvia ayudará políticamente a los EEUU. Además la ayuda a países como India, Tailandia, Indonesia, Malasia, Panamá, etc. en el desarrollo de tecnologías de modificación de nubes cálidas podrá hacerlos más autosuficientes y por tanto, menos dependientes de la ayuda extranjera. El precio a pagar para el avance de la técnica de siembra de nubes a través de la continuación del proyecto de intensificación es pequeño en comparación con los beneficios futuros para los EEUU.



## D. Seguridad de las Operaciones

La técnica para la modificación de las nubes cálidas se encuentra todavía en estado experimental. Sin embargo, la urgencia de la crisis de escasez de agua en las islas Canarias condiciona la orientación práctica del proyecto experimental de intensificación de precipitaciones en Gran Canaria. A causa de las incertidumbres que hay en el proceso de modificación de la lluvia cálida, el proyecto debe incluir estudios físicos y estadísticos encaminados a definir la confianza de la intervención en el proceso natural de precipitación mediante el uso de la siembra de nubes para redistribuir la lluvia o estimular cantidades adicionales.

Los participantes en la reunión de expertos de 1981 patrocinada por la WMO en Malasia acordaron que "el obstáculo principal para el desarrollo de una tecnología de modificación de nubes cálidas es la falta de comprensión del proceso de la precipitación y de la dinámica de las nubes". El requisito más urgente para acelerar el progreso en la modificación de nubes cálidas es la mejora de las observaciones en las nubes. El grupo de expertos recomendó que se debía impulsar los estudios fundamentales de la microfísica y la dinámica de las nubes cálidas, especialmente con respecto a:

- . Variabilidad de las poblaciones de aerosol disponible en las nubes en una determinada localidad.
- . Mecanismos causantes de la distribución inicial de gotas.
- . Localización de la zona principal de crecimiento de las gotas en los cúmulos.
- . Papel de la turbulencia y heterogeneidades en la evolución de las nubes y su precipitación.
- . Determinación de la eficiencia de precipitación de las nubes cálidas, definida como la relación entre la masa de lluvia en el suelo y la masa de agua condensada a lo largo del tiempo de vida de la nube.

- . Interconexiones entre las propiedades microfísicas y dinámicas de las nubes.
- . Interacciones entre nubes y con su entorno.

Es esencial para el desarrollo tecnológico la inclusión de un avión para investigar física de nubes en el proyecto de intensificación de precipitación de Gran Canaria.

Aunque no hay experiencia de muchos sucesos de precipitaciones intensas en el área propuesta para el proyecto en Gran Canaria, se debe tener cuidado en evitar la estimulación de situaciones peligrosas. La siembra de grandes tormentas convectivas puede producir su intensificación y por ello aumentar los daños por granizos, vientos e inundaciones en las zonas sembradas. Se necesita desarrollar y establecer un criterio de suspensión para evitar tales eventualidades. Como el proyecto se realiza en una isla, el riesgo de efectos asociados negativos es mínimo.

En general, los riesgos asociados con la siembra de nubes cálidas y frías pueden minimizarse mejor y la obtención de agua alcanzar mayor éxito a través de el establecimiento un plan de operaciones diseñado científicamente y de su ejecución por meteorólogos y pilotos con experiencia trabajando coordinadamente utilizando unos equipos apropiados de seguimiento y siembra. La asistencia técnica extranjera, el entrenamiento y la dirección se proveerán para transferir los conocimientos actuales de la técnica al personal español que los pondrá en práctica.

Los efectos a largo plazo del proyecto en la disponibilidad de recursos hidráulicos dependerán de la asunción por el Cabildo de su ejecución. Esto requerirá un compromiso importante de personal para llevar a cabo la planificación, implantación, operación y evaluación del programa. El personal de varias organizaciones del Gobierno Español y de las Islas Canarias deberá trabajar en conjunto para realizar con eficacia to

dos los aspectos del programa. El Cabildo de Gran Canaria debe comprometer los recursos financieros necesarios para establecer las condiciones necesarias para las operaciones y los costes sistemáticos de operación y mantenimiento de los equipos. El Gobierno Español, también debe comprometer los recursos financieros para la recogida y análisis de datos de física de nubes y de radar necesario para los estudios de física. Los fallos en el adecuado nivel de asignación de personal, equipos, fondos y gestión para el proyecto experimental de intensificación de Precipitaciones en Gran Canaria harían peligrar seriamente su posibilidad de éxito y se podría perder la oportunidad de obtener más agua.

### III. EL PROYECTO

#### A. Objetivo del proyecto

El objetivo del proyecto de intensificación de precipitaciones en Gran Canaria es determinar la posibilidad técnica y la viabilidad económica del aumento de las disponibilidades de agua dulce a través del aumento de la precipitación natural por medio de la siembra de nubes desde avión con nebulizadores higroscópicos o con hielo seco. Se prevee que este proyecto experimental proporcionará las bases de decisión para su conversión definitiva en una parte del programa de gestión de recursos hidráulicos de Gran Canaria.

El proyecto se ha diseñado para proporcionar en tiempo real un alivio a los impactos económicos y sociales del actual problema de escasez de recursos hídricos mediante la siembra - al azar de algunas de las nubes adecuadas de barlovento de la isla de Gran Canaria para aumentar la lluvia natural sobre ella. No obstante, el objetivo principal debe situarse en la evaluación de los resultados.

#### B. Propósito del proyecto

El propósito del proyecto es colaborar al desarrollo - con el gobierno de España de la capacidad de diseño, planificación, implantación, operación, seguimiento y evaluación de programas de modificación del tiempo con bases científicas. Se prevee que los programas de modificación del tiempo se desarrollarán como parte del conjunto de gestión de recursos hidráulicos en las islas Canarias. El proyecto propuesto permitirá al desarrollo de esta faceta por medio de la transferencia de tecnología, consultoría técnica y entrenamiento en la técnica de siembra de nubes, recogida de datos y análisis.

### C. Soporte del proyecto

El soporte técnico y financiero del proyecto experimental de intensificación de precipitaciones se proporcionará en principio por 3 agencias gubernamentales: (1) el U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Division of Atmospheric Resources Research, actuando como agente técnico del U.S. Department of State; (2) Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Dirección General de Obras Hidráulicas, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Centro de Estudios Hidrográficos; y (3) el Cabildo Insular de Gran Canaria. Además, la predicción meteorológica será proporcionada por personal del Instituto Meteorológico Nacional situado en el Aeropuerto internacional de Gando y en Las Palmas.

El Cabildo de Gran Canaria soportará los aspectos operacionales del proyecto, mientras que el Centro de Estudios Hidrográficos realizará los aspectos de investigación. La División of Atmospheric Resources Research proporcionará la orientación técnica, entrenamiento para transferir las técnicas de modificación del tiempo a personal español y revisión de las operaciones de campo y del trabajo de análisis.

Las tareas a soportar por cada agencia se listan a continuación:

#### Cabildo de Gran Canaria

- . Participar en el diseño del proyecto y en la planificación.
- . Soporte para el Director de Operaciones del Proyecto, incluyendo la preparación de informes del proyecto.
- . Soporte para el avión de siembra higroscópica y su tripulación.
- . Preparación y entrega de los materiales de siembra de nubes.

- . Soporte para el sistema de radar meteorológico, incluyendo un técnico para calibrarlo y mantenerlo.
- . Soporte para el meteorólogo asistente de radar/controlador de tráfico aéreo.
- . Operación de la red de pluviógrafos de superficie, - incluyendo la reducción y análisis preliminar de los datos de lluvia.
- . Proporcionar diverso tipo de material fungible cuando sea necesario.
- . Evaluación del proyecto e informe final (tarea conjunta con el Centro de Estudios y Experimentación de -- Obras Públicas, Centro de Estudios Hidrográficos).

#### Servicio Meteorológico Español de Gran Canaria

- . Permitir el acceso del Director de Operaciones a las oficinas meteorológicas en Gran Canaria.
- . Proporcionar las predicciones diarias operacionales y pronósticos extendidos.
- . Proporcionar los datos de radiosondeos de Tenerife - (Rawinsonda) de las 0000 y 1200 G.m.t (situado a unos 150 Km WNW de Gran Canaria).

#### Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Centro de Estudios Hidrográficos

- . Proporcionar soporte científico para la planificación, actividades de investigación y evaluación del proyecto.
- . Soportar un avión de física de nubes con tripulación. Analizar los datos de satélite, rawinsonda, radar, - física de nubes y registros pluviográficos.
- . Evaluación del proyecto e informe final (tarea conjunta con el Cabildo de Gran Canaria).

## Division of Atmospheric Resources Research

- . Proporcionar consultoría técnica para las operaciones de campo y entrenamiento de personal.
- . Procesar los datos del METEOSAT.
- . Proporcionar orientación para el análisis de los datos del proyecto.
- . Asesoramiento para la transferencia de tecnología y desarrollo de la tecnología de modificación de nubes cálidas.

### D. Descripción del proyecto

En la sección II.A se recogen los antecedentes del proyecto. La planificación original del proyecto establece que se necesita un mínimo de 5 campañas de operaciones experimentales y recolección de datos para obtener una evidencia satisfactoria del efecto de estimulación de lluvia. Los descubrimientos preliminares de la campaña inicial 1982-83 son esperanzadores y contienen algunas indicaciones de haberse observado efectos positivos en la siembra. Sin embargo, las diferencias observadas en los parámetros físicos de las nubes y en la producción de lluvia, no se pueden interpretar todavía como causadas o no por la siembra.

Como la campaña 1982-83 presentó falta de episodios favorables para la siembra experimental y, por lo tanto, su consiguiente evaluación indicó que eran necesarios algunos cambios en los procedimientos de operación para mejorar la eficacia de siembra y obtener datos para una evaluación fundada. Se propone comenzar un proyecto experimental ininterrumpido de 5 años, comenzando en la estación lluviosa del 1984-85. Este es el mínimo período necesario para obtener un suficiente número de unidades experimentales para su análisis físico y estadístico, que proporcione una razonable certeza de la magnitud del efecto de siembra en los recursos de agua dulce.

## 1. Descripción operacional

El proyecto se ha diseñado de acuerdo con el régimen de lluvias. Las operaciones de campo se realizarán cada año durante los 5 meses de la estación lluviosa, entre mediados de noviembre y mediados de abril. La mayor parte de la lluvia acompaña el paso de frentes fríos o vaguadas en altura que ocasionalmente penetran hacia el sur de las Islas Canarias, provocando un engrosamiento de la capa húmeda marina sobre el mar, y debilitando o destruyendo la inversión de temperaturas, la cual, normalmente, limita la humedad a una altitud demasiado baja para permitir el desarrollo de nubes de lluvia. Cuando la capa nubosa se desplaza sobre la tierra, generalmente se acentúa la convección, produciendo grandes protuberancias nubosas que pueden estar separadas por áreas con poca nubosidad.

Se debe dar prioridad a la siembra al azar de cúmulos cálidos con una nebulización higroscópica compuesta de nitrato amónico, urea y agua destilada. Las observaciones de los últimos años indican que la temperatura de las cimas de las nubes estará comprendida entre  $5^{\circ}$  y  $-5^{\circ}$  C, y solo ocasionalmente se alcanzan los  $-10^{\circ}$  C. La U.E. (Unidad experimental) del proyecto es una circulación convectiva única, bien una nube aislada o bien un elemento dentro de una capa de estratocúmulos. Se podrá seleccionar como U.E. la que reúna las siguientes condiciones:

- (a) Que se espere alcance la costa de Gran Canaria en un tiempo comprendido entre 10 y 30 minutos.
- (b) Que tenga al menos 1.500 m de espesor y no presente tendencia a la disipación.
- (c) Que un avión que pase a través de la nube unos 300 m por debajo de la cima, indique un contenido de agua líquida mayor de  $0,2 \text{ gr/m}^3$  (sensor JN), sin una concentración importante de grandes gotas (humedecimiento del parabrisas del avión).



- (d) Que no desprenda lluvia ni tenga un eco de radar superior a 15 dBs.

Como el proyecto está orientado hacia la práctica, el proceso de selección de unidades experimentales para siembra al azar se ha preparado para dar una probabilidad de decisión de siembra de 2/3. Se debe establecer un protocolo de aleatorización que sea claro y realista, de tal manera que proporcione los conjuntos esenciales de datos, tanto para las unidades experimentales (U.E.) sembradas como para las no sembradas, con la misma calidad y ausencia de fallos. Las U.E. no sembradas deben ser de la suficiente duración como para poder determinar sus efectos en términos de lluvia caída al suelo, de la misma manera que para las U.E. sembradas.

Las predicciones para las operaciones del proyecto se proporcionarán por los meteorólogos españoles de la Oficina de Pronósticos del tiempo del Aeropuerto Internacional de Gando en Gran Canaria. El Director de operaciones del proyecto visitará esta oficina al menos una vez al día para revisar personalmente los mapas sinópticos y para recibir una predicción operativa de los meteorólogos. Todos los pronósticos deberán marcar sinópticamente las perturbaciones del tiempo que puedan causar una desestabilización de la inversión marítima y su profundización.

En caso de advertir en la escala sinóptica que se espera una serie de días con posibilidades de operación, el Director de operaciones hará un plan de trabajos basado en la secuencia esperada de tiempo meteorológico, y en las secuencias de los tipos de nubes observadas normalmente. El proyecto debe ser capaz de realizar las operaciones de siembra experimental siempre que se presente una oportunidad. Se espera que los días de trabajo se presentarán en grupos de 3 a 6 días durante los cuales el personal deberá trabajar muchas horas. Sin embargo, a estos períodos seguirán otros secos con nubes calientes delgadas que solamente requerirán operaciones del proyecto limitadas.

Los aviones de física de nubes y de siembra higroscópica se deberán equipar con I.F.R. y con buen material de navegación y comunicaciones. La posición de los aviones del proyecto respecto al radar debe estar siempre determinada. Deberán poder navegar sin visibilidad (todo tiempo). La búsqueda de unidades experimentales se ayudará con el radar del proyecto, sin embargo, la selección de las unidades experimentales la realizará la tripulación del avión de física de nubes. Este avión deberá estar equipado, como mínimo, para la medida del contenido en agua líquida de la nube, distribución de tamaño de gotas, temperatura, punto de rocío y velocidad ascensional.

Para la siembra experimental se necesitarán los dos aviones, de física de nubes y de siembra. Por ello, para la selección de una unidad experimental, los dos aviones deben estar en posición; la decisión de siembra o no siembra se recibirá por radio desde el emplazamiento del radar.

El avión de siembra volará dentro de la unidad experimental a una altitud de 100 metros sobre la base de la nube, sembrando o no, de acuerdo con la decisión de aleatorización a lo largo de 30 minutos aproximadamente. Para la siembra higroscópica, el avión dispensará una niebla higroscópica de gotas con tamaños de unas 20 micras a razón de 5 litros de solución por minuto.

Durante la operación de siembra (o no siembra) y posteriormente, tanto tiempo como se pueda, el avión de física de nubes continuará recogiendo datos de la unidad experimental (U.E.). Los datos recogidos incluirán un sondeo atmosférico desde el nivel del mar hasta la cima de la capa nubosa en las proximidades de la U.E. El radar también registrará el movimiento de la U.E., grabando los diagramas PPI y RHI de su eco de precipitación, hasta que pase a sotavento de Gran Canaria.

Una vez que el avión de física de nubes termina el seguimiento de una U.E., se puede seleccionar una nueva U.E. Sólo-

lo es necesario que las dos U.E. estén suficientemente separadas en el tiempo y el espacio como para que las huellas de cada unidad puedan ser identificadas con facilidad en los datos de radar y, dentro de lo posible, en los registros pluviográficos.

Cuando las cimas de las nubes convectivas en crecimiento alcanzan los  $-10^{\circ}$  C, pueden ser susceptibles de siembra con hielo seco. Será una U.E. de nube fría si reúne las siguientes condiciones:

- (a) Debe dirigirse hacia la costa de Gran Canaria y alcanzarla en no menos de 10 minutos y no más de 30 minutos.
- (b) Debe de tener un desarrollo vertical de más de 1.500 m, sin disipación.
- (c) El avión que atraviese la nube debe detectar más de  $0,25 \text{ g/m}^3$  (medido por sensor JW).
- (d) La velocidad ascensional de la nube debe ser mayor de 300 pies por minuto.

Aunque las nubes frías son mucho menos frecuentes que las nubes cálidas, las experiencias indican que las nubes frías producen un 50% de la lluvia natural observada, y que tienen un buen potencial para el aumento de lluvia.

Se utilizará una tabla aleatoria de decisión independiente para la experimentación de siembra con hielo seco. En la siembra con hielo seco solo se utilizará el avión de física de nubes; cuando se seleccione una U.E.FW (Unidad experimental fría), la decisión de siembra se recibirá por radio desde la instalación de radar.

Cuando se realice siembra con hielo seco, el avión de física de nubes, dispersará gránulos de hielo seco de, aproxima-

madamente, 0,5 a 1 cm de diámetro a razón de 0,5 Kg/Km (unos - 30 segundos de vuelo a velocidad nominal). Una vez concluido - la siembra, el avión realizará varias pasadas a través de la ci- ma, parte media y fondo de la nube, recogiendo datos. El avión descenderá al nivel del mar y realizará un sondeo atmosférico a través de la capa nubosa en las proximidades de la U.E. Si la decisión aleatoria fue de no sembrar se realizarán las mismas operaciones de observación. Además, el radar deberá registrar la trayectoria de la U.E.F., grabando los diagramas PPI y RHI de sus ecos de precipitación hasta que pase a sotavento de Gran Canaria.

Se deben establecer reuniones a las que asista todo el personal involucrado en las operaciones, tan pronto como sea - posible después de cada operación, si puede ser, diariamente. Al hacer el resumen, se integrarán todos los datos en una des- cripción consistente y completa de lo sucedido en cada U.E. Se deben identificar todas las descripciones de las nubes o de la capa nubosa, y preferentemente, antes de que el personal cono- ca si la unidad experimental fue o no fue sembrada.

## 2. Medidas de lluvia

El Bureau of Reclamation ha proporcionado 24 pluviógra- fos Belfort. Puesto que la dirección favorable del viento para las operaciones de siembra varía entre el Noroeste y el Noreste, se ha seleccionado la mitad Norte de Gran Canaria como zona de estudio dentro del proyecto experimental de intensificación de precipitaciones. La red de medida de 24 pluviógrafos, que se instaló en la mitad Norte de la Isla, y que se utilizó en la - campaña 1982-83, se muestra en la figura 2. En esta figura tam- bién se muestra la situación del radar y del Aeropuerto Inter- nacional de Gando.

La medida precisa de la lluvia caída al suelo en Gran Canaria es importante para realizar un análisis de beneficio/ coste.

Una de las Dificultades de los datos de la campaña 1981-82, fue la poca calidad de las mediciones de lluvia en el suelo, - existiendo una gran incertidumbre en la cantidad de lluvia procedente de las nubes sembradas y de las no sembradas. Las frecuentes paradas de relojes, las superposiciones y emborronamientos de los registros son inaceptables.

En el caso de que un reloj se pare, se debe instalar - un reloj diferente, y hay que reparar el estropeado; ésto exige unos 10 relojes de repuesto por campaña para los 24 pluviógrafos. Más importante es la frecuencia de sustitución de los registros. A consecuencia de las condiciones de viento que se han observado, las bajas tasas de evaporación no proporcionan suficiente espaciado entre las trazas diarias, por lo que se deben cambiar diariamente. Esto mejoraría grandemente la garantía de los datos de lluvia. Se debe considerar el cambio de situación de los pluviógrafos situados en lugares excepcionalmente ventosos.

### 3. Análisis y archivo de datos

El tratamiento conjunto y detallado de los datos del - proyecto es esencial para la determinación de la posibilidad - técnica y de la viabilidad económica del aumento de recursos hídricos en Gran Canaria, mediante la siembra de nubes para estimular la caída de lluvia. La mayor parte de este trabajo será realizado por las organizaciones españolas implicadas en las - operaciones de campo del proyecto.

Los datos digitales del satélite que corresponden a algunos de los días experimentales del proyecto de Gran Canaria, se procesarán con el equipo de ordenador y programas existentes en el D.A.R.R. (Division of Atmospheric Resources Research). - Los datos procesados se enviarán al CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos, para su análisis, a fin de determinar las condiciones generales de las nubes sobre las Islas Canarias. Cuando sea posible, se identificarán y estudiarán de forma individual las U.E. El entrenamiento de meteorólogos españoles en el aná-

El análisis de los datos del Meteosat se hará por meteorólogos con experiencia del D.A.R.R. El Cabildo deberá aportar los servicios de un director de operaciones del proyecto, quien debe ser un meteorólogo profesional entrenado, preferiblemente con experiencia en proyectos de modificación del tiempo y en el uso de radar meteorológico; mantendrá un registro diario que refleje el estado del equipo del proyecto, los pronósticos meteorológicos, las condiciones operativas, las misiones aéreas, y un resumen diario que incluya los problemas.

La red de pluviógrafos se mantendrá en funcionamiento por el Cabildo de Gran Canaria, y operada bajo el mando del director de operaciones del proyecto. Todos los registros recogidos de los pluviógrafos se estudiarán en la oficina de campo, donde el personal está familiarizado con las condiciones meteorológicas locales y con los episodios lluviosos. Se asignará una persona familiarizada con el funcionamiento de los pluviógrafos para inventariar todos los registros y verificarlos en caso de problemas. Esta persona también supervisará la interpretación de los datos de lluvia a partir de los registros. El Director de operaciones identificará los períodos en los que los datos de lluvia se relacionan con las U.E. Los datos de lluvia acumulada para cada uno de estos períodos se dibujarán, y analizarán.

El mantenimiento del radar del proyecto se compartirá entre el Cabildo de Gran Canaria y el CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos. El Cabildo atenderá la operación y el mantenimiento; el CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos, proporcionará el radar y analizará los datos. El trabajo de análisis incluirá sumarios de los ecos de precipitación y las trayectorias de los aviones para cada U.E., con una comparación al final de la campaña entre los casos sembrados y no sembrados, tanto para siembra higroscópica como para siembra con hielo seco. Se escribirá un informe para documentar este trabajo de análisis.

El Cabildo de Gran Canaria mantendrá las operaciones - del avión de siembra higroscópica. La tripulación de dicho avión registrará todas las observaciones relevantes que realice sobre cada U.E. Estas observaciones incluirán: Parámetros de nube (altura, espesor, temperaturas, velocidad ascensional, humedad), y actividades de siembra (tiempos, situación, cantidades de material sembrado). Esta información se transmitirá al Director de operaciones en la sesión de resumen, en forma escrita.

El Centro de Estudios Hidrográficos mantendrá las operaciones del avión de física de nubes y de siembra de hielo seco. El contratista de dicho avión analizará los datos recogidos de cada U.E. La tripulación documentará la selección de U.E., los parámetros de nube observados (altura, espesor, temperaturas, velocidad ascensional, humedad), y las actividades de medida (tiempos, situación, tipo y calidad de los datos recogidos). Esta información se entregará al Director de operaciones en la sesión de resumen, de forma escrita.

El trabajo de análisis posterior a la campaña que realizará el contratista del avión de física de nubes, comprenderá los parámetros medidos de cada U.E. Se harán comparaciones entre casos sembrados y no sembrados, tanto para siembra higroscópica como con hielo seco. Se escribirá un informe para documentar este trabajo de análisis.

Después de cada sesión de resumen, el Director de operaciones redactará una descripción sumaria de cada U.E. Esta descripción contendrá un resumen de la situación atmosférica local, las observaciones de las tripulaciones para siembra o no siembra, datos de radar, datos de física de nube y medida de lluvia. Deberán ser breves y dar una descripción completa de cada U.E. Al final de cada campaña, el Director de operaciones - escribirá un informe sumario de operaciones; los informes de las U.E. se incluirán en él como un anejo.

#### 4. Evaluación científica y económica

Los trabajos previstos para la fase de análisis del proyecto de intensificación de precipitaciones se concentrarán en los cambios de los parámetros microfísicos de la nube durante y después del tratamiento (siembra o no siembra), y en la medida de la lluvia caída al suelo. Los datos microfísicos de las nubes se tomarán con un avión, instrumentado especialmente, en su vuelo a través de ellas. Los datos de lluvia se obtendrán de una red de pluviógrafos densa situada en la zona de estudio. Se compararán los datos de las unidades sembradas y no sembradas.

Se espera encontrar, como consecuencia de la siembra - higroscópica, una mayor concentración de núcleos de precipitación en las U.E. sembradas, que en las U.E. no sembradas. También se espera que dichos núcleos de precipitación se presenten en una fase más temprana del desarrollo de las nubes en los casos sembrados, que en los no sembrados. El resultado más práctico esperado es la evidencia de que las nubes sembradas producen más lluvia que sus vecinas sin sembrar.

La parte más difícil de estas pruebas está en vencer - las incertidumbres debidas a la gran variabilidad de una nube a otra. Siempre en condiciones naturales, una nube puede dar solo unas salpicaduras de lluvia, y la siguiente, varios milímetros, quizás 30 veces más que la primera, que la siembra doble la cantidad de lluvia que produce una nube, es difícil de verificar. Por esta razón se deben repetir los experimentos el suficiente número de veces como para establecer la realidad del efecto, y haciendo el mayor uso posible de las técnicas de estimación en cada ensayo sobre nubes del tiempo disponible y del tiempo necesario, tanto en condiciones naturales como en condiciones de siembra. Estas consideraciones establecen la mayor parte de las características que debe reunir y plan de experimentación.



Los estudios de evaluación científica y económica se desarrollarán por el CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos, y por el Cabildo de Gran Canaria, con asistencia técnica de la D.A.R.R. A continuación se expone una relación de las tareas de evaluación científica y económica del proyecto:

(a) Análisis de los datos del avión de física de nubes

Evaluar la sensibilidad a la siembra, y determinar la frecuencia y duración de las situaciones en que se puede sembrar en función del tipo de nube (cálidas o frías).

Evaluar los efectos de la siembra en las propiedades microfísicas de las nubes, para confirmar las hipótesis de eficacia de siembra con material higroscópico y con hielo seco.

(b) Análisis de los datos de radar y lluvia

Evaluar el efecto de la siembra en las propiedades físicas y dinámicas de las nubes y la precipitación resultante. Utilizar el seguimiento de ecos de radar para determinar si las U.E. han cruzado, y cuando lo han hecho, sobre la superficie cubierta por la red de pluviógrafos.

(c) Análisis de datos de satélite

Evaluar los datos del Meteosat en cada día de operación para determinar las condiciones generales de las nubes en las proximidades del área de ensayo. Si fuera posible, se identificarán y estudiarán las U.E. individuales. Se pondrá atención en los cambios de tamaño y espesor de las nubes tratadas, utilizando las imágenes del Meteosat semihorarias, para este fin.

(d) Estudios de eficacia operativa

Evaluar la eficacia de las acciones de siembra incluyendo la adecuación y oportunidad de reconocimiento y decisión, cobertura de siembra y rendimiento de equipos y personal.

Establecer mejoras de los procedimientos operacionales.

(e) Estudios sobre la incidencia en la agricultura

Desarrollar modelos de ordenador para los principales cultivos agrícolas que simulen resultados en función de la humedad del suelo, temperatura, radiación, agua (lluvias o riegos) y prácticas de cultivo. Evaluar el efecto del ritmo, cantidades y frecuencias de agua en los resultados de los cultivos, para establecer las condiciones más beneficiosas para el aumento de la precipitación natural, bien por modificación del tiempo, o por riego. Estimar los aumentos de la producción agrícola, y el efecto económico resultante del aumento en el momento adecuado de la precipitación natural.

(f) Análisis y asesoramiento de recursos hidráulicos

Planificar los recursos hidráulicos de Gran Canarias, los métodos de gestión, la distribución y las demandas. Identifican las opciones de desarrollo hidráulico, estructurales y no estructurales, y mejorar las técnicas de gestión. Evaluar el papel de las operaciones de modificación del tiempo a largo plazo en relación con el programa total de gestión de recursos hidráulicos. Identificar las opciones más prometedoras o sus combinaciones para añadir a la modificación del tiempo para futura investigación y planificación.

5. Criterio de suspensión

Se deben establecer y utilizar en los programas de modificación del tiempo criterios de suspensión basados en las condiciones atmosféricas y en el conocimiento de los efectos sobre la sociedad y sobre el medio ambiente. Los posibles resultados inadvertidos, como reducción de los niveles naturales de lluvia o nieve; producción de fuertes tormentas de granizo; vientos más intensos, o inundaciones catastróficas, se deben considerar e incorporar al diseño de los programas de modificación del tiempo.

En los programas de modificación del tiempo basados en consideraciones científicas, se hace especial hincapié en evitar la creación de situaciones peligrosas, suspendiendo las actividades de siembra bajo determinadas condiciones. La decisión de suspender las actividades de manera temporal o indefinida, se toma a partir de criterios de suspensión. Estos criterios son un conjunto de especificaciones sobre unos parámetros determinados que establecen el momento en que las actividades se deben suspender. Los criterios de suspensión del proyecto deben ser específicos para cada localidad y deben de estar conformes con la práctica profesional responsable en los niveles de riesgo aceptables por el Cabildo de Gran Canaria.

El Director de operaciones del proyecto suspenderá las operaciones de siembra en cualquier situación en la que haya razones para creer que dichas operaciones puedan causar (o agravar) un daño importante a las vidas, propiedades, cultivos, ganados o ecosistemas. Además, el Director de operaciones estará obligado a seguir los siguientes criterios específicos de suspensión, finalizando las operaciones de siembra siempre que se presenten:

- . Suspender si el Instituto Meteorológico Nacional emite una predicción o advertencia de tiempo peligroso en la zona del proyecto de Gran Canaria.
- . Suspender si el radar del proyecto indica desarrollo convectivo en las proximidades del área del proyecto mayor de 12,5 Km en altura o de 50 dBZ de ecos de radar, en alturas por encima de la zona de fusión de las nubes.
- . Suspender si la situación meteorológica es tal que hace el vuelo del avión de siembra peligroso.
- . Suspender de acuerdo con el Cabildo por circunstancias especiales como fiestas.

## IV. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

### A. Mecanismo de implementación

El Bureau of Reclamation ha preparado un programa cooperativo de 5 años con la Dirección General de Obras Hidráulicas titulado "Gestión de Recursos Hidráulicos". Este programa ha sido aprobado por el Comité Conjunto Hispano-Norteamericano para la Cooperación Científica y Técnica en Febrero de 1981. El programa cooperativo de gestión de recursos hidráulicos se divide en diez subproyectos, uno de los cuales es el proyecto experimental de intensificación de precipitaciones situado en la isla de Gran Canaria.

En la autorización de los fondos de E.E.U.U. para el proyecto se requerirá al Cabildo de Gran Canaria y a la Dirección General de Obras Hidráulicas para que hagan el compromiso de 5 años necesario para el equipo, personal y fondos para el proyecto y para que establezcan un Comité de gestión del proyecto.

### B. Descripción detallada

El proyecto de intensificación experimental propuesto para Gran Canaria se describió en el capítulo III. El siguiente subcapítulo da una descripción detallada de las disponibilidades y equipos, personal y entrenamiento necesarios.

#### 1. Necesidades de equipo y disponibilidades

##### a) Planificación y Gestión del Proyecto

La planificación y Gestión del proyecto se proporcionará conjuntamente por el CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos de Madrid y por el Cabildo Insular de Gran Canaria. Las disponibilidades existentes se podrán utilizar para las funciones de planificación y gestión del proyecto.

## b) Centro de control de operaciones

La experiencia en la gestión de proyectos de modificación del tiempo señala la necesidad de la disposición de un centro de control de operaciones para dirigir las actividades de siembra de nubes. El centro de control de operaciones se situará en el edificio del faro de la Isleta, al Noroeste de Gran Canaria.

Se necesita espacio suficiente para reunir al personal del proyecto en las sesiones de resumen diarias y de misión. Se indica a continuación el equipo básico a instalar en el centro de control para permitir la toma de decisiones del director de operaciones sobre iniciación, seguimiento y control de las misiones de siembra y de investigación de nubes.

. Un radar meteorológico capaz de procesar y presentar imágenes de la posición y reflectividad de las nubes equipado con un sistema IFF (Identificación-Amigo-Enemigo) que indique las posiciones de los aviones del proyecto utilizando "transponders" codificados. Es importante la instalación de aire acondicionado en la habitación del Radar y la de un sistema eléctrico estabilizado con un generador de reserva.

Un sistema de comunicaciones por radio independiente (o con una frecuencia asignada) para facilitar la comunicación entre el director de operaciones y los aviones del proyecto, y un enlace adecuado por radio o por teléfono con la base de los aviones y la oficina de pronósticos meteorológicos.

## c) Avión de siembra higroscópica

Se necesita instalar el siguiente equipo especial en el avión para siembra higroscópica:

Un sistema nebulizador para siembra higroscópica marca Mee o similar.

- . Un sistema de radio con frecuencias asignadas para la comunicación con el Centro de control de operaciones y un "transponder" con codificación asignada para el seguimiento por el radar del proyecto además de las comunicaciones de radio estándar.
- . Sistema para registrar las actuaciones de siembra y los tiempos.
- . Sensor de temperatura exterior con indicador en el tablero.
- . Sistema de navegación todo tiempo para permitir un vuelo adecuado en condiciones IFR (Reglas de Vuelo Instrumental) con nubes y de noche.

d) Avión de investigación de física de nubes

Se necesita equipar el avión de recogida de datos y siembra con hielo seco con el siguiente equipo espacial:

- . Un sistema de siembra que disperse hielo seco en granulos de 0,6 a 1,0 cm de diámetro a una velocidad de unos 0,5 Kg/Km.
- . Instrumentos de medida y registro con 1 segundo de resolución de los datos de los siguientes parámetros con las precisiones que se indican:

<u>Parámetro</u>	<u>Exactitud</u>
(1) Tiempo (GMT)	+ 1.0 segundo
(2) Presión atmosférica	+ 1.0 mb
(3) Posición INS	+ 0,5 Km
(4) Dirección del vuelo horizontal	+ 1.0°
(5) Velocidad indicada	+ 2,0 m/s
(6) Temperatura verdadera del aire	+ 1.0° C
(7) Temperatura del flujo reverso	+ 1.0° C
(8) Temperatura del punto de rocío	+ 1.0° C
(9) Contenido del agua líquida	+ 0.3 g/m <sup>3</sup>

(10) Velocidad vertical en la penetración de nubes	± 2.0 m/s
(11) Partículas mayores de 300 micras y concentración	+ 1 cuenta
(12) Cristales de hielo y gotas de agua mayores de 25 micras y concentración	± 1 cuenta
(13) Tamaños de gotas de nube y mayores de 0,5 micras y concentración	+ 1 cuenta
(14) Velocidad horizontal del viento	± 2.0 m/s
(15) Dirección horizontal del viento	± 5.0°

- . Un sistema de radio con frecuencias asignadas para la comunicación con el Centro de Control de Operaciones y un "transponder" con codificación asignada para el seguimiento por el radar del proyecto además de las comunicaciones de radio estándar.
- . Sistema de registro de la siembra con hielo seco y los tiempos.
- . Sistema de navegación todo tiempo para permitir un vuelo adecuado en condiciones IFR con nubes y de noche.
- . Equipo completo contra la engelación certificado para condiciones de vuelo que puedan causarla.
- . Radar meteorológico con una representación en pantalla completa de un alcance mínimo de 10 Km, situada cómodamente en el campo de vista del piloto.

#### e) Mantenimiento en operación de Aviones

Los aviones del proyecto tendrán su base en el Aeropuerto internacional de Gando. Las actividades de mantenimiento incluirán lo siguiente:

- . Equipo de rutina para la operación y mantenimiento de los aviones incluyendo el mantenimiento de los motores.

- . Almacenamiento adecuado para los repuestos, combustibles y materiales de siembra.
- . Una sala para las tripulaciones en estado de alerta.
- . Una comunicación adecuada entre la sala de tripulaciones y el centro de control de operaciones.

#### f) Radar Meteorológico

Será un sistema de radar meteorológico en banda C con las mismas características, como mínimo, del sistema que se instaló en la campaña 1982-83.

Se instalará en el edificio del faro de La Isleta, donde se localizará el centro de control de operaciones. Se necesita un sistema de registro de las imágenes PPI y RHI y de los vuelos de los aviones.

#### g) Red de pluviógrafos de superficie

El Bureau of Reclamation ha pedido 12 pluviógrafos para su uso en el proyecto. La red utilizada en la campaña 1982-83 se muestra en la figura 2. Estos pluviógrafos están montados en soportes tubulares anclados al suelo. Como las vibraciones producidas por el viento han reducido la calidad de los datos se sugieren algunos cambios. En primer lugar, los pluviógrafos deben ser situados a menor altura sobre una base de hormigón. En segundo lugar se debe instalar una protección contra viento en cada pluviógrafo, cimentadas en el suelo sin contacto con los pluviógrafos. Finalmente se deben cambiar de situación algunos instrumentos para mejorar las distancias entre ellos y eliminar las localidades excepcionalmente ventosas.

#### h) Sondeos atmosféricos

Se dispone de sondeos de forma rutinaria a las 0000 y 1200 G.M.T., tomados en Tenerife, que se encuentra a unos 150



Km WNW de Gran Canaria (ver figura 1). El director de operaciones debe realizar las gestiones oportunas con los meteorólogos del aeropuerto internacional de Gando para obtener los sondeos tan pronto como estén disponibles.

El avión de investigación obtendrá sondeos adicionales de cada unidad experimental.

Se debe considerar la posibilidad de adquirir un sistema de radio sondeo RD-66A o similar para el proyecto.

Este sistema de sondeo se situaría en las cercanías del radar y del centro de control de operaciones para que los datos fueran fácilmente accesibles al director de operaciones del proyecto. El análisis de los datos del sondeo podría ser hecho con un microordenador que controlaría el radar. Estos sondeos iniciarán cambios en altura y fuerza de la capa de inversión marina, así como el nivel más elevado que debe utilizarse para rastrear la aproximación de sistemas nubosos. Esta radiosonda reduciría las pérdidas de tiempo de vuelo en misiones de exploración. Además sería de utilidad en los análisis posteriores del proyecto.

#### 1) Evaluación científica y económica

Se necesitarán dispositivos continuamente para procesamiento de datos y análisis. Esto debe incluir un microordenador en Gran Canaria y un equipo de cálculo más potente en Madrid.

#### 2. Necesidades de personal

Uno de los principales objetivos de la continuidad del proyecto de intensificación de precipitaciones en Gran Canaria es la transferencia de tecnología de modificación del tiempo de los Estados Unidos a España. La clave de esta transferencia está en el entrenamiento de personal español en la guía de las operaciones del proyecto. Por eso, el proyecto debe prever la

sustitución paulatina de los contratistas de EE.UU. en las funciones de operación del radar, avión de siembra y tripulación, y gestión de las operaciones día a día del proyecto, al personal español.

Se exceptúa el avión de física de nubes y su tripulación por ser necesaria una gran experiencia para asegurar buenos datos para el desarrollo de la tecnología de modificación de nubes cálidas.

a) CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid

Se necesitará el siguiente personal para la administración y gestión del programa en su conjunto, y para el análisis y la evaluación del proyecto experimental de intensificación de precipitaciones en Gran Canaria:

1 Director-español del programa	(tiempo parcial)
1 Físico meteorólogo	(medio tiempo)
1 Agrónomo meteorólogo	(tiempo parcial)
1 Programador	(tiempo parcial)

b) Cabildo de Gran Canaria

Se necesitará el siguiente personal para la gestión día a día y la ejecución de las operaciones de campo, y para el trabajo de análisis de fin de campaña, evaluación del proyecto y escritura de informes:

1 Director de operaciones/Meteorólogo de Radar	(tiempo completo)
1 Asistente del meteorólogo de radar	(tiempo completo)
1 Técnico en electrónica para el radar*	(medio tiempo)
1 Tripulación para el avión de siembra higroscópica	(estacional)
2 Auxiliares para mantenimiento de pluviógrafos	(estacional)

- 1 Auxiliar para manejo de datos (tiempo completo)
- 2 Operadores de radiosonda (opcional)

\* Cualquier entrenamiento especializado en la calibración y mantenimiento del sistema del radar estará a cargo de la parte española.

c) Instituto Meteorológico Nacional

El Servicio Meteorológico de Gran Canaria facilitará - el siguiente apoyo para planificación de operaciones y organización de personal.

- 1 Meteorólogos (tiempo parcial)

d) Bureau of Reclamation, DARR

Dispondrá el siguiente personal para consultas técnicas, entrenamiento y seguimiento del proyecto:

- 1 Director del Programa EEUU. (tiempo parcial)
- 1 Meteorólogo consultor (tiempo parcial)
- 1 Técnico de Ordenadores (tiempo parcial)
- 1 Meteorólogo de radar (tiempo parcial)
- 1 Meteorólogo de satélite (tiempo parcial)

e) Avión de investigación de física de nubes

Como el avión de física de nubes no es necesario más - que durante el proyecto experimental, y no lo será en el programa operativo subsiguiente se recomienda la contratación con una Compañía de EEUU que tenga capacidad y experiencia para realizar este trabajo. Se necesitará el siguiente personal:

- 1 Piloto con experiencia en operaciones de modificación del tiempo (estacional)

1 Técnico electrónico para la instrumentación del avión  
(estacional)

1 Observador científico/investigador principal  
(medio tiempo)

### 3. Condiciones de entrenamiento

Las actividades de entrenamiento del proyecto tendrán como objetivo la capacitación, del personal español en los aspectos científicos, técnicos y de gestión, para mantener con suficiente rigor científico, los programas de modificación del tiempo necesarios para la gestión global de recursos hidráulicos en las Islas Canarias. El personal tendrá que aprender todas las facetas de operación, gestión y evaluación de la modificación del tiempo. Para ello, se preparará un programa de entrenamiento basado principalmente en el trabajo práctico: "aprender mientras se trabaja".

El Director de operaciones del proyecto y el meteorólogo asistente de radar se encargarán, durante la primera campaña, del entrenamiento en Gran Canaria. Esta actividad incluirá meteorología básica con radar, uso del sistema de radar meteorológico, control aéreo, recogida y control de datos y procedimientos de análisis preliminar.

El Bureau of Reclamation ayudará a establecer un plan detallado de operaciones, y entrenará al Director de Operaciones del proyecto sobre la forma efectiva de llevarlo a cabo en la rutina diaria. El Bureau revisará también, anualmente, las operaciones de campo para determinar los avances y preparar al Director de Operaciones en el seguimiento del programa.

Durante el segundo año del proyecto se entrenará en Madrid en el análisis e interpretación de datos del satélite, a meteorólogos del Centro de Estudios Hidrográficos y otras agencias españolas. Se utilizarán para ello los datos del Meteosat de la primera campaña, ya procesados por el Bureau of Reclama-

tion. El propósito de este trabajo es instruir al personal español en la evaluación del proyecto para el análisis, al final de la campaña, de las U.E.

El análisis detallado del proyecto se hará por meteorólogos españoles. El conjunto de los datos comprenderá imágenes de satélite, datos de radar, trayectorias de los aviones, medidas de lluvia, observaciones dentro de las nubes, sondeos con avión e información sobre la producción de cosechas. La especialización en las técnicas de análisis necesarias se proporcionará a lo largo del tercer y cuarto años del proyecto. Probablemente se hará una parte en Madrid y otra en EEUU, donde los principales meteorólogos del proyecto podrán visitar varias universidades y agencias gubernamentales.

## 7. PLAN DE FINANCIACION

### A. Origen de los fondos

El proyecto experimental de intensificación de precipitación en Gran Canaria se financiará por el Departamento de Estado de los EE.UU. (a través del programa de cooperación "Gestión de Recursos Hidráulicos" del Bureau of Reclamation y de la Dirección General de Obras Hidráulicas) por la Dirección General de Obras Hidráulicas (a través del CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos) y por el Cabildo de Gran Canaria.

### B. Destino de los fondos

Los fondos aportados por el Gobierno de los EE.UU. se utilizarán para hacer frente a los costes de la transferencia de tecnología a través de la atención a consultas y el entrenamiento del personal español. Los fondos aportados por la Dirección General de Obras Hidráulicas se destinarán a la administración del proyecto, a las actividades del avión de física de nubes y para analizar el conjunto de datos recogido por el proyecto. El Cabildo financiará la operación del radar meteorológico, las actividades del avión de siembra higroscópica con su tripulación, el servicio de la red pluviográfica y el análisis de los registros, la gestión diaria del proyecto y los estudios preliminares de los datos de radar y de lluvia.

Los fondos aportados por el Gobierno de EE.UU. se destinarán únicamente al mantenimiento de organizaciones civiles, de acuerdo con lo establecido en el Acta de Asistencia Exterior de 1961 en su sección 531 (c). Por ello, no se utilizarán los fondos del gobierno de los EE.UU. para la financiación directa de equipos de siembra de nubes, materiales o costes de operación en cumplimiento de la actual política.

### C. Presupuesto

Se muestra en la tabla 1 el resumen del presupuesto estimado del proyecto separado por años fiscales.

Los presupuestos estimados para el Cabildo de Gran Canaria, el CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos como agente de la D.G.O.H. y el Bureau of Reclamation se presentan en las tablas 1, 3 y 4 respectivamente. El presupuesto del proyecto se ha desarrollado en base a la experiencia en los costes del CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos, Cabildo de Gran Canaria y Bureau of Reclamation. Los presupuestos están en dólares de los EE.UU. de 1984. No se han ajustado los costes por la inflación, tanto para España como para los EE.UU. Los costes de personal incluyen salarios y beneficios; no se ha incluido ningún tipo de aumento durante la vida del proyecto.

El presupuesto estimado es para propósito informativo y está sujeto a cambios. El coste total estimado del proyecto para una anualidad en dólares de 1984 es de 530.000 US\$. Con cantidades menores no sería posible alcanzar los objetivos científicos del proyecto.

TABLA 1. Resumen de costes estimados del proyecto  
 (en miles de dólares de los EE.UU. de 1984)

Año fiscal (1 Octubre a 30 Septiembre)

Origen de los fondos	AF85	AF86	AF87	AF88	AF89	Total
Cabildo de Gran Canaria	300	300	300	300	300	1.500
Dirección General de Obras Hidráulicas	250	250	250	250	250	1.250
Bureau of Reclamation de los EE.UU.	30	30	30	30	30	150
	580	580	580	580	580	2.900



TABLA 2. Presupuesto estimado para el CABILDO DE GRAN CANARIA  
(en miles de dólares de los EE.UU. de 198-)

Año fiscal (1 de Octubre a 30 de Septiembre)

Capítulo	AF85	AF86	AF87	AF88	AF89	TOTAL
Personal para las Ope- raciones del proyec- to y Análisis de Datos	150	150	150	150	150	750
Viajes para Planifi- cación y coordinación	5	5	5	5	5	25
Avión de siembra hi- groscópica, tripula- ción y suministros	90	90	90	90	90	450
Operación y manteni- miento del Pajar	50	50	50	50	50	250
Varios	5	5	5	5	5	25
	300	300	300	300	300	1.500

TABLA 3. Presupuesto estimado para la Dirección General de Obras Hidráulicas  
(en miles de dólares de los EE.UU. de 1984)

Año fiscal (1 de Octubre a 30 de Septiembre)

Capítulo	AF85	AF86	AF87	AF88	AF89	TOTAL
Personal para Gestión análisis de datos y entrenamiento	90	100	100	100	100	490
<u>Operación del avión</u> de física de nubes y análisis de datos	100	120	100	120	120	560
Entrenamiento para técnico electrónico del Radar	10	0	0	0	0	10
Viajes para planifi- cación y Revisión	5	5	5	5	5	25
Proceso de datos, - Análisis con <u>Oriena</u> dor e Inforemes	25	25	25	25	25	125
	250	250	250	250	250	1.250

TABLA 4. Presupuesto estimado para el Bureau of Reclamation  
(en miles de dólares de los EE.UU. de 1984)

Año fiscal (1 de Octubre a 30 de Septiembre)

Capítulo	AF85	AF86	AF87	AF88	AF89	TOTAL
Personal del Bureau para guía del proyeg to y consultoría téc- nica	11	11	11	11	11	55
Procesado de los da- tos del METEOSAT del área del proyecto	3	3	3	3	3	15
Viajes del personal del Bureau (2 viajes por año)	4	-	4	4	4	20
Operaciones de entre- namiento de Radar	12					12
Interpretación de imá- genes de satélite y entrenamiento		12				12
Entrenamiento en aná- lisis global de los datos del proyecto			12	12		24
Asesoramiento final en transferencia de tecnología					12	12
	30	30	30	30	30	150

## VI. IMPLANTACION Y OPERACION DEL PROYECTO

### A. Responsabilidades

El proyecto experimental de intensificación de la precipitación es una parte del programa cooperativo de 5 años para "Gestión de Recursos Hidráulicos", que ha sido aprobado por el Comité conjunto Hispano-Norteamericano para la Cooperación Científica y Técnica. Las instituciones gubernamentales involucradas son el Bureau of Reclamation de los EE.UU. y la Dirección General de Obras Hidráulicas de España.

#### 1. Gobierno de los Estados Unidos

La responsabilidad de la supervisión técnica del proyecto será de la División of Atmospheric Resources Research, Bureau of Reclamation. La DARR será responsable en concreto de la orientación científica, supervisión del entrenamiento en las operaciones de modificación del tiempo y evaluación, seguimiento del curso de los trabajos, y asesoramiento en la transferencia de tecnología y desarrollo de las técnicas de modificación de las nubes cálidas.

#### 2. Gobierno Español

La intervención en el proyecto se coordinará por el CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos, como agente de la Dirección General de Obras Hidráulicas. No obstante, la implantación y operación del proyecto requerirá la participación y cooperación del Cabildo de Gran Canaria. El CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos y el Cabildo de Gran Canaria diseñarán conjuntamente el proyecto y el plan de operaciones. El CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos proporcionará el experto científico principal por parte del Gobierno Español, que será responsable de la implantación y operación de la parte científica y de la evaluación del programa. El Cabildo de Gran Canaria será respon

sable del funcionamiento diario bajo la guía del Director de Operaciones del Proyecto.

### B. Plan de implantación y operación

Una vez aprobado el libramiento de fondos por la Division of Foreign Affairs, Bureau of Reclamation, se realizará una visita para coordinación del proyecto a la Dirección General de Obras Hidráulicas en Madrid y al Cabildo de Gran Canaria en Las Palmas. El equipo de los EE.UU. que realizará el viaje de coordinación se compondrá de representantes de la Division of Atmospheric Resources Research y de la Division of Foreign Affairs.

El propósito principal de este viaje será obtener compromisos firmes de la Dirección General de Obras Hidráulicas y del Cabildo sobre el proyecto experimental de intensificación de precipitaciones de 5 años. Después de llegar a compromisos satisfactorios para las agencias y el proyecto, la Division of Atmospheric Resources Research realizará y comenzará el programa para la transferencia de tecnología de modificación del tiempo al Gobierno Español.

Se recomienda que un representante del Cabildo Insular se reúna con el equipo de los EE.UU. y los representantes del CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos en Madrid para el planeamiento del programa inicial y coordinación. A continuación de esta reunión, el equipo de los EE.UU. viajará con el representante del Cabildo a Gran Canaria para discutir con el Cabildo las necesidades del proyecto, las operaciones y su gestión. Se visitarán las oficinas del Servicio Meteorológico de Las Palmas y del Aeropuerto Internacional de Gando para determinar el nivel del apoyo de pronósticos disponible para las operaciones del proyecto.

A continuación del viaje inicial de coordinación, la Division of Atmospheric Research ayudará redactando un borrador

de plan de operaciones y orientando la iniciación del proyecto. A causa del tiempo necesario para estas operaciones es posible que las operaciones de investigación de nubes se realicen a lo largo de una parte de la campaña 1984-85. Sin embargo, las operaciones de siembra experimental, similares a las realizadas durante la campaña 1983-84, podrán comenzar con anterioridad. Esto aumentará las posibilidades de aumentar la lluvia natural durante el comienzo de la estación lluviosa.

Los acontecimientos principales de la implantación y operación del proyecto de 5 años se indican en la Tabla 5 por años fiscales. El año fiscal de los EE.UU. se extiende desde el 1 de Octubre hasta el 30 de Septiembre.

TABLA 5. Principales acontecimientos por años fiscales

- AF85 . Reuniones de coordinación y planificación en Madrid y - Gran Canaria del Anteproyecto.
- . Desarrollo del plan de operaciones definitivo.
  - . Identificación del personal del proyecto.
  - . Selección del Radar Meteorológico.
  - . Entrenamiento del técnico en electrónica del Radar.
  - . Establecimiento de la red pluviográfica de registro.
  - . Selección del avión de siembra higroscópica y tripulación.
  - . Iniciación de las operaciones de siembra experimental.
  - . Entrenamiento en el trabajo de los operadores del Radar.
  - . Selección del avión de física de nubes y su tripulación.
  - . Iniciación de las operaciones coordinadas de siembra experimental y de observaciones de las nubes.
  - . Establecimiento de los procedimientos de proceso de datos y archivo.
  - . Visita anual de seguimiento.
- AF86 . Reuniones de revisión del proyecto y planificación en Madrid y en Gran Canaria.
- . Campaña completa de operaciones coordinadas de siembra experimental y de observación de nubes.
  - . Entrenamiento en el análisis de datos del satélite y en la interpretación de imágenes en Madrid.
  - . Análisis preliminar de los datos del proyecto.
  - . Visita anual de seguimiento.
- AF87 . Reuniones de revisión del proyecto y planificación en Madrid y en Gran Canaria.
- . Campaña completa de operaciones coordinadas de siembra experimental y de observación de nubes.
  - . Entrenamiento en las técnicas de análisis de datos en - los EE.UU. y/o en España.
  - . Comienzo de los estudios científicos, de recursos hidráulicos y de evaluación económica.
  - . Visita anual de seguimiento.

- AF88 . Reuniones de revisión del proyecto y planificación en Madrid y en Gran Canaria.
- . Campaña completa de operaciones coordinadas de siembra experimental y de observación de nubes.
  - . Continuación del entrenamiento en las técnicas de análisis de datos en los EE.UU. y/o en España.
  - . Continuación de los estudios científicos, de recursos hidráulicos y de evaluación económica.
  - . Visita anual de seguimiento.
- AF89 . Reuniones de revisión del proyecto y planificación en Madrid y en Gran Canaria.
- . Campaña completa de operaciones coordinadas de siembra experimental y de observación de nubes.
  - . Terminación de los estudios científicos, de recursos hidráulicos y de evaluación económica.
  - . Evaluación del Proyecto y asesoramiento sobre la potencial de realización de una siembra de nubes efectiva en las Islas Canarias por el Cabildo y el CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos.
  - . Viaje final para una reunión conjunta para revisar los hallazgos y recomendaciones.

### C. Gestión del Proyecto

El Comité de seguimiento del proyecto será responsable de la gestión en su conjunto. El Cabildo se responsabilizará de la gestión de las operaciones de campo, incluyendo la supervisión del Director de Operaciones del Proyecto.

#### 1. Comité de Guía

El Comité de Guía se reunirá anualmente para revisar la marcha de los trabajos y planificar las actividades futuras del proyecto.

Los miembros del comité serán representantes del CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos (Director), del Cabildo Insu-



lar de Gran Canaria, un representante del Instituto Meteorológico Nacional, un físicometeorólogo del CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos, el Director de las Operaciones del Proyecto y los meteorólogos consultores de la Division of Atmospheric Resources Research, Bureau of Reclamation.

El Comité de Guía del Proyecto estará autorizado para aprobar los cambios necesarios en el diseño del proyecto, implantación, operación, seguimiento y evaluación. Este Comité será responsable del seguimiento del desarrollo e implantación operativa de los criterios de suspensión.

El Comité de Guía supervisará la preparación del informe final conjunto del CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos y del Cabildo de Gran Canaria, que reunirá la siguiente información.

- . Grado de cumplimiento de los objetivos.
- . Resultados de las evaluaciones técnica y económica del proyecto.
- . Recomendaciones acerca de la continuación de las operaciones de siembra hidroséptica.
- . Estado de cuentas.

## 2. Cabildo de Gran Canaria

El Cabildo incidirá especialmente en los aspectos operativos del proyecto. La gestión de las operaciones de campo será realizada de forma principal a través del Director de Operaciones de Campo, el cual estará empleado por el Cabildo. Será deber del Director de Operaciones mantener informado al Cabildo de la situación del proyecto. El Cabildo controlará el presupuesto de operaciones y será responsable del desarrollo e implantación operativa de los criterios de suspensión.

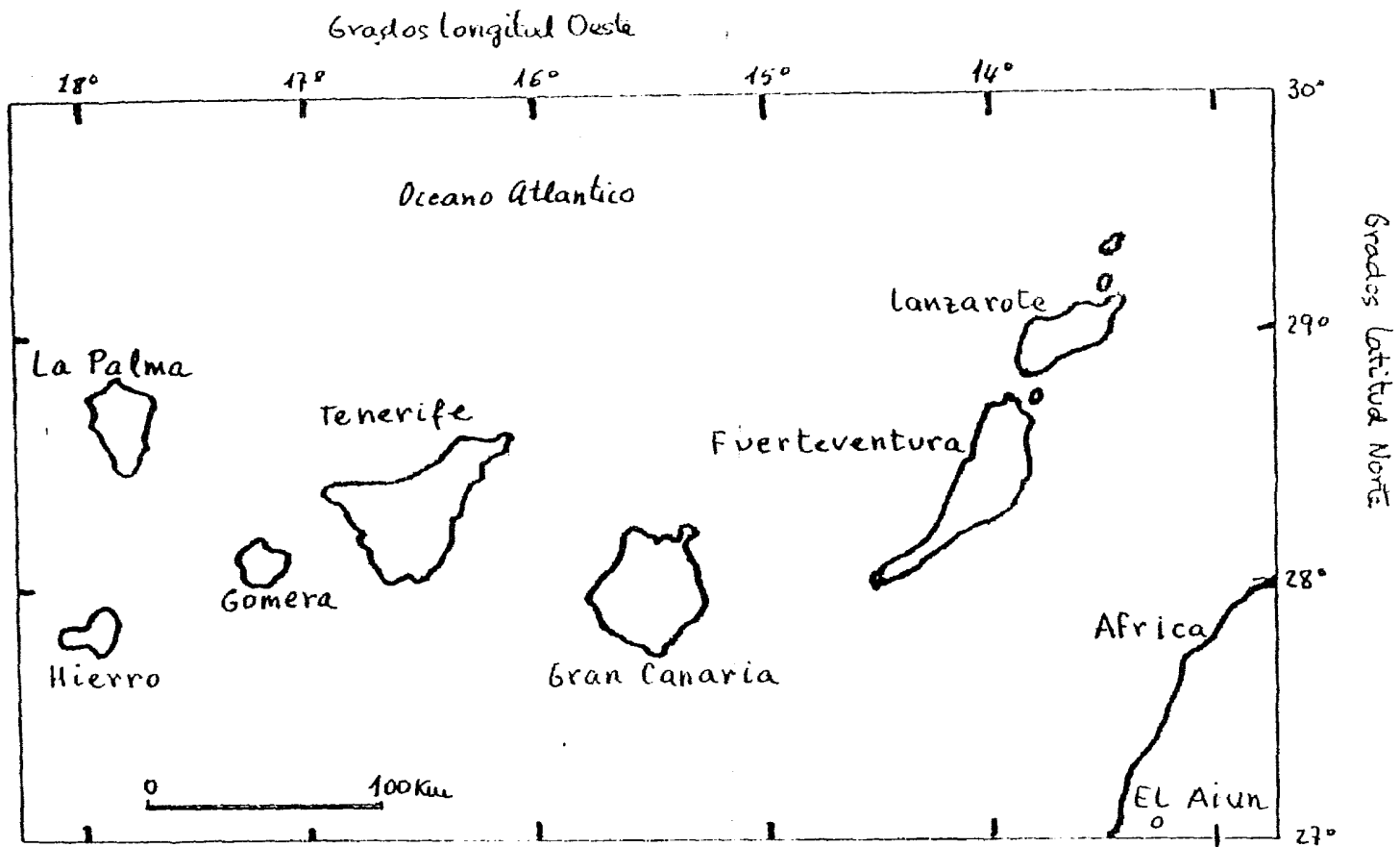
#### D. Seguimiento

Además del seguimiento rutinario dirigido por el Cabildo, se girará una visita anual por el meteorólogo consultor de la División of Atmospheric Resources Research, Bureau of Reclamation. Se reunirá con el Cabildo para revisar el conjunto del programa dentro de su programa de visita. El representante del Bureau hará hincapié en el examen de la calidad científica del programa y en la fidelidad al proyecto del plan de operaciones para la dirección de las acciones de campo, incluyendo la implantación operativa de los criterios de suspensión. También se revisará el proceso de datos, de archivo y de análisis preliminar. El representante del Bureau preparará un informe de cada visita que se transmitirá al personal del proyecto para su revisión y discusión antes de su partida de Gran Canaria. El representante del Bureau se reunirá entonces con el Director del Proyecto del CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos en Madrid para revisar la visita de seguimiento a Gran Canaria y discutir la situación de las tareas de análisis global de los datos y de evaluación del proyecto. Se prestará orientación técnica sobre como realizar dichas tareas durante dichas visitas anuales.

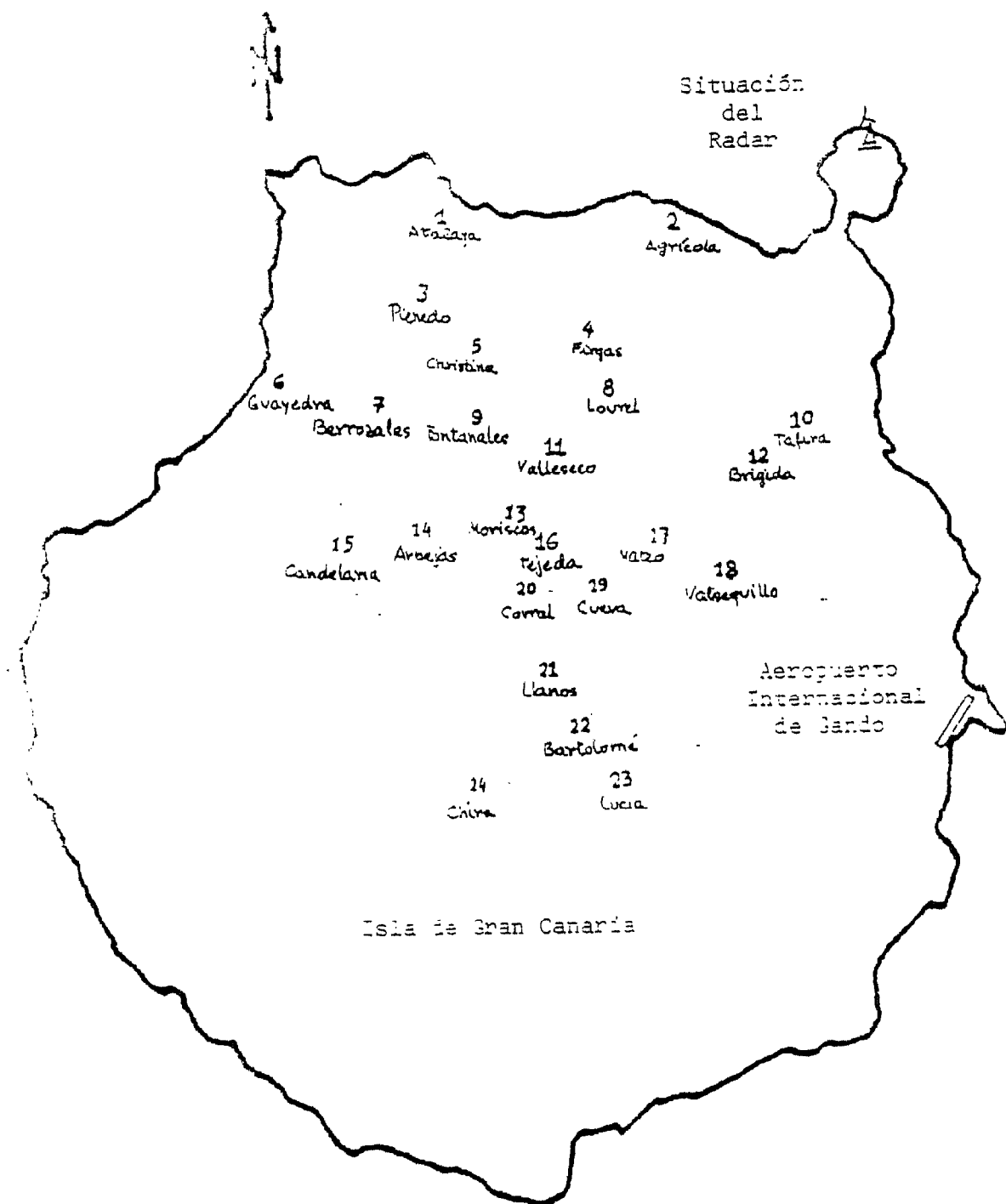
#### E. Evaluación del Proyecto

El diseño del proyecto incluye evaluaciones científicas y económicas que proporcionen datos cuantitativos y observaciones cualitativas para establecer la incidencia y coste efectivo de la intervención. La evaluación conjunta del proyecto será responsabilidad del Gobierno español, y se realizará conjuntamente por el CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos y el Cabildo de Gran Canaria. La División of Atmospheric Resources Research del Bureau of Reclamation de los EE.UU. proporcionará la asistencia técnica.

FIGURA 1



ARCHIPELAGO CANARIO



Lugares de instalación de los pluviógrafos Belfort

FIGURA 2

# ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL

=====

## PROGRAMA DE MODIFICACION ARTIFICIAL DEL TIEMPO

INFORME N° 6  
DEL PMAT

---

DOCUMENTO  
TECNICO  
OMM/DT - N° 123

INFORMACION RELATIVA  
A LAS  
ACTIVIDADES DE MODIFICACION  
ARTIFICIAL DEL TIEMPO  
DIRIGIDA A LOS ORGANOS  
GUBERNAMENTALES ENCARGADOS DE  
ADOPTAR DECISIONES



GINEBRA, AGOSTO DE 1986

LISTA DE INFORMES DEL  
PROGRAMA DE MODIFICACION ARTIFICIAL DEL TIEMPO

- PMAT - N° 1 Review of Warm Cloud Modification por Bh. V. Ramana Murty (septiembre de 1984).
- PMAT - N° 2 Papers Presented at the Fourth WMO Scientific Conference on Weather Modification, Honolulu, Hawaii, 12-14 de agosto de 1985.
- PMAT - N° 3 Notes for the International Cloud Modelling Workshop/Conference (Irsee, República Federal de Alemania, 15-19 de julio de 1985). (Agotado).
- PMAT - N° 4 Register of National Weather Modification Projects 1983 (noviembre de 1985).
- PMAT - N° 5 The Evaluation of Hail Suppression Experiments - Report of Meeting of Experts (marzo de 1986).
- PMAT - N° 6 Information concerning weather modification directed to government decision-makers (agosto de 1986).

# ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL

---

## PROGRAMA DE MODIFICACION ARTIFICIAL DEL TIEMPO

PMAT - N° 6

Información relativa a las actividades de  
modificación artificial del tiempo  
dirigida a los órganos encargados de  
adoptar decisiones gubernamentales

OMM/DT - N° 123



Ginebra, agosto de 1986

## P R O L O G O

A solicitud de la trigesimoséptima reunión del Consejo ejecutivo, la decimosexta reunión del Grupo de expertos del Consejo ejecutivo sobre modificación artificial del tiempo/Grupo de trabajo de la CCA sobre física de nubes y modificación artificial del tiempo (10-14 de marzo de 1986) preparó un documento titulado: "Declaración sobre la modificación artificial del tiempo, con una discusión sobre el problema de la sequía dirigida a los órganos decisivos".

El grupo de expertos/grupo de trabajo recomendó que se adjuntara al documento el texto recientemente aprobado por la OMM: "Reseña sobre la situación actual de las actividades de modificación artificial del tiempo" y el texto destinado a evaluar los resultados de las actividades de modificación artificial del tiempo titulado "Criterios de aceptación por parte de la comunidad científica de los resultados de un proyecto de modificación artificial del tiempo".

El Consejo Ejecutivo, en su trigesimoctava reunión, decidió que estos documentos debían reunirse en una sola publicación para distribuirlo a los Miembros y a otras organizaciones interesadas para que los funcionarios gubernamentales que han expresado interés por las actividades de modificación artificial del tiempo dispongan de información al respecto. La presente publicación se ha preparado como consecuencia de esa decisión y está disponible en español, ruso, francés e inglés.



# I N D I C E

## Página

Declaración sobre la modificación artificial del tiempo, con una discusión sobre el problema de la sequía dirigida a los órganos encargados de adoptar decisiones (adoptada por la trigésimoctava reunión del Consejo Ejecutivo) .....	1
APENDICE A - Reseña sobre la situación actual de las actividades de modificación artificial del tiempo .....	3
APENDICE B - Criterios de aceptación por parte de la comunidad científica de los resultados de un proyecto de modificación artificial del tiempo .....	11

---

DECLARACION SOBRE LA MODIFICACION ARTIFICIAL DEL TIEMPO, CON UNA  
DISCUSION SOBRE EL PROBLEMA DE LA SEQUIA, DIRIGIDA  
A LOS ORGANOS ENCARGADOS DE ADOPTAR DECISIONES

Esta información contiene directrices destinadas a las autoridades gubernamentales encargadas de adoptar decisiones (Ministerios de Agricultura, Recursos Naturales, Transporte, o Investigación y Tecnología) para que se formulen propuestas de operaciones o experimentos de modificación artificial del tiempo.

Deriva de la adjunta "Reseña sobre la situación actual de las actividades de modificación artificial del tiempo", aprobada por el Consejo Ejecutivo de la Organización Meteorológica Mundial (véase el Apéndice A), y de los adjuntos criterios de aceptación por parte de la comunidad científica de los resultados de un proyecto de modificación artificial del tiempo, preparados por el Grupo de expertos del Consejo Ejecutivo de la OMM sobre modificación artificial del tiempo durante su decimosexta reunión (véase el Apéndice B).

La declaración se refiere únicamente a los controvertidos problemas de la intensificación de la precipitación y la supresión del granizo, con referencia especial al caso de las sequías. En ambos tipos de modificación, el optimismo inicial de conseguir un éxito rápido ha disminuido por dos razones: en primer lugar, los resultados de experimentos recientes (el experimento FACE de Intensificación de la Precipitación en los Estados Unidos de América y los experimentos conjuntos de supresión del granizo en Suiza, Italia y Francia, Grossversuch IV) no han sido concluyentes. Es decir, no han conseguido demostrar el efecto deseado con un significado estadístico suficiente. En segundo lugar, recientes observaciones de la incidencia frecuente de elevadas concentraciones inesperadas de cristales naturales de hielo en algunas nubes y de un continuo flujo de vapor de agua en ciertas tormentas de granizo de larga duración han revelado que las perspectivas de una intervención provechosa son limitadas.

Sin embargo, existe una aceptación científica general de los resultados de al menos un proyecto de intensificación de la precipitación (un experimento aleatorio realizado en Israel a lo largo de 15 años). Además, cierto número de proyectos operacionales disfrutaban del apoyo permanente de los usuarios (supresión del granizo en la URSS y aumento de la masa de nieve en nubes orográficas en los Estados Unidos de América).

Aun así, para la gran mayoría de la comunidad científica no existen criterios cuantitativos y objetivos para determinar dónde, cuándo y qué tipos de nubes se deben sembrar para garantizar resultados satisfactorios.

Los responsables de los gobiernos deben reconocer estos factores a la hora de tomar las decisiones definitivas.

Pese a las incógnitas precedentes de la modificación artificial del tiempo, la intensificación de la precipitación o la supresión del granizo siguen constituyendo una posibilidad real, pero cada proyecto se debe tratar como un posible instrumento entre otros varios para la gestión de los recursos

hidráulicos y como un proyecto científico que consta de cuatro fases, como es el caso del Proyecto de Intensificación de la Precipitación (PIP) de la OMM:

- estudio de la climatología de las nubes y de la precipitación en el emplazamiento;
- diseño de experimentos en función de esta climatología y de los conocimientos actuales de la física de nubes y de la modificación artificial del tiempo;
- realización de un experimento con aleatorización, utilizando mediciones físicas y controles estadísticos;
- evaluación de los resultados.

Los responsables de los gobiernos deben saber que tales proyectos llevan tiempo y requieren considerables recursos personales y financieros para dar resultados definitivos.

En cuanto a la sequía, que es uno de los más terribles problemas de la humanidad, los procedimientos de modificación artificial del tiempo para la lucha contra la sequía a corto plazo se suelen considerar con el mayor escepticismo. Si la naturaleza no proporciona condiciones que se puedan modificar para producir más precipitación, el hombre no tiene posibilidades de aumentar la precipitación. Es evidente que si no hay nubes no hay ninguna posibilidad.

Sin embargo, ciertos estudios han demostrado que en determinadas zonas las nubes observadas durante la sequía incluyen nubes ineficaces pero "sembrables", por ejemplo al principio y al final de una estación seca. Si este es el caso en la región de interés, tendría cierta utilidad un programa de siembra de nubes cuando hayamos conseguido técnicas fiables y mejorar nuestros conocimientos de las posibilidades exactas de modificar favorablemente las nubes en períodos áridos. La consecución de estos objetivos requerirá un esfuerzo de la investigación básica y se beneficiará de la transferencia de tecnología bajo el patrocinio de la OMM.

---

## APENDICE A

RESEÑA SOBRE LA SITUACION ACTUAL DE LAS ACTIVIDADES DE  
MODIFICACION ARTIFICIAL DEL TIEMPO

## 1. INTRODUCCION

1.1 Resulta imposible modificar artificialmente el tiempo compitiendo directamente con las energías que prevalecen en la atmósfera, excepto con carácter local. En lugar de ello, se trata de hallar puntos de inestabilidad de modo que mediante una perturbación relativamente pequeña en el sistema se pueda ejercer un importante impacto en la evolución natural. Por ejemplo, los conjuntos de gotas de las nubes en determinadas capas pueden persistir durante largos períodos sin que crezca su tamaño ni se produzca sedimentación. La introducción de núcleos gigantes de condensación o de gotas de agua en dicha nube podrían originar precipitación al producir una secuencia acelerada de colisiones y crecimiento de tamaño entre las gotas. En el caso de nubes con temperaturas más frías que 0°C, la introducción de núcleos artificiales de hielo (por ejemplo mediante la siembra de yoduro de plata) o de cristales de hielo (mediante anhídrido carbónico sólido, es decir sembrando hielo seco) puede originar el rápido crecimiento de hielo a expensas de numerosas y pequeñas gotas de agua subenfriada. Además, la formación y crecimiento de gran número de partículas de hielos (mediante siembra intensiva) puede liberar suficiente calor latente para incrementar considerablemente el empuje hidrostático dentro de la nube y por consiguiente aumentar la precipitación.

1.2 La posibilidad de influir en la microestructura de la nube utilizando los medios antes indicados ha sido ya demostrada en laboratorios y verificada mediante medidas físicas realizadas en algunos sistemas naturales sencillos tales como las nieblas, capas delgadas de nubes y pequeñas nubes cumuliformes. Sin embargo, las pruebas de que la precipitación, el granizo, los relámpagos o el viento puedan ser modificados considerablemente por medios artificiales son todavía muy limitadas. Se entiende hoy en día que la complejidad y variabilidad de las nubes origina grandes dificultades para comprender y detectar los efectos de los intentos hechos para modificarlas artificialmente. Por consiguiente, al optimismo que existía en el decenio de 1950 ha seguido un planteamiento mucho más prudente. A medida que ha venido aumentando el conocimiento de la física de nubes y la disponibilidad de más datos estadísticos y de sus aplicaciones a la modificación artificial del tiempo, han venido también evolucionando los criterios de evaluación aplicables a la valoración de los experimentos de siembra de nubes. La creación de nuevo equipo, tal como las bases de observación a bordo de aeronaves dotadas de sistemas para las medidas de microfísica y dinámica del aire, radar (incluido el sistema Doppler), los satélites, las redes pluviométricas, las redes mesoescalares de estaciones, etc., ha introducido en este tema una nueva dimensión. Igualmente importante son los progresos realizados por los sistemas de computadoras que permiten la elaboración de grandes cantidades de datos. Las nuevas series de datos, utilizadas conjuntamente con los modelos numéricos de nubes cada vez más complejos, ayudan por otra parte a verificar las diferentes hipótesis de modificación artificial del tiempo.

1.3 Como los efectos que la siembra artificial ejerce en las nubes y en la precipitación entran dentro de las fluctuaciones de la variabilidad natural, es en general necesario recurrir al análisis estadístico para obtener una medida (en términos probabilísticos) de la evidencia o ausencia de los efectos ejercidos por la siembra. Aunque la capacidad y alcance de las evaluaciones estadísticas aumenta continuamente en lo que respecta al análisis de la siembra de nubes, existen todavía algunas dificultades insospechadas. Uno de los medios más seguros son las evaluaciones estadísticas fundadas en experimentos aleatorios. En el caso de la modificación de la precipitación, puede ser adecuado elegir zonas de control consideradas como objetivo si sus precipitaciones están altamente correlacionadas. En otros casos puede ser necesario recurrir a múltiples zonas de control para evaluar las posibles tendencias en zonas colindantes con objeto de poder detectar efectos paralelos a la siembra. En la mayoría de los casos deberán realizarse experimentos durante varios años para lograr un resultado estadístico significativo. Las medidas y análisis estadísticos de variables tales como las concentraciones de partículas de hielo, reflectividades del radar, intensidad de la precipitación dentro de la nube, además de la lluvia sobre el terreno, cuando se trate de casos de siembra y de casos sin sembrar, pueden servir no solamente para abreviar el tiempo requerido para establecer conclusiones a partir de un experimento sino que también se podrá obtener así datos para estudiar la plausibilidad física de determinados resultados. Con objeto de determinar la importancia y correlaciones entre diferentes variables, es preciso realizar estudios básicos en la zona experimental. Las comparaciones estadísticas de datos históricos son en principio sospechosos porque pueden implicar intercomparaciones de series de datos inconsecuentes. Por otra parte, los valores fijados por las compañías de seguros y los correspondientes al rendimiento previsto de los cultivos no se consideran como variables satisfactorias de prueba.

1.4 Vistos desde esta perspectiva, la mayoría de los experimentos de modificación artificial del tiempo realizados en años anteriores no son considerados como concluyentes por los científicos de todo el mundo. Actualmente se considera que es obligatorio llevar a cabo evaluaciones cuidadosas donde se tengan en cuenta tanto una amplia serie de medidas físicas de las nubes y de la precipitación como el análisis estadístico de dichas medidas, para poder llegar a conclusiones bien fundadas. Actualmente la modificación artificial del tiempo, siempre que no se trate de la dispersión de niebla subenfriada, ha de ser considerada como perteneciente a una fase de pura investigación. El incremento de la precipitación o la supresión del granizo de manera segura y a petición constituyen realmente objetivos muy distantes aún de alcanzar.

1.5 Muchos programas operativos son realizados reconociendo los riesgos que implica una tecnología todavía imperfecta. Por ejemplo existen indicios de que en determinadas condiciones la siembra puede causar menos lluvia en la zona elegida como objetivo, o más granizo disminuyendo al mismo tiempo la precipitación que le acompaña. Desgraciadamente los programas operativos rara vez se realizan de modo tal que permitan una evaluación científica.

1.6 En el párrafo siguiente se incluyen breves resúmenes de la actual situación de la modificación artificial del tiempo, clasificada en diferentes categorías. Los criterios generales de evaluación de los resultados de la siembra de nubes serán los ya indicados en este preámbulo. Solamente se tienen en cuenta las actividades de modificación artificial del tiempo que se considera están fundadas en buenos principios físicos y además han sido verificadas sobre el terreno.

2. INCREMENTO Y DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION EN NUBES SUBENFRIADAS

2.1 Muchas nubes naturales se hallan subenfriadas, es decir que contienen gotículas líquidas a temperaturas más frías que 0°C. Los núcleos naturales de congelación, que se hallan presentes en cantidades variables, facilitan la congelación de algunas gotículas de las nubes de modo que pasan a ser cristales de hielo. Estos cristales, que constituyen una pequeña minoría entre todas las partículas que forman la nube, crecen ulteriormente a expensas de las gotículas y por lo tanto tienden a iniciar la precipitación de la nube. Si la concentración de los núcleos naturales y por lo tanto de los cristales que resultan, es muy pequeña, el proceso de precipitación puede ser muy lento y es precisamente en estos casos en donde la introducción de núcleos artificiales (cristales de yoduro de plata) se piensa que sea eficaz. Estos núcleos adicionales acelerarían el proceso de precipitación dentro de la nube y por lo tanto aumentarían la cantidad de precipitación - nieve o lluvia - que cae de dicha nube.

2.2 La congelación del agua de la nube implica la liberación del calor latente de congelación, y esto a su vez añade empuje hidrostático positivo a la nube. Si existen suficientes núcleos para congelar todas las gotículas de la nube, ésta se transformará rápidamente en una nube de hielo, es decir que se congelará.

2.3 La siembra, es decir la introducción de núcleos artificiales, está motivada por una o varias de las siguientes posibilidades:

- la posibilidad de que el proceso de precipitación dentro de la nube se acelere y de que se convierta más agua de la nube en precipitación;
- que el empuje hidrostático creado ejerza los efectos dinámicos deseados en la nube;
- que la nube esté congelada lo cual puede terminar eficazmente o aplazar el proceso de precipitación.

2.4 Se puede aquí aducir un razonamiento en lo que respecta al orden de magnitud de la masa mínima de reactivo (AgI por ejemplo) que se necesita, en ausencia de otros núcleos, para producir lluvia. Un gramo de yoduro de plata se puede dividir en unos  $10^{14}$  cristales. Suponiendo que estos cristales puedan ser ampliamente distribuidos en el espacio y que cada uno de ellos se transforme en el núcleo de una partícula que ulteriormente crecerá hasta formar una gota de lluvia de 2,5 mm de diámetro, se produciría más de un millón de metros cúbicos de lluvia. Distribuir esta lluvia en un área de 1.000 km<sup>2</sup> equivaldría a una cantidad de lluvia de 1 mm. Según este tipo de razonamiento y debido al hecho de que en muchas regiones del mundo existe una gran proporción de nubes subenfriadas, esta técnica de siembra ha suscitado gran número de intentos de intensificación de la precipitación.

2.5 Se han realizado varios experimentos importantes en distintos tipos de sistemas nubosos, incluyendo aquí las nubes orográficas y las nubes convectivas de invierno y de verano. Algunos de estos experimentos han permitido obtener indicaciones estadísticas o físicas de que la siembra haya podido afectar a la precipitación. Hasta la fecha sólo un experimento de siembra de nubes ha estado combinado con pruebas físicas que apoyan una hipótesis de

siembra acompañada también de concluyentes pruebas estadísticas que indican un incremento de la precipitación en la zona afectada. Dicho proyecto que fue realizado con nubes convectivas invernales en Israel, durante dos experimentos consecutivos llevados a cabo dentro de un período de 15 años, dio como resultado un aumento aparente de precipitación de un 15 por ciento.

2.6 Existen algunas pruebas de que determinadas nubes convectivas subtropicales crecieran en altura y anchura tras ser intensamente sembradas hasta la liberación de su calor latente. En vista de la alta correlación entre el tamaño de las nubes convectivas y la lluvia obtenida de ellas, las nubes sembradas originaron presumiblemente más lluvia que si no hubiesen sido sometidas a este proceso. Es necesario obtener confirmación mediante experimentos adecuadamente planificados de que la precipitación zonal puede aumentarse de este modo.

2.7 Una cuestión que habitualmente se plantea es la de saber si la siembra en una zona destinada a incrementar la precipitación pudiera inadvertidamente producir cambios (se cita con más frecuencia la disminución) de la precipitación fuera de la zona objeto de la siembra. A este respecto no existen pruebas concluyentes ni estadísticas ni físicas.

2.8 Existen algunas pruebas físicas de que la siembra intensiva y deliberada (la denominada sobresiembra) de las nubes en determinadas situaciones topográficas puede originar la desviación de las nevadas (hasta 50 km). Sin embargo, los ensayos de siembra de este tipo no han sido sometidos a evaluación estadística.

### 3. MODIFICACION DE LA LLUVIA PROCEDENTE DE LAS NUBES CALIDAS

3.1 En los países tropicales o semitropicales muchas de las nubes posibles productoras de lluvia son de carácter convectivo y sus cimas con frecuencia no exceden de la altura del nivel de congelación. Por consiguiente, ha motivado considerable interés en estas regiones la posibilidad de incrementar la lluvia procedente de las nubes cálidas aumentando la eficacia del proceso de colisión-coalescencia.

3.2 En ciertas nubes cálidas el desarrollo de grandes gotículas puede ser lo suficientemente lento como para retrasar la iniciación de un crecimiento significativo por colisión-coalescencia, hasta que la nube haya pasado a su fase de pleno desarrollo. En principio es posible incrementar la precipitación en dichas nubes sembrándolas con partículas higroscópicas o con gotas de agua para acelerar el proceso de crecimiento. No obstante sólo se han realizado algunos experimentos para verificar la eficacia de estas técnicas. Uno de los problemas que se ha planteado es que se necesita utilizar grandes masas de material de siembra. Por ejemplo, si la siembra se realiza con partículas de sal de  $10 \mu\text{m}$  de diámetro que tengan una densidad de  $2 \text{ g cm}^{-3}$  y teniendo en cuenta que cada partícula crece en definitiva hasta transformarse en una gota de lluvia de  $2,5 \text{ mm}$  de diámetro, serían necesarios más de 100 kg de sal para producir un millón de metros cúbicos de lluvia (equivalentes a 1 mm de lluvia) sobre un área de  $1.000 \text{ km}^2$ . Incluso para este modesto resultado, ha sido necesario suponer el ritmo más favorable de crecimiento que pueda producirse en la práctica. La situación sería mucho más favorable si se produjera una "reacción en cadena", según la cual las gotas se rompen después de haber crecido por coalescencia hasta alcanzar un tamaño suficientemente grande y suponiendo también que los fragmentos de dichas gotas actúen ulteriormente

como centros de crecimiento para formar otras gotas de mayor tamaño. Es preciso disponer de pruebas más directas para poder determinar la importancia de dicho proceso en las nubes naturales. A pesar de estas limitaciones, se han realizado unos pocos experimentos alentadores, aunque no concluyentes. Ninguno de ellos satisface el requisito de que exista una combinación de incrementos satisfactorios de lluvia fundados en pruebas físicas y estadísticas.

#### 4. NIEBLAS Y ESTRATOS CALIDOS Y FRIOS

4.1 Ciertas técnicas han resultado ser eficaces para despejar nieblas cálidas y frías. La más segura es el denominado método térmico en el que se utilizan intensas fuentes de calor (tales como motores de reacción) para calentar directamente el aire y evaporar la niebla. Estos sistemas son caros de instalar y de usar. Están en uso operativo en los aeropuertos de Orly y Charles de Gaulle que facilitan las comunicaciones con París. Otra técnica que ha demostrado ocasionalmente su utilidad es la utilización de helicópteros más o menos estacionarios para mezclar el aire más seco de los niveles superiores con objeto de evaporar las nieblas cálidas.

4.2 La siembra con materiales higroscópicos se ha utilizado para tratar de despejar nieblas cálidas. Por ejemplo, la siembra higroscópica con NaCl produce la formación de algunas gotas que cuando caen al suelo pueden eliminar muchas gotículas de niebla. Se conocen bien los principios físicos en los que se fundan estas técnicas. Algunas veces se observa un aumento de la visibilidad durante estos experimentos, pero la forma y el lugar de la siembra, así como la distribución de los tamaños de los materiales de siembra son factores críticos y difíciles de especificar en casos individuales. Las propiedades corrosivas de algunos agentes higroscópicos pueden plantear problemas.

4.3 La niebla subenfriada puede disiparse con el crecimiento y sedimentación de cristales de hielo. Esto puede conseguirse con gran seguridad mediante la siembra de la niebla con núcleos de hielo artificiales desde sistemas terrestres o aerotransportados. Esta técnica ya se utiliza con carácter operativo en varios aeropuertos donde relativamente se produce con frecuencia niebla subenfriada. Las técnicas adecuadas dependen de la temperatura y de otros factores. Generalmente se ha utilizado hielo seco. En otros sistemas se utiliza la rápida expansión de gas comprimido para enfriar el aire lo suficientemente a fin de que se formen cristales de hielo. Debido a las grandes cantidades de cristales de hielo que pueden producirse, y a que se desarrollan y caen en unos pocos minutos, la logística de este tipo de siembra es mucho más sencilla que la siembra higroscópica. Como los efectos de este tipo de siembra son fácilmente medibles y los resultados altamente previsibles, generalmente se ha considerado en este caso innecesario proceder a una verificación estadística.

4.4 Se puede pensar que las nubes estratiformes constituyen una capa de niebla elevada. Por lo tanto, la mayoría de las técnicas aerotransportadas aplicables a la niebla de superficie pueden utilizarse para hacer agujeros en las nubes estratiformes. Hasta el momento se han realizado muy pocos experimentos con nubes estratiformes cálidas, pero repetidamente se ha demostrado que es posible despejar zonas limitadas de nubes estratiformes subenfriadas mediante la siembra de hielo seco. Todavía quedan por aclarar algunas cuestiones tales como el espesor de las nubes que puede afectar de forma óptima las concentraciones de siembra y las distribuciones de disipación, y la extensión y duración de la disipación que puede conseguirse.



## 5. SUPRESION DEL GRANIZO

5.1 El granizo causa importantes daños a los cultivos y a los bienes. En consecuencia, ha existido y existe un gran interés por suprimir el granizo en todo el mundo.

5.2 Se han formulado numerosas hipótesis para la supresión del granizo. La más común ha sido crear una mayor competición entre los pedriscos y sus embriones. Esta hipótesis, también denominada "competición benéfica" o la "hipótesis de competición del pedrisco o de los embriones" puede formularse sencillamente de la forma siguiente:

5.3 El número de embriones de pedrisco en desarrollo puede aumentarse hasta una concentración umbral donde la competición por el agua líquida disponible impide que las partículas de hielo crezcan demasiado, de forma que el pedrisco resultante funde antes de llegar al suelo. Sin embargo, debe observarse que a menos que se supere el umbral crítico, esta técnica, que exige un mayor número de embriones, puede causar más granizo.

5.4 A fin de aplicar la hipótesis de competición mediante la siembra con núcleos de hielo, parece que la producción de embriones de pedrisco adicionales (para competir con los embriones naturales por el agua subenfriada disponible) en la región de desarrollo del pedrisco es el enfoque más prometedor. En este caso, el agente de siembra debe actuar en el momento y lugar donde se formen los embriones, lo que puede ocurrir a cierta distancia de la región de desarrollo del pedrisco.

5.5 Actualmente se están realizando en varios países operaciones de supresión del granizo fundándose en muchos años de resultados favorables conseguidos en ciertos países. La evaluación estricta de la eficacia de la supresión del granizo con carácter operativo se complica debido a la muy elevada variabilidad natural del granizo tanto en el tiempo como en el espacio. Por ello, es muy difícil evaluar los resultados de los experimentos o de los programas operativos de supresión de granizo, a menos que se consiga un grado muy elevado de supresión, o al menos que puedan facilitarse con seguridad mediante predicciones variables predictoras u otros criterios de evaluación. Todavía falta la combinación necesaria de pruebas físicas y estadísticas en lo que respecta a la posibilidad de supresión del granizo.

5.6 El problema de la supresión del granizo ha llegado a un punto en el que cualquier otro progreso significativo en materia de aplicaciones deberá esperar a que se resuelvan varios problemas científicos fundamentales. Entre ellos figuran una mejor predicción de la aparición del granizo, una mejor comprensión de la estructura y dinámica de las tormentas de granizo, el origen y el desarrollo de los embriones del pedrisco y la evolución en el espacio y en el tiempo del pedrisco.

5.7 Las actividades en materia de supresión del granizo pueden ir acompañadas de cambios en lo que respecta a la lluvia que podrían constituir un factor para la evaluación de los beneficios económicos.

## 6. MODERACION DE LOS CICLONES TROPICALES

6.1 Los ciclones tropicales contribuyen considerablemente a las lluvias anuales en muchas zonas, pero también son responsables de graves daños a los bienes y de importantes pérdidas de vidas humanas. Por consiguiente, los

finés de cualquier procedimiento de modificación deberían ser disminuir el viento, las mareas de tempestad y los daños producidos por la lluvia, pero no necesariamente la cantidad total de lluvia.

6.2 En el decenio de 1960 se realizaron algunos experimentos de modificación a fin de alterar la distribución de la energía liberada cerca del centro de los ciclones tropicales. La hipótesis era que la liberación de calor latente, combinado con una profusa siembra artificial con núcleos de hielo, constituiría un medio de cambiar el emplazamiento del principal transporte de la masa vertical, lo que a su vez influiría en el campo horizontal del viento.

6.3 Las mediciones hechas en nubes situadas al exterior del ojo de los ciclones tropicales en estos últimos años han suscitado grandes dudas respecto a la hipótesis antes enunciada. En general se han observado numerosos cristales de hielos y únicamente pequeñas cantidades de agua líquida incluso a temperaturas tan elevadas como  $-5^{\circ}\text{C}$ . De no disponerse de una fuente considerable de calor latente que pueda explotarse mediante nucleación artificial, se carecerá del eslabón crítico necesario para la cadena hipotética de acontecimiento.

6.4 Por otra parte, la vigilancia de los ciclones tropicales mediante aeronaves dotadas de instrumentos para la investigación ha revelado la existencia de una variabilidad de la presión central y de los vientos máximos durante el ciclo de vida de estas tormentas superior a lo que se había estimado. Por tanto, la detección de las consecuencias de la intervención humana en los ciclones tropicales no sería cosa sencilla.

## 7. SUPRESION DE LOS RELAMPAGOS

Se ha manifestado cierto interés por la supresión de los relámpagos. Las razones son reducir los incendios forestales causados por las tormentas y disminuir los peligros durante el lanzamiento de vehículos espaciales. El concepto habitualmente propuesto incluye la reducción de los campos eléctricos dentro de las tormentas, de forma que no puedan llegar a ser tan grandes como para que puedan producirse descargas de rayos. Para ello, se ha introducido en las tormentas pajillas (fibras de plástico metalizado) o yoduro de plata (para producir mayores concentraciones de cristales de hielo). Se postula que la pajilla permite crear puntos de descarga luminosa, lo que controla el campo eléctrico a valores inferiores a los necesarios para que se produzcan relámpagos, mientras que se postula que el aumento de las concentraciones de cristales de hielo modifica la distribución de las cargas dentro de las nubes. Estos conceptos han sido utilizados en experimentos sobre el terreno; los resultados, aunque alentadores, no tienen significado estadístico.

## 8. ASPECTOS ECONOMICOS, SOCIALES Y ECOLOGICOS DE LA MODIFICACION ARTIFICIAL DEL TIEMPO

8.1 Algunas veces se piensa en la modificación artificial del tiempo cuando es necesario mejorar la economía de una región aumentando los recursos hídricos para la agricultura, para el abastecimiento de agua de las ciudades o para la producción de energía hidroeléctrica. Al decidir la aplicación de estas técnicas huelga decir que los beneficios de la modificación deben ser mayores que los gastos de las operaciones de modificación artificial del tiempo. Sin embargo, al estudiar los beneficios para algunos sectores de la población, también deben ponderarse las pérdidas para otros grupos, así como los posibles planes de compensación. Por ejemplo, un tipo de cultivo puede beneficiarse de una mayor cantidad de lluvia mientras que otro no; una mayor

cantidad de lluvia puede ser buena para la agricultura pero no para una industria floreciente de turismo en alguna región; las mayores cosechas también pueden conducir a precios inferiores y a una menor rentabilidad de algunas actividades agrícolas. En consecuencia, es necesario considerar no sólo los factores económicos del sector de la población que desea un cierto tipo de modificación del tiempo, sino el efecto neto general en la sociedad.

8.2 La intensificación de la precipitación ha sido considerada desde el aspecto general de la gestión total de los recursos hídricos. Quizá sea difícil e incluso imposible mejorar las condiciones de sequía cuando se producen. En la mayoría de los casos de sequía, las nubes idóneas para la siembra son generalmente escasas. La recarga de acuíferos con agua (que puede bombearse a la superficie si es necesaria) o llenar los embalses y aumentar las capas de nieve es evidentemente más fácil, ya que el momento en que se produzcan las precipitaciones no es crucial. Por lo tanto, será necesario introducir cambios en las prácticas agrícolas, con conversión al almacenamiento y al riego.

8.3 Siempre que la modificación artificial del tiempo origine conflictos económicos pueden plantearse problemas de carácter jurídico. Además, las actividades de modificación del tiempo dentro de las fronteras de un determinado Estado pueden ser consideradas por un Estado vecino como con efectos adversos dentro de sus propias fronteras. (Los denominados "efectos fuera de zona" que en este caso se perciben allende las fronteras del Estado que realiza las actividades de modificación artificial del tiempo).

8.4 Algunos países ya han promulgado disposiciones para reglamentar la realización de actividades en materia de modificación artificial del tiempo, y la comunidad internacional está elaborando actualmente directrices para resolver los conflictos internacionales como consecuencia de estas actividades. Sin embargo, hay que subrayar que la modificación artificial del tiempo todavía sigue siendo un sector del dominio de la investigación. Todo sistema jurídico para reglamentar la modificación artificial del tiempo a nivel internacional deberá elaborarse teniendo constantemente presentes los conocimientos científicos en esta materia.

8.5 Antes de emprender operaciones a largo plazo y en gran escala hay que evaluar las repercusiones que pueda tener cualquier actividad proyectada de modificación artificial del tiempo en los ecosistemas a largo plazo. Estos estudios de los impactos podrían poner de relieve cambios en el balance de los beneficios económicos. Durante el período operativo, deberá emprenderse un control de los posibles efectos ecológicos como punto de verificación con respecto a los impactos estimados.

---

## APENDICE B

### CRITERIOS DE ACEPTACION POR PARTE DE LA COMUNIDAD CIENTIFICA DE LOS RESULTADOS DE UN PROYECTO DE MODIFICACION ARTIFICIAL DEL TIEMPO

#### 1. INTRODUCCION

1.1 Cabe citar algunos ejemplos de los efectos irrefutables causados en las nubes por la actividad del hombre. Sin embargo, no existe una evidencia irrefutable basada en las observaciones de causa y efecto de la capacidad de incrementar la precipitación en cantidades económicamente útiles. Las condiciones naturales en las que se puede dar una modificación provechosa de la precipitación son generalmente complejas y carecen de uniformidad. Los procedimientos de modificación por lo general no producen el efecto de que el volumen sembrado tenga propiedades que se sitúen fuera de las ya descubiertas en la nebulosidad natural existente. La "señal" de sembrado está dentro del "ruido" de la naturaleza y la siembra no produce ningún efecto claro que se pueda observar simplemente.

1.2 El análisis de las propiedades estadísticas de las mediciones es una técnica comúnmente utilizada para extraer una señal o perturbación del ruido. Constituye el enfoque común del análisis de los experimentos de modificación artificial del tiempo y la aceptación de los resultados de dichos experimentos se basa casi completamente en la plausibilidad del resultado considerando la física de la situación, el diseño y realización del experimento y el significado de las pruebas estadísticas.

#### 2. PLAUSIBILIDAD FISICA

2.1 El experimento consistirá en hacer algo en algún momento con la esperanza de obtener algún resultado. Estas esperanzas se especificarán antes de iniciar el experimento y se basarán en razones sólidas. Si se proponen relaciones físicas discutibles de causa y efecto, la credibilidad del trabajo se reducirá y la aceptación de los resultados dependerá más acusadamente de la fuerza de otras pruebas. La necesidad de "milagros" no conducirá a su aceptación por parte de la Comunidad Científica.

2.2 Una demostración clásica se dio en 1946 cuando desde una avioneta se dejó caer hielo granulado en una nube poca profunda, no precipitante y superenfriada. La estela dejada por la avioneta durante la siembra, semejante a una pista de carreras fue reproducida por la estructura de las partículas de hielo que se precipitaban dentro de la capa de la nube. La causa y el efecto guardaban una relación indudable y no se pudo refutar la capacidad del hombre de modificar las nubes. No obstante, la precipitación que se formó se evaporó antes de llegar al suelo.

2.3 Este experimento consistía en dispersar material de formación de hielo en una nube superenfriada con la esperanza de que se formaran y agrandarían partículas de hielo en la nube. Debido a la transición de la región sembrada de gotitas líquidas a partículas de hielo en precipitación, las propiedades ópticas del volumen de la nube afectado por la siembra se suponían

diferentes de las del volumen no afectado, por lo que cabía esperar que el volumen tratado desarrollara una estructura compatible con la estructura de dispersión del hielo granulado seco sembrado. La hipótesis era plausible físicamente en su totalidad y las observaciones se mostraron de acuerdo con la hipótesis.

2.4 Desgraciadamente, excepto en casos muy sencillos que no tienen repercusiones económicas, no es posible hacer por el momento especificaciones detalladas de las respuestas de los sistemas de nubes a la siembra ni mediciones detalladas de la estructura microfísica y dinámica de las nubes. Ello impide la aceptación de resultados sobre la base de una fuerte plausibilidad física. Sin embargo, cuanto mejor sea la descripción de los acontecimientos que siguen a una acción determinada y cuanto más detalladas sean las mediciones confirmatorias que apoyen la ocurrencia de esos acontecimientos, mayor será la confianza que atribuya la Comunidad Científica a los resultados.

### 3. PLASIBILIDAD ESTADISTICA

3.1 La aplicación de técnicas estadísticas a la evaluación de los proyectos de modificación artificial del tiempo proporciona un método de investigar el efecto de la siembra en las propiedades del sistema meteorológico (precipitación, por ejemplo). Típicamente, la variabilidad de la propiedad que se analiza es similar, independientemente de que se emprendan o no procedimientos de modificación. La plausibilidad de que el análisis estadístico de mediciones revele una perturbación causada por un procedimiento de modificación dependerá de la manera de hacer el experimento y los análisis, y del significado matemáticamente derivado de las pruebas estadísticas.

3.2 El diseño de un experimento de modificación artificial del tiempo incluye la definición de unidades experimentales. Una unidad experimental es un bloque (de tiempo, de espacio, etc.) que se considera homogéneo con respecto a si se incluye o no en una categoría modificada o no modificada (natural).

3.3 Todo proyecto que pretenda la aceptación de sus resultados por parte de la Comunidad Científica se deberá llevar a cabo con una secuencia de unidades experimentales tratadas y no tratadas, que han sido seleccionadas sobre la base de una aleatorización estadística. Comparar las propiedades de las dos categorías constituye la tarea del análisis en sí. Esto forma la base que permite concluir si la siembra ha producido algún efecto.

#### Realización del experimento

3.4 La ciencia estadística ha elaborado reglas para la realización de experimentos. La violación de esas reglas reduce la credibilidad de los resultados de los análisis.

3.5 Las reglas se orientan por lo general a la tarea de obtener un conjunto de datos que no presente sesgos. Consciente o inconscientemente ciertas personas que trabajan en un proyecto presentan un sesgo en relación con sus resultados. Esto afectará sin duda a la calidad de los datos y a su análisis, a menos que se tomen precauciones para excluir este sesgo.

3.6 Entre las posibles fuentes de sesgos cabe incluir la selección de unidades experimentales para la realización de operaciones. Habrá que especificar algunos criterios para distinguir las situaciones favorables a los esfuerzos de modificación de las que no lo son. Sólo en el primer caso se

efectuarán las operaciones y se acumularán datos sobre los efectos del procedimiento de modificación. Se pueden introducir sesgos en el experimento al seleccionar las unidades experimentales si se dispone de información (o de una predicción razonablemente exacta) sobre si se tratará o no una unidad experimental. Por lo general el sesgo se supone. La medida en que los criterios de selección y su aplicación excluyan el sesgo contribuirá a la apreciación de la credibilidad del experimento con respecto a sus procedimientos de adquisición de datos.

### Análisis de los datos

3.7 Hay posibilidades de sesgo en todo procedimiento subjetivo utilizado en la reducción de datos (como el de asignar valores cuantitativos procedentes de información analógica). Se deberán diseñar sistemas de análisis para eliminar el sesgo. Quienes reúnen y editan los datos no deberán saber si la unidad experimental está o no tratada.

3.8 Se deberá establecer (y publicar) un protocolo de análisis de datos con anterioridad a la realización del experimento. Deberá estar claramente enfocado. Cuanto mayor sea el número de preguntas formuladas a los datos, menor será la confianza que se tenga en el valor de una conclusión basada en el análisis de una pregunta.

3.9 Por ejemplo, si se hacen 20 preguntas y el análisis incluye un resultado que indica un cambio que es significativo al nivel del 5% (es decir, una posibilidad entre 20 de que la conclusión esté equivocada) se tendrá poca confianza en la realidad de un efecto, en tanto que si sólo se hace una pregunta y el análisis indica un significativo efecto al nivel del 5%, se tendrá una confianza razonable en la realidad de un efecto causado por la siembra

3.10 Aunque los análisis que utilizan nuevas variables de respuesta (por ejemplo, la cantidad que se examina para el efecto de siembra) diseñados y realizados tras la terminación de un experimento pueden proporcionar pistas sobre los efectos producidos como resultado de la siembra, contribuyen muy poco a convencer a la Comunidad Científica de que se ha producido realmente un efecto. El escepticismo surge porque se pueden encontrar correlaciones aparentes en secuencias cortas de datos aleatorios. Las correlaciones aparentes pueden ser prominentes en la serie de datos, pero antes de que se puedan aceptar como relación de causa-efecto deben ser comprobadas por un experimento independiente, en cuyo diseño se haya incluido la oportuna prueba antes de su realización.

3.11 Las nuevas técnicas estadísticas de análisis de las variables de respuesta previamente establecidas pueden contribuir a la elaboración de conclusiones sobre los efectos.

3.12 El análisis de la tendencia histórica de las mediciones de las variables de respuesta no puede conducir a una información sobre el significado estadístico de un resultado aparente.

### Resultados del análisis

3.13 El análisis estadístico puede producir un margen probable en un resultado (por ejemplo, de un 10% de disminución a un 10% de aumento) y una declaración sobre la probabilidad de que se produzca un cierto efecto (por ejemplo, un aumento del 7% a un nivel significativo del 5%). Cuanto más

estrecho sea el margen y mayor el significado del resultado (es decir, cuanto menor sea el valor del nivel significativo) mayor será la credibilidad del experimento.

3.14 Como consecuencia principalmente de la gran variabilidad del tiempo, se necesitan por lo común varios años para reunir datos que permitan la realización de pruebas estadísticas con un significado suficiente para recibir la aprobación de la Comunidad Científica.

#### 4. RESUMEN

No existen criterios cuantitativos para la aceptación de los resultados de un experimento de modificación artificial del tiempo. La aceptación dependerá del grado de objetividad científica y de la coherencia con la que se realizó el experimento y del grado en que ello se pueda demostrar, de la plausibilidad física del experimento, del grado en que se halla excluido el sesgo en la realización y análisis del experimento y del grado del significado estadístico conseguido. Ha habido muy pocos experimentos de modificación artificial del tiempo que hayan satisfecho los requisitos de la Comunidad Científica con respecto a los criterios de aceptación.

---