

III CONFERENCIA TÉCNICA SOBRE HURACANES Y METEOROLOGÍA TROPICAL TECHNICAL CONFERENCE ON HURRICANES AND TROPICAL METEOROLOGY

México, D. F., Jun. 6-12, 1963

8a. SESIÓN

8th. SESSION

PRECIPITACIÓN Y MODIFICACIÓN DEL TIEMPO
PRECIPITATION AND WEATHER MODIFICATION

EL PROYECTO STORMFURY — EXPERIMENTO PARA MODIFICAR EL TIEMPO HURACANADO

R. H. SIMPSON *

INTRODUCCION

En su mayoría, los experimentos para modificar el tiempo han tratado de incrementar la lluvia o suprimir el granizo. Si bien numerosos investigadores han estudiado y propuesto varios medios de reducción del azar de fuertes tormentas, entre ellos Langmuir (1948, 1950) y López y Howell (1961), pocos experimentos de campo especiales, se han realizado probablemente por dos razones. A menos que un sistema de tormenta tenga un "talón de Aquiles" no hay manera de que se pueda reducir el potencial destructivo de una tormenta por el tratamiento a fuerza bruta y se sabe demasiado poco de esos sistemas para reconocer un talón de Aquiles específico o en particular, para determinar si puede identificarse por experimentos con técnicas como sembrar ioduro de plata. Además, esa misma falta de conocimientos expone al experimentador a riesgos inaceptables que arrancan de sus esfuerzos para modificar la intensidad de la tormenta.

El primer intento documentado para modificar el tiempo huracanado se realizó el 13 de Octubre de 1947, cuando el Proyecto Cirrus hizo una siembra experimental en un pequeño huracán frente a la costa oriental de Florida con hielo seco (Mook, C. P. *et al.*, 1957; Rex, D. F., 1953). Fue difícil valorar en este caso los resultados, pues no hubo medios de seguir los cambios de circulación o de estructura de nubes.

En relación con programas del NHRP, Braham y Neil estudiaron la factibilidad de hacer experimentos para modificar el tiempo huracanado y en 1958 se intentó alguna siembra exploratoria con ioduro de plata, que falló por defectos de equipo. Sin embargo, tras subsecuentes investigaciones por el NHRP, el Weather Bureau y la National Science Foundation convinieron en 1960 en patrocinar conjuntamente un programa más amplio para experimentar con siembras en huracanes. Mientras ese programa se materializaba, la U. S. Navy ofreció proporcionar al Proyecto un nuevo generador pirotécnico de ioduro de plata, desarrollado en la China Lake Naval Ordnance Test Station (Saint Amand, P. y C. W. Henderson, 1962). Los primeros experimentos que usaron tales generadores se realizaron en el Huracán Esther, 1961 y los resultados fueron suficientemente prometedores para que se autorizara la continuación

PROJECT STORMFURY — AN EXPERIMENT IN HURRICANE WEATHER MODIFICATION

R. H. SIMPSON *

INTRODUCTION

Most scientific experiments in weather modification have sought to increase rain or suppress hail. While a number of investigators have studied and proposed various means of reducing the hazard from severe storms, among these Langmuir (1948, 1950) and Lopez and Howell (1961), few specific field experiments have been carried out, probably for two reasons. Unless a storm system has an "Achilles heel" there is no way in which one can reduce the destructive potential of a storm by a brute force approach. And too little has been known of storm systems to identify a specific Achilles heel, or, in particular, to determine whether one can be identified by experimentation with such techniques as seeding with silver iodide. Secondly, the same lack of knowledge has tended to expose the experimenter to unacceptable liabilities stemming from his efforts to modify storm intensity.

The first documented effort at weather modification in a hurricane occurred on October 13, 1947 when Project Cirrus conducted a seeding experiment in a small hurricane off the Florida east coast, using dry ice (Mook, C. P. *et al.*, 1957, Rex, D. F., 1953). It was difficult to evaluate the results in this case because no facilities were available to monitor changes in circulation or of cloud structure.

In connection with programs of the NHRP, Braham and Neil studied the feasibility of conducting weather modification experiments in hurricanes and in 1958 attempts were made to do some exploratory seeding with silver iodide. These failed due to difficulty with equipment. However, following subsequent investigations by NHRP, the Weather Bureau and the National Science Foundation in 1960 agreed on joint sponsorship of a larger program to experiment with hurricane seeding. About the time the program was to be implemented the U. S. Navy offered to supply the Project with a new pyrotechnic silver iodide generator developed by the China Lake Naval Ordnance Test Station (Saint Amand, P. and G. W. Henderson, 1962). The first experiments using these generators were carried out in Hurricane Esther, 1961. The results were sufficiently promising that a continuation of the program was authorized

* U. S. Weather Bureau, Washington, D. C., E. U. A.

* U. S. Weather Bureau, Washington, D. C., U. S. A.

del programa por un convenio inter-departamental entre los Departamentos de Comercio y de la Marina, estableciéndose lo que se conoce como Proyecto STORMFURY. Este informe describirá brevemente el actual esquema del experimento, presentando algunos resultados desde los primeros momentos y mencionando planes para el futuro.

ESQUEMA DEL EXPERIMENTO Y OBJETIVOS

El primer objetivo del Proyecto STORMFURY es determinar si las liberaciones sistemáticas de calor latente de fusión en cantidades útiles pueden hacerse con siembras de yoduro de plata desde aviones. El objetivo final es determinar experimentalmente si por una siembra estratégica se llega a inducir inestabilidades de circulación que pudieran difundir hacia el exterior la energía cinética de un huracán y reducir las velocidades máximas del viento.

Quisiera uno preguntarse qué experiencia existe para llegar a considerar que en un huracán maduro con circulaciones bien ordenadas son realísticos tales objetivos. Desde luego, hay varios indicios sobre los frecuentes cambios de intensidad de huracanes, de modo rápido, por causas naturales sin que se encuentren cambios obvios en las circulaciones del ambiente o de las fuentes de energía. El Huracán Carrie, 1957, se localizó primero en un reconocimiento, al este de las Antillas Menores, como una tormenta muy fuerte con presión central de unos 935 mb. Horas después casi desaparecía el ojo y la presión central subía a 960 mb. Igualmente, el Huracán Diana y el Tifón Marge son importantes ejemplos documentados de que fuertes tormentas se redujeron rápidamente en intensidad y también hay otros dramáticos ejemplos de igual intensificación rápida. Si tales cambios rápidos ocurren sin evidencia a escala sinóptica de cambios en fuentes energéticas, no es irrazonable preponer que provienen de inestabilidades de circulación en el propio sistema de la tormenta.

Si los cambios en intensidad realmente se originan en inestabilidades de circulación, entonces ¿qué fuentes de energía pueden aprovecharse o aplicarse para desencadenar artificialmente las inestabilidades? Primero, operando aviones para investigación de huracanes se ha comprobado que ordinariamente se forma hielo en una capa de nubes convectivas profundas cerca de la pared del ojo, especialmente en el semi-círculo derecho, lo que implica la existencia de cantidades substanciales de agua líquida. Aparentemente, el calor latente de fusión en cantidades útiles puede liberarse si por algún medio efectivo se lograra que el agua líquida se congelase.

La Figura 1 muestra la diferencia en temperaturas de una masa de aire que se levanta cerca de la pared del ojo sin congelarse y de otra en que la congelación y sublimación se producen libremente. La liberación de este calor de fusión puede tener poca o nula influencia sobre las circulaciones de la tormenta si el incremento en la fijación de partículas simplemente aumentara el crecimiento vertical de la nube o si los cristales de hielo no saliesen de la columna de aire en que se forman. Sin embargo, en la circulación organizada del huracán, si (a) la tormenta mantiene una cima bastante rígida por el ascenso en temperatura que sirve principalmente para aumentar la circulación solenoide y (b) los cris-

through an interdepartmental agreement between the Department of Commerce and the Department of Navy, establishing what is known as Project STORMFURY. This report will outline briefly the present experiment design, present some of the results from the first experiments, and will mention some of the plans for the future.

EXPERIMENT DESIGN AND OBJECTIVES

The first objective of Project STORMFURY is to determine whether systematic releases of latent heat of fusion in useful amounts can be accomplished by silver iodide seeding from aircraft. The ultimate objective is to determine experimentally whether, by strategic seeding, circulation instabilities can be induced which might cause the kinetic energy of a hurricane to be diffused outward, and the maximum wind speeds to be reduced.

One may wish to ask what experience there is which might lead one to consider that, in a mature hurricane with well ordered circulations, such objectives are realistic. First, there is much evidence that mature hurricanes frequently change intensity quite rapidly through natural causes without encountering obvious changes in environmental circulations or energy sources. Hurricane Carrie, 1957, first located by reconnaissance east of the Lesser Antilles, was a very severe storm with central pressure of about 935 mb. Hours later the eye almost disappeared and the central pressure rose to 960 mb. Similarly Hurricane Diane, and Typhoon Marge, are important documented examples in which once severe storms rapidly reduced in intensity. There are of course other dramatic examples of equally rapid intensification. If such rapid changes can occur in nature without synoptic scale evidence of changes in energy sources, it is not unreasonable to propose that these result from circulation instabilities in the storm system itself.

If changes of intensity do stem from circulation instabilities, then what sources of energy can be drawn upon or applied to release these instabilities artificially? First, in the operation of research aircraft in hurricanes it has become evident that icing customarily occurs through a deep layer of convective clouds near the eye wall, especially in the right semi-circle. This implies the existence of substantial amounts of liquid water. Apparently, latent heat of fusion in useful amounts could be released if some effective means could be found to cause the liquid water to freeze.

Figure 1 shows the difference in temperature of an air parcel rising the eye wall without freezing and that of a parcel where freezing and sublimation occur freely. The release of this heat of fusion might have little or no influence upon the storm circulations if the increase in buoyancy of particles simply led to further vertical growth of the cloud, or if the ice crystals were not removed from the air column in which they form. However, in the organized circulation of the hurricane, if (a) the storm maintains a fairly rigid top, the increase in temperature serving mainly to increase the solenoidal circulation, and (b) the ice crystals are removed by the outflow circulation or by precipitation, then

tales de hielo son eliminados por la circulación del flujo de salida o precipitación, entonces el proceso de congelación induce cambios substanciales en la altura de las superficies de presión bajo el nivel de congelación y causa desequilibrio local de fuerzas. Otros factores experimentales influyen sobre ese esquema, uno, la evidencia de observaciones visuales y de radar de que la circulación del flujo de salida se alimenta primordialmente por una pequeña chimenea convectiva cerca del ojo, usualmente en el semi-círculo derecho (Simpson, R. H. *et al.*, 1962) y otro, la componente radial de flujo en la tropósfera inferior que generalmente se dirige al exterior en esta área.

Por consecuencia, el plan del experimento semeja la liberación de calor latente de fusión en el área de la chimenea por siembra de ioduro de plata como principal fuente de energía. La liberación estratégica de esta energía en el sector que sale radialmente del anillo de vientos máximos anticipa una baja de alturas de curvas y una reducción local del gradiente de presión como se ilustra en la Figura 2. En este sector (chimenea) los perfiles de viento con frecuencia tienen el aspecto que indica la Figura 3, donde los términos de curvatura y de formación de la expresión de vorticidad absoluta tienen signo opuesto y magnitud equivalente. Si los gradientes de presión se reducen localmente en este sector, la tendencia es hacia la reducción en la curvatura de la línea de corriente, lo cual daría a la vorticidad absoluta valor cero o negativo. Ya que las líneas de corriente en este sector tienden inicialmente a tener una componente de salida radial (Riehl, H. *et al.*, 1960), al establecerse inestabilidad dinámica en el sector había un transporte o difusión de energía cinética que sale radialmente y por conservación del momento angular absoluto reduce las velocidades tangenciales del viento.

El experimento STORMFURY está así confinado al cuadrante frontal derecho de los huracanes. La siembra se ha hecho saliendo radialmente desde el punto de viento máximo en el extremo superior de la corriente del cuadrante, vigilándose por patrullas aéreas el sector durante varias horas antes y después de la siembra y observándose los cambios en estructura de nubes y de precipitación con radar de 3- y 10-cm, así como de circulación con equipo de nave-

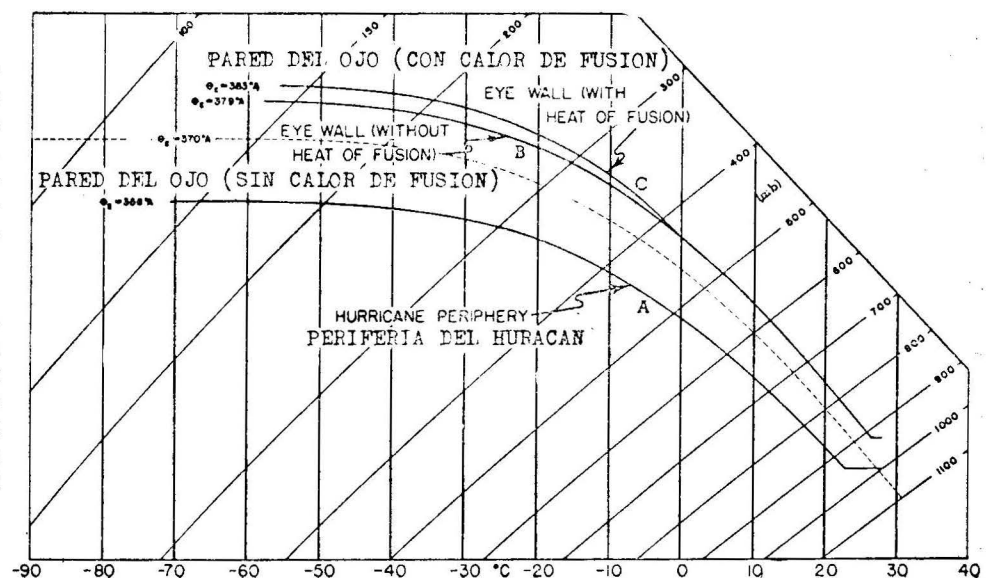
the freezing process can result in substantial changes in height of pressure surfaces below the freezing level, and cause a local imbalance of forces. There are two other experience factors which bear on the experiment design. First, the evidence from visual and radar observations is that the outflow circulation is fed primarily through a small convective chimney near the eye, usually in the right semi-circle (Simpson, R. H. *et al.*, 1962), and secondly, the radial component of flow in the lower troposphere in this area is usually directed outward.

The experiment design, therefore, looks to the release of latent heat of fusion in the chimney area, by silver iodide seeding, as the principal source of energy. The strategic release of this energy in the sector radially outward from the ring of maximum winds anticipates both a lowering of contour heights and a local reduction in pressure gradient as illustrated in Figure 2. In this (chimney) sector the wind profiles often have the appearance of those in Figure 3 where the curvature and shear terms of the expression for absolute vorticity are of opposite sign and equivalent magnitude. If pressure gradients are reduced locally in this sector, the tendency is toward reduction in streamline curvature. This would send the absolute vorticity toward zero or to negative values. Since streamlines in this sector tend initially to have a component radially outward (Riehl, H. *et al.*, 1960), the establishment of dynamic instability in this sector would lead to a transport or diffusion of kinetic energy radially outward and by conservation of absolute angular momentum a reduction in tangential wind speeds.

The STORMFURY experiment has thus far confined itself to the right front quadrant of hurricanes. Seeding has been done radially outward from the point of maximum wind at the upstream edge of the quadrant. Monitoring has been carried out by aircraft patrol of the sector for several hours before and after the seeding, and has included the observation of changes in cloud and precipitation structure by 3- and 10-cm radar, and of circulation by doppler navigation

Fig. 1. La curva A ilustra el aumento en temperatura potencial equivalente del aire en la capa bajo nubes debida al flujo de calor latente y sensible desde el océano. Las curvas B y C también indican la diferencia en temperatura de paquetes saturados en ascenso que desprenden o no calor latente de fusión.

Fig. 1. Curve A illustrates the increase in equivalent potential temperature of air in the subcloud layer due to flux of latent and sensible heat from the ocean. Curve B and C also indicate the difference in temperature of saturated rising parcels which release latent heat of fusion and those which do not.



gación doppler y registradores de valores-D en aviones operados a 7,000, 12,000 y 20,000 ps. La Figura 4 muestra las rutas de vuelo usadas en la vigilancia.

TÉCNICA DE SIEMBRA

Los generadores pirotécnicos usados para sembrar se describieron en otro trabajo por el Dr. St. Amand y bastará decir ahora que los generadores se descargan desde aviones A3D a elevaciones de casi 40,000 ps. y que caen verticalmente. Así se distribuyen plumas verticales de ioduro de plata desde cerca de la cima de la nube al nivel de congelación en cosa de pocos minutos. Metidas en una corriente media de 70 a 100 nudos, aquellas plumas rápidamente se dispersan radialmente en el anillo al salir del área de máximos vientos, proporcionando un medio muy eficiente para infectar gran volumen con ioduro de plata en tiempo mínimo.

SUMARIO DE RESULTADOS DE EXPERIMENTOS INICIALES

La siembra inicial se realizó en el Huracán Esther del 16 al 17 de Septiembre de 1961, publicándose un completo informe del experimento en el NHRP Report Núm. 60, por lo cual ahora se presentará sólo un breve sumario. La Figura 5 muestra la ubicación y disposición a escala sinóptica del huracán al tiempo de la siembra, la cual se hizo al principiar la tarde y vigilándose las configuraciones de circulación y precipitación desde casi 2 1/2 horas después de comenzar esa operación.

El más interesante resultado que se notó de inmediato el día 16 fue el cambio de reflectividad en el radar de 10 cm en el área que seguía la ruta de la siembra. Al caer el ioduro de plata del Navy A3D todos los observadores anunciaron que en los radares de 10 cm PPI notaban una configuración desconocida similar a la que podría esperarse con descargas eléctricas. Poco después de los ecos de precipitación en el área sembrada, se inició la reducción de intensidad en los radares de 10 cm y gradualmente desaparecieron como si el ojo se hubiese abierto. La figura 6 indica ese efecto y demuestra con fotografías simultáneas del radar de 3 cm que no hay cambios apreciables de reflectividad en esa longitud de onda. Algo más de una hora después la reflectividad en el radar de 10 cm en el área sembrada apareció nuevamente, lo que sugiere que al coagularse las gotas de agua líquida superenfriada, la reflectividad para radiación de longitud de onda mayor se redujo pues hubo poco cambio en longitudes de ondas menores.

La Figura 7 muestra el cambio de perfil de viento en el sector experimental después de la siembra y la Figura 8 en el valor-D, indicándose alguna reducción en la máxima velocidad del viento a 7,000 y 20,000 ps. Sin embargo, parece que hubo poco cambio en el radio del anillo de viento máximo y que la pendiente de la superficie de presión disminuyó en ambos niveles, si bien algo más a 7,000 que a 20,000 ps. Generalmente esas tendencias en la dirección pronosticada por el razonamiento que sirvió de base al experimento no apoya conclusiones aunque pueden considerarse como favorables. Primero, se debe recordar que los huracanes no son sistemas estables localmente en el sentido de su

equipment and D—value recorders on aircraft operated at 7,000, 12,000, and 20,000 ft. Figure 4 shows the flight tracks used in the monitoring.

SEEDING TECHNIQUE

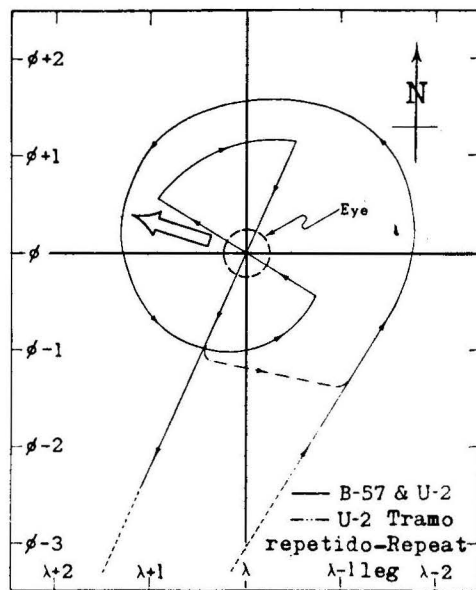
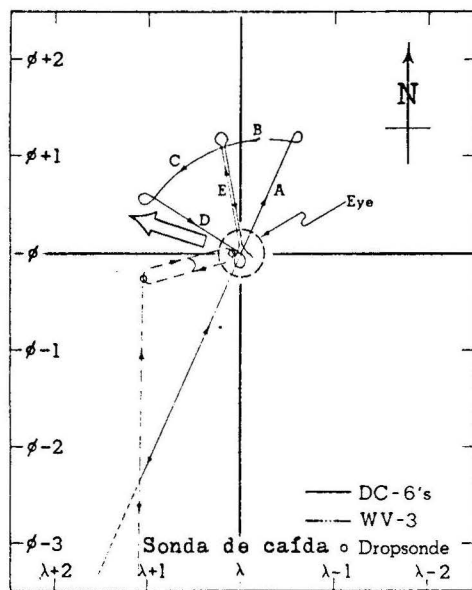
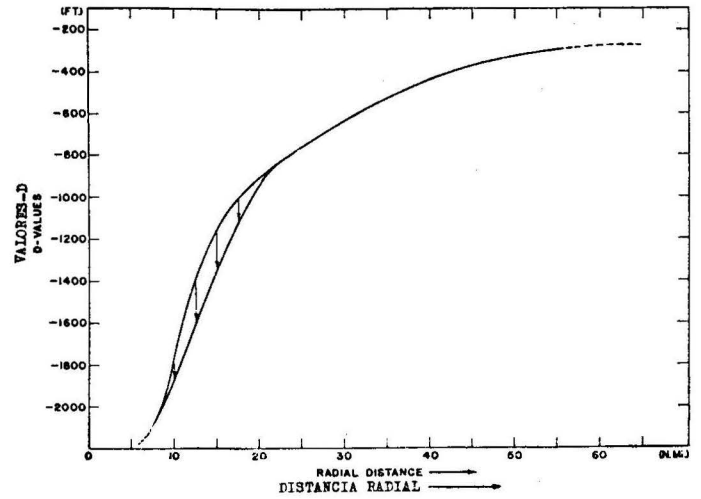
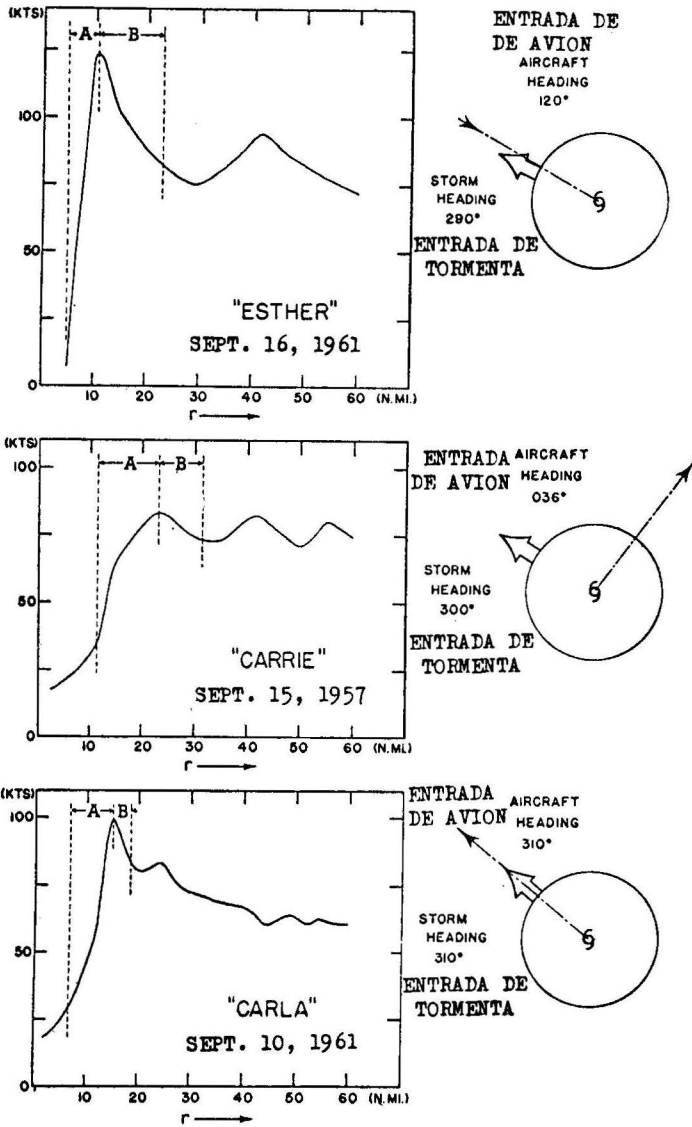
The pyrotechnic generators used for seeding are to be described in another paper by Dr. St. Amand. It will suffice to state here that the generators are dropped by A3D aircraft at elevations of about 40,000 ft. and fall almost vertically. This distributes a vertical plume of silver iodide from near the cloud tops to the freezing level in a matter of a few minutes. These plumes, embedded in a mean flow of 70 to 100 knots, are rapidly distributed through the annulus radially outward from the ring of maximum winds, providing a most efficient means of infecting a large volume with silver iodide in minimum time.

SUMMARY OF INITIAL EXPERIMENTAL RESULTS

The initial seeding was conducted in Hurricane Esther September 16-17, 1961. A complete report of this experiment is published in NHRP Report No. 60 and time will permit only a brief summary of results here. Figure 5 shows the location and synoptic scale setting of the hurricane at time of the seeding. The seeding was done in early afternoon and monitoring of the circulation and precipitation patterns was conducted from about 2 1/2 hours after the seeding was begun.

On the 16th the most interesting result immediately apparent was the change in reflectivity on 10 cm radar in the area downstream from the seeding. As the silver iodide was dropped from the Navy A3D all observers monitoring the 10 cm PPI scopes noted a nondescript pattern of returns similar to those one might expect from electric discharges. Shortly thereafter the precipitation echoes in the seeded area began to reduce intensity on 10 cm radars and gradually disappeared as if the eye wall had opened up. Figure 6 shows this effect, while demonstrating from pictures made simultaneously from 3 cm radar that no appreciable change of reflectivity occurred at that wavelength. After a little more than an hour the reflectivity on 10 cm radar in the seeded area returned once again. This behavior suggests that as supercooled liquid water drops were frozen the reflectivity for longer wavelength radiation was reduced while for shorter wavelengths there was little change.

Figure 7 shows the change in wind profile in the experimental sector after seeding, and Figure 8 the changes in D-value. Some reduction in maximum wind speed is indicated both at 7,000 and 20,000 ft. However, there appears to have been little change in radius of the ring of maximum wind. The slope of the pressure surfaces diminished at both levels but somewhat more at 7,000 than at 20,000 ft. These trends, generally in the direction predicted by the chain of reasoning upon which the experiment was designed, provide no basis for conclusions, although they may be considered to be encouraging. First, one must recall that, circulation-wise, hurricanes are not locally steady systems. The changes



circulación, pues los cambios observados en velocidad de viento y energía pueden resultar del azar y es menos fácil omitir el cambio en la reflectividad del radar. Pero, hay todavía inconsistencias que no pueden explicarse fácilmente, entre ellas que el cambio se retardó más de lo indicado por los cálculos cinemáticos. Los datos de radar sobre nubes ad-

observed in energy and in wind speed could easily have been random changes. It is less easy to dismiss the change in radar reflectivity. Yet there are inconsistencies even here that cannot be fully explained. Among these are the fact that the change was delayed beyond what is indicated from kinematical computations. The radar return from clouds ad-

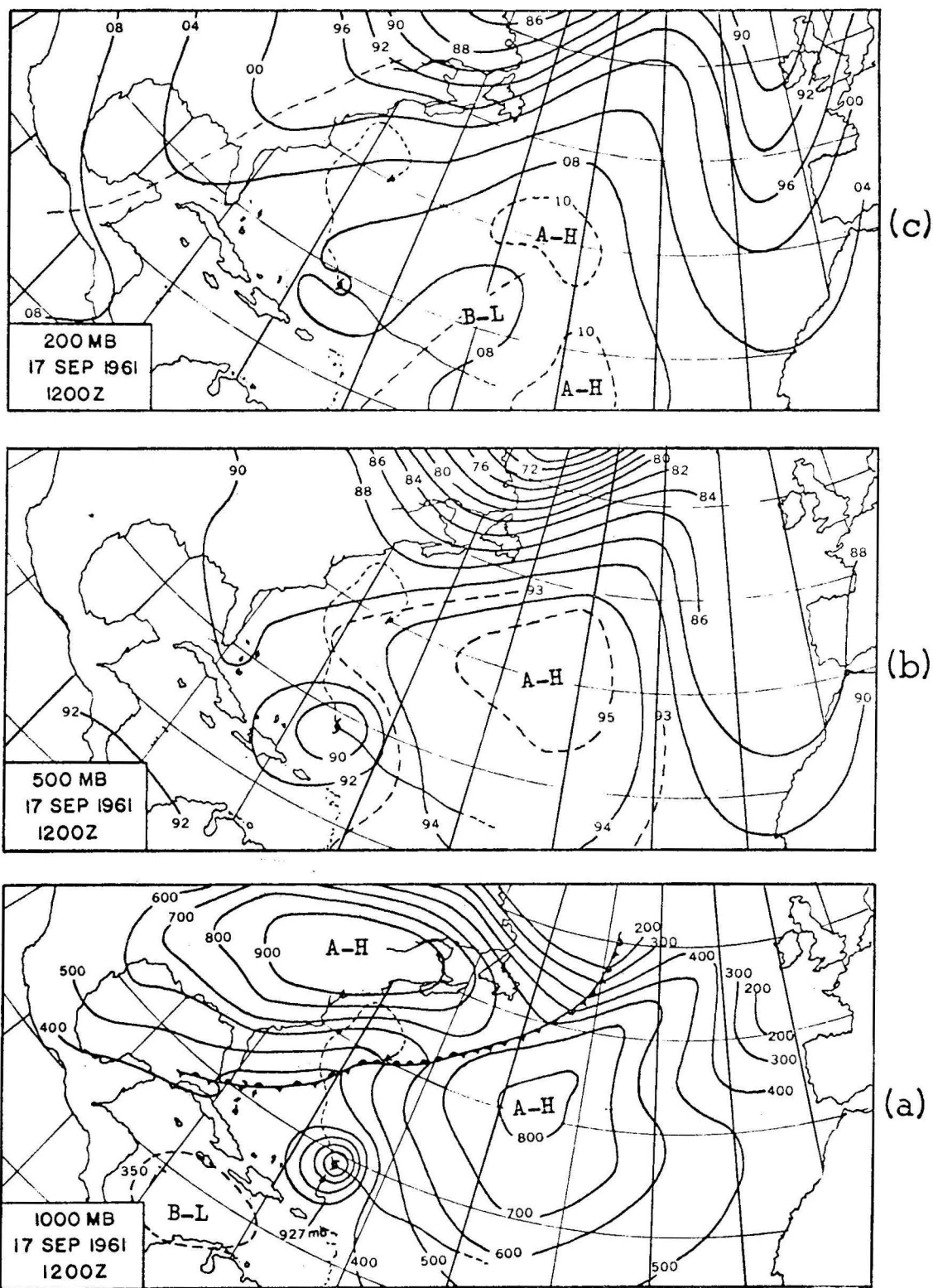
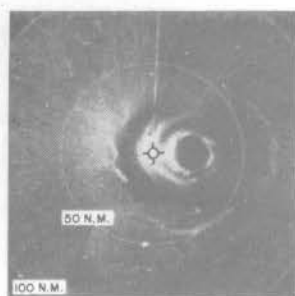


Fig. 5. Condiciones de superficie y aire superior, 1200 TMG, Sept. 17, 1961.

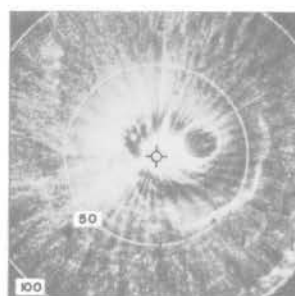
Fig. 5. Surface and upper air conditions, 1200 GMT, Sept. 17, 1961.

"ESTHER"

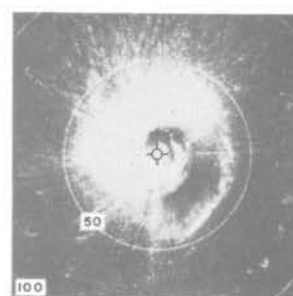
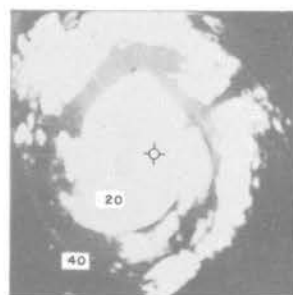
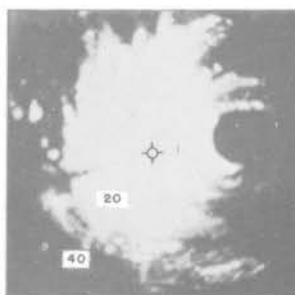
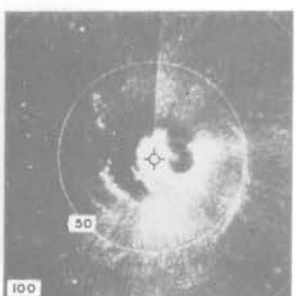
SEPT. 16, 1961

APS-20
(10 cm)

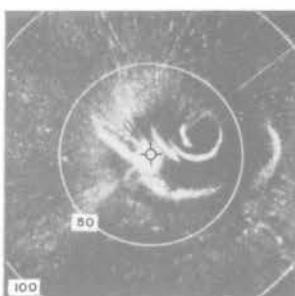
1905 Z



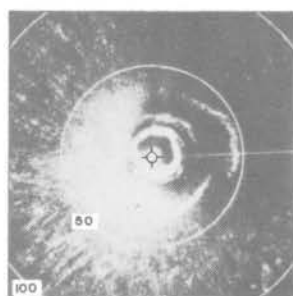
2025 Z

2041 Z
2043 ZAPS-45
(3 cm)APS-20
(10 cm)

2048 Z



2112 Z



2131 Z

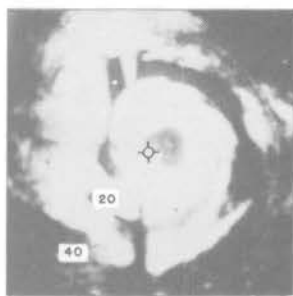
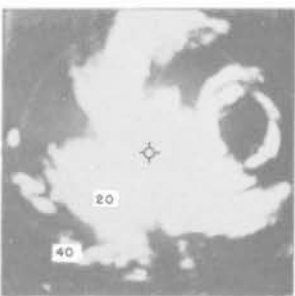
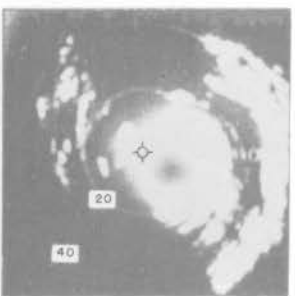
APS-45
(3 cm)

Fig. 6—Series de fotografías concurrentes de radar de 10-cm y 3-cm antes y después de sembrar en Sept. 16, 1961.

Fig. 6—Series of concurrent radar pictures from 10-cm and 3-cm radars before and after seeding of Sept. 16, 1961.

yacentes al ojo no se borraron totalmente del sector inmediato en el sentido de la corriente radial en que se hizo la siembra hasta casi 20 minutos después de iniciarse. En ese momento la pluma debía situarse a un tercio de distancia alrededor del ojo y según lo indicado por el radar sólo se había afectado un sector de unos 100 grados. Además, la radiación de 10 cm no estaba dirigida hacia las nubes superenfriadas y no había razón para cambio apreciable en reflectividad de nubes, por debajo del nivel de congelación.

yacent to the eye did not fully disappear in the sector immediately downstream from the radial where seeding was done until nearly 20 minutes after the seeding was started. By this time the plumes should have been advected one third the distance around the eye. Only about a 100 degree sector was actually affected, from radar evidence. Also, the 10 cm radiation was not all directed at supercooled clouds and there is no reason why the reflectivity should have changed appreciably in clouds below the freezing level.

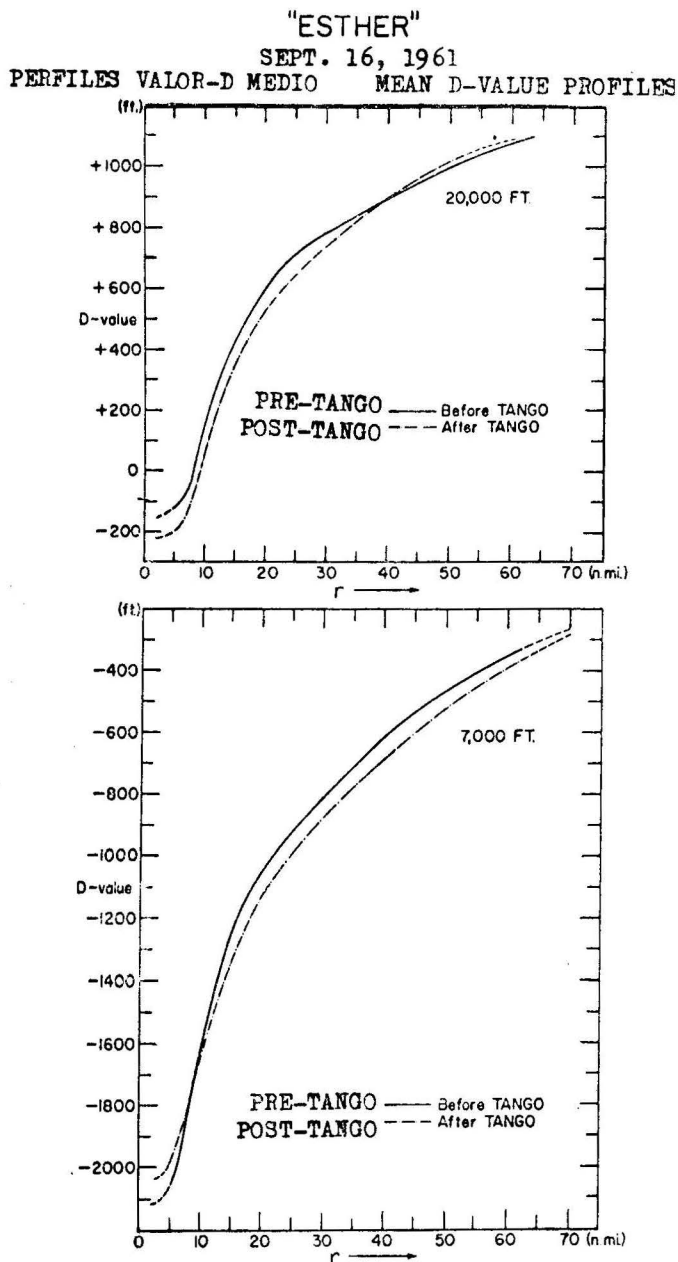


Fig. 7. Perfiles de viento medio en el Huracán "Esther", Sept. 16, 1961.

Fig. 7. Mean wind profiles in Hurricane "Esther", Sept. 16, 1961.

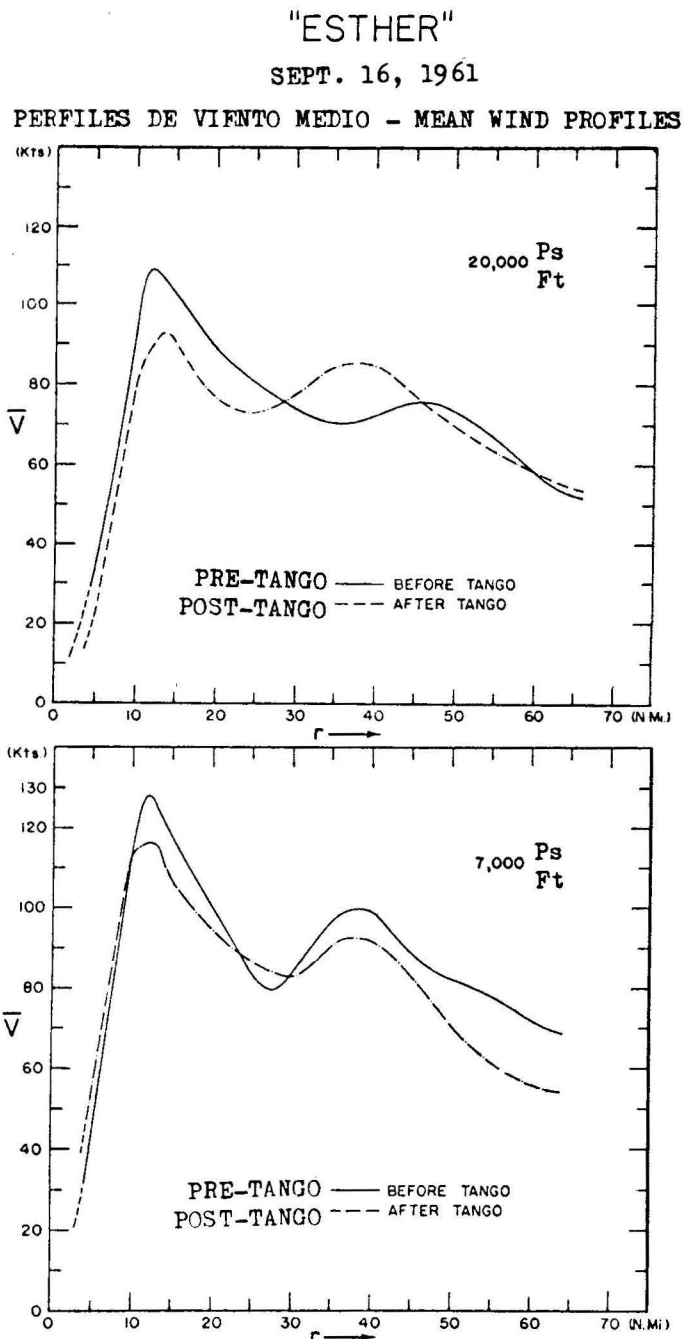


Fig. 8. Perfiles de valor-D medio para el Huracán "Esther", Sept. 16, 1961, mostrando cambios en altura y pendiente de superficies de presión después de sembrar.

Fig. 8. Mean D-value profiles for hurricane Esther, Sept. 16, 1961, showing change in height and slope of pressure surfaces after seeding.

El día 17 se repitió el experimento, pero debido a dificultades de operación los generadores no trabajaron como se había planeado y por lo menos se vio caer uno de ellos en el aire claro del ojo. Durante el período de observación no hubo cambios en la circulación o configuración de nubes.

Claro que un simple experimento de esa clase no da lugar a conclusiones, pero pueden esperarse resultados en sucesivos experimentos ya que así lo permitirá la hipótesis de trabajo de la prueba.

Sin embargo, se necesitan experimentos a menor escala, (1) para determinar la efectividad del ioduro de plata generado pirotécnicamente como núcleo de congelación y si resulta efectivo, (2) para determinar si la liberación de calor latente de fusión en grandes cumulonimbi aislados en una corriente no perturbada producen efectos apreciables en las circulaciones locales. A menos que haya resultados negativos en ambos casos, los experimentos realizados en Esther se repetirán en otras varias ocasiones antes de cambiar los planes.

PLANES FUTUROS

Se estudian otros medios para modificar la estructura o el equilibrio de fuerzas en huracanes y causar cambios de intensidad. Un método que servirá para investigaciones exploratorias durante el año próximo es la posibilidad de imponer cierto freno sobre la radiación neta saliente en algún sector del huracán, experimentándose la diseminación de burbujas plásticas muy pequeñas con alta absorptividad a radiación infrarroja en cierta área cercana al punto cúspide relativo de la circulación de un huracán. Nominalmente ese punto se localiza a la izquierda del centro, justamente sobre la tropopausa ya que los materiales diseminados sobre una área de 25 millas cuadradas tenderán a moverse con el centro de la tormenta y a difundirse lentamente al exterior. Si así sucede, puede ser posible crear una simetría de gran importancia en la estructura y circulación del huracán.

On the 17th, the experiment was repeated. However, due to operational difficulties, the generators could not be released where planned and at least one was seen falling in the clear air of the eye. During the monitoring period, no appreciable changes were observed in circulation or cloud patterns.

While conclusions from a single experiment of this kind are not feasible, the design is such that if the results are repeated in successive experiments there is reason to credit the working hypotheses of the experiment.

Nevertheless, plans call for smaller scale experimentation (1) to determine the effectiveness of pyrotechnic-generated silver iodide as freezing nuclei, and if they are effective, (2) to determine whether the release of latent heat of fusion in large isolated cumulonimbi in an undisturbed current leads to measurable changes in local circulations. Unless there are negative results from both these objectives, the experiment conducted in Esther will be repeated on several other occasions before the experiment design is modified.

FUTURE PLANS

Other means are being studied by which the structure or balance of forces in hurricanes may be modified to cause changes of intensity. One method on which some exploratory investigations will be made during the coming year is the possibility of imposing a constraint upon net outgoing radiation over one sector of the hurricane. This experiment would seek to disseminate very small plastic bubbles, with high absorptivity to infra-red radiation, in an area near the relative cusp point in circulation over a hurricane. This point is nominally located to the left of center just above the tropopause. Materials disseminated over an area 25 miles square would tend to move with the storm center and diffuse outward very slowly. If so, it may be possible thereby to create an asymmetry of ultimate importance to the hurricane structure and circulation.

BIBLIOGRAFIA

- LANGMUIR, I. 1948. The Growth of Particles in Smokes and Clouds and the Production of Snow from Supercooled Clouds. *Proc. American Philos. Soc.*, 92(3):167-185.
- 1950. Control of Precipitation from Cumulus Clouds by Various Seeding Techniques. *Science*, 112(2898):35-41.
- LÓPEZ, M. & W. HOWELL. 1961. The Campaign against Windstorms in the Banana Plantations near Santa Marta, Colombia, 1956-57. *Bull. American Meteor. Soc.*, 42(4):265-276.
- MOOK, C. P., E. W. HOOVER & R. A. HOOVER. 1957. Analysis of the Movement of the Hurricane off the East Coast of the United States, October 12-14, 1947. *Mo. Weather Rev.*, 85(7):243-248.
- REX, D. F. 1953. In Final Report, Project Cirrus, Part 1. Laboratory, Field, and Flight Experiments, prepared by Vicent Schaefer, General Electric Research Laboratory, Schenectady, N. Y., pp. 144-145.
- RIEHL, H. et al. 1960. Radial Motion in Hurricanes. University of Chicago (manuscrito inédito) (unpublished manuscript).
- SAINT AMAND, P. & G. W. HENDERSON. 1962. Project Cyclops, an Experiment in Hurricane Modification, U. S. Naval Ordnance Test Sta., China Lake, Calif., U.S.A.

BIBLIOGRAPHY