

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

México, D. F., Jun. 6-12, 1963

10a. SESIÓN

10th. SESSION

## PREDICCIÓN DE HURACANES HURRICANE PREDICTION

### IRREGULARIDADES A PEQUEÑA ESCALA EN LAS RUTAS DE HURACANES \*

C. L. JORDAN \*\*

Las trayectorias de ciclones tropicales usualmente se han dibujado en el pasado como curvas bastante suaves y frecuentemente extendidas sobre vastos espacios oceánicos. Conforme se tienen más observaciones, principalmente de reconocimientos por aviones y radar, va siendo aparente que esas tormentas rara vez se mueven en rutas directas en grandes distancias. Sin embargo, las rutas que se publican son aún de ese tipo y no muestran muchos de los irregulares rasgos indicados en los informes de posición individual. Existen errores en los informes y se necesita cierto alisamiento en los trayectos, pero queda la posibilidad de que ciertos detalles significativos resulten afectados en tales trazos.

Los errores de posición se originan en problemas que plantea la definición exacta del centro de tormenta y de precisar la verdadera posición del punto seleccionado como centro. En huracanes bien definidos el centro del ojo, determinado visualmente por estructura de nubes u observaciones de radar de configuraciones de precipitación, probablemente representa el mejor medio para definir el centro de la tormenta. En tormentas más débiles sin ojo bien formado puede necesitarse el uso de campos de viento y presión para localizar el centro de tormenta. Tal vez haya dificultades en algunos casos por existir alguna singularidad del viento o mínimo de presión y de configuraciones en áreas de gradientes débiles cerca del centro de tormenta que pueden cambiar rápidamente. En vista de las dificultades para definir el centro de tormenta y proporcionar posiciones geográficas exactas sobre regiones oceánicas, no debe sorprender que sucesivos informes individuales sobre ubicación de centros señalen rutas muy erráticas de un ciclón tropical. Como lo demostró Conover (1962), en su estudio del Hu-

\* En este trabajo se informa sobre la investigación apoyada por el U. S. Weather Bureau y la U. S. Navy Weather Research Facility.

\*\* Departamento de Meteorología, Universidad del Estado de Florida.

### SMALL-SCALE IRREGULARITIES IN THE TRACKS OF HURRICANES \*

C. L. JORDAN \*\*

In the past, trajectories of tropical cyclones have usually been drawn as rather smooth curves often extending over vast oceanic stretches. As more observations have become available, mainly from aircraft reconnaissance and radar, it has become apparent that these storms seldom move along smooth paths for great distances. However, the published tracks are still rather smooth and do not show many of the irregular features indicated by the individual position reports. Errors exist in the reports and there is little doubt that some smoothing is necessary but there is the possibility that significant features are being smoothed out of the storm tracks.

Position errors arise because of problems of defining the exact storm center and in accurately locating the geographical position of the point chosen as the center. In well-defined hurricanes the center of the eye, as determined visually from the cloud structure or from radar observations of the precipitation pattern, probably represents the best means of defining the storm center. In weaker storms without a well formed eye, it may be necessary to use the wind and pressure fields for locating the storm center. Difficulties can arise in such cases because more than one wind singularity or pressure minimum may exist near the storm center and the patterns in the area of weak gradients near the center may change fairly rapidly. In view of the difficulties of defining the storm center and in providing accurate geographical positions over oceanic regions, it is not surprising that successive individual reports of the center position often suggest a very erratic path of a tropical cyclone. The irregularity of the indicated path usually increases with the amount of data, as shown by Conover

\* The research reported in this paper was supported by the U. S. Weather Bureau and by the U. S. Navy Weather Research Facility.

\*\* Department of Meteorology, Florida State University.

racán Donna de 1960, la irregularidad de la ruta indicada usualmente sube con el cúmulo de datos. En consecuencia, la determinación de la ruta más probable del centro de un huracán es muy difícil aún en áreas con abundantes datos de radar y reconocimientos. A pesar de ello, se producen con bastante claridad desviaciones sistemáticas de una ruta directa en algunos casos a pesar de registrarse errores de posición. En este trabajo se pretende resumir lo sabido sobre tales irregularidades sistemáticas en rutas de ciclones tropicales y hacer algunos comentarios sobre la significación física de dichas características.

Yeh (1950) realizó algunos trabajos teóricos que sugieren interacción de vórtices de huracanes y su ambiente para producir oscilaciones periódicas en una ruta directa. También mostró rutas de tormenta que comprobaban ciertos rasgos del tipo indicado por la teoría. Otros investigadores, Horn (1951), Colon (1950) y Senn (1961), también comprobaron dichas desviaciones de ruta. Sin embargo, como se muestra en la Tabla I, los períodos y amplitudes anotados por los diferentes investigadores difieren mucho de los señalados por Yeh (1950).

(1962) in his study of Hurricane Donna of 1960, The determination of the most probable track of a hurricane center is, therefore, very difficult even in areas with plentiful radar and reconnaissance data. There are, however, systematic deviations from a smooth track in some cases which are quite apparent in spite of the position errors which may exist. This paper attempts to summarize the evidence for systematic irregularities in tropical cyclone tracks and to offer some comments on the physical significance of these features.

Yeh (1950) presented some theoretical work which suggests that interaction between the hurricane vortex and its environment may lead to periodic oscillation from a smooth track. He also presented storm tracks which gave some evidence for features of the type indicated by the theory. Other investigators, including Horn (1951), Colon (1950) and Senn (1961) have offered further evidence for deviations from a smooth track. However, as shown in Table I, the periods and amplitudes noted by the different investigators are quite different than those shown by Yeh (1950).

TABLA I

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LOS RASGOS OSCILATORIOS DE RUTAS DE CICLONES TROPICALES TOMADAS DE LOS ESTUDIOS DE REFERENCIA  
SOME CHARACTERISTICS OF THE OSCILLATORY FEATURES OF TROPICAL CYCLONE TRACKS AS TAKEN FROM THE REFERENCE STUDIES

Investigador Investigator	Tormenta Storm	Amplitud Amplitude (m)	Período Period (hs)
Yeh (1950)	Tormenta Tropical Núm. 2, 1947 Tropical Storm No. 2, 1947 Huracán Núm. 4, 1947 Hurricane No. 4, 1947	20-40	48-84
Horn (1951)	Tifón Allyn 1949 Typhoon Allyn 1949 Tifón Doris 1950 Typhoon Doris 1950	20-40	24-36
Colon (1959)	Huracán Betsy 1956 Hurricane Betsy 1956	10-15	7-12
Anónimo (1961) Anonymous (1961)	Huracán Carla 1961 Hurricane Carla 1961	10-15	6-8
Senn (1961)	Huracán Debra 1959 Hurricane Debra 1959 Huracán Donna 1960 Hurricane Donna 1960	< 5	< 1

TABLE I

En general, puede decirse que las oscilaciones indicadas han disminuido en amplitud y período al aumentar las observaciones. En realidad, las fluctuaciones a pequeña escala que estudió Senn (1960) son bastante erráticas en contraste con las anotadas para el Huracán Betsy de 1956 (Colon, 1959)

In general, it can be said that the indicated oscillations have decreased in amplitude and period as more observations have become available. Actually the very small-scale fluctuations studied by Senn (1960) are rather erratic as opposed to those noted in Hurricane Betsy of 1956 (Colon, 1959)

y el Huracán Carla de 1961 (Anónimo, 1961) y tal vez debieran considerarse por separado. Las oscilaciones en el Huracán Carla, que son muy evidentes en películas de radar del U. S. Weather Bureau WSR-57 en Brownsville, Texas, eran de carácter trocoidal, que es la forma de las oscilaciones señaladas por Yeh (1950). Sin embargo, el período de oscilaciones era muy diferente del discutido por Yeh.

La frecuencia de informes de posición usados por Yeh (1950) y Horn (1951) fue muy pequeña comparada con lo que existe en recientes años. Consecuentemente, parecería que los rasgos oscilatorios del tipo descritos para los Huracanes Carla y Betsy (Tabla I) está ahora mucho mejor comprobado por observaciones que los analizados antiguamente y por ello, que son apropiados para investigar si tales observaciones concuerdan con el trabajo teórico de Yeh.

Yeh (1950) obtuvo expresiones para el período y amplitud de las oscilaciones en términos de parámetros físicos. La expresión para la amplitud  $A$  puede escribirse:  $A = T (2\pi)^{-1} (u - c)$ , donde  $c$  es la componente inicial de la velocidad de vórtice en dirección de la corriente de guía  $u$  y  $T$  es el período de oscilación. Para las tormentas estudiadas por Yeh,  $u - c$  fue calculado casi en cuatro nudos, es decir, el movimiento de tormenta fue más lento que la corriente básica en esa proporción. Un cálculo similar para el Huracán Carla, usando datos de la Tabla I, da un valor de  $u - c$  de casi ocho nudos. Parecería que la velocidad de avance de Carla en cualquier momento no divergiría del flujo mesotropical en amplia escala —lo que generalmente se usa como corriente de guía— en tal proporción. Sin embargo, las oscilaciones de la magnitud observada para Carla son probablemente raras y es concebible que pudieron originarse de ese tipo de interacción entre el vórtice y la corriente de guía. Se han considerado poco los factores que tienden a evitar que un ciclón tropical se mueva con la corriente de guía y por ello, que se establezcan las condiciones requeridas para las oscilaciones del tipo considerado por Yeh.

La expresión para el período de oscilaciones dada por Yeh es  $T = 4\pi R^2 (2v_0 r_0 - f R^2)^{-1}$ , donde  $f$  es el parámetro de Coriolis,  $v_0$  es el viento máximo en el vórtice,  $r_0$  es la distancia del centro al anillo de máxima velocidad de viento y  $R$  es el radio en que se supone que el viento se mueve con el vórtice. La substitución de los valores observados para  $T$ ,  $r_0$  y  $v_0$  en el Huracán Carla en dicha expresión da un valor  $R$  de aproximadamente 60 millas. No es un valor realístico pues Carla fue una tormenta muy amplia con vientos de fuerza de huracán extendiéndose mucho más allá de 100 millas del centro de la tormenta. Consecuentemente, parecería que las oscilaciones en Carla, aunque burdamente trocoidales en forma, no son explicadas adecuadamente por el trabajo teórico de Yeh. Ciertas suposiciones de simplificación no muy realísticas que comprenden simetría, una corriente básica uniforme y rotación sólida fuera del anillo de viento máximo, pueden ser importantes para explicar los defectos de la teoría.

Las irregularidades en las rutas de los Huracanes Debra de 1959 y Donna de 1960, examinadas por Senn (1961), se

and Hurricane Carla of 1961 (Anonymous, 1961) and perhaps should be considered separately. The oscillations in Hurricane Carla, which are quite evident in the radar film from the U. S. Weather Bureau WSR-57 at Brownsville, Texas, were trochoidal in character which is the form of the oscillations given by the theoretical work of Yeh (1950). The period of the oscillations, however, was quite different than those discussed by Yeh.

The frequency of position reports available to Yeh (1950) and Horn (1951) was quite small compared to what has been available in recent years. It would, therefore, appear that oscillatory features of the type described for Huracanes Carla and Betsy (Table I) are much better substantiated by observations than those presented earlier. It would then seem appropriate to investigate whether these observations are consistent with the theoretical work of Yeh.

Yeh (1950) obtained expressions for the period and amplitude of the oscillations in terms of physical parameters. The expression for the amplitude  $A$  can be written:  $A = T (2\pi)^{-1} (u - c)$  where  $c$  is the initial component of the vortex speed in the direction of the steering current  $u$  and  $T$  is the period of the oscillation. For the storms studied by Yeh,  $u - c$  was computed to be about four knots, i.e. the storm movement was slower than the basic current by this amount. A similar computation for Hurricane Carla, using data from Table I, gives a value of  $u - c$  of nearly eight knots. It seems unlikely the the forward speed of Carla at any time departed from the broad-scale middle tropospheric flow —which is generally used as the steering current— by this amount. However, oscillations of the magnitude observed for Carla are probably rare and conceivable could have arisen from this type of interaction between the vortex and the steering current. There has been little consideration of the factors which might tend to prevent a tropical cyclone from moving with the steering current and thereby establish the conditions required for oscillations of the type discussed by Yeh.

The expression for the period of oscillations given by Yeh is  $T = 4\pi R^2 (2v_0 r_0 - f R^2)^{-1}$ , where  $f$  is the Coriolis parameter,  $v_0$  is the maximum wind in the vortex,  $r_0$  is the distance from the center to the ring of maximum wind speed and  $R$  is the radius to which air is assumed to move with the vortex. Substitution of observed values of  $T$ ,  $r_0$  and  $v_0$  from Hurricane Carla into this expression gives a value of  $R$  of approximately 60 miles. This is not a realistic value since Carla was a very large storm with hurricane-force winds extending well over 100 miles from the storm center. It would, therefore, appear that the oscillations in Carla, although roughly trochoidal in form, are not adequately accounted for by the theoretical work of Yeh. A number of simplifying, and not very realistic, assumptions including symmetry, a uniform basic current and solid rotation outside the ring of maximum winds may be important in accounting for shortcomings of the theory.

The irregularities in the tracks of Hurricane Debra of 1959 and Donna of 1960 examined by Senn (1961) were



basaron en observaciones de radar a intervalos de cinco minutos leídas en películas tomadas en estaciones individuales. Muchas irregularidades abarcaban divergencias de una ruta directa en menos de dos millas mostrando duraciones muy disímiles del orden de 30 minutos o menos. Puesto que tales irregularidades no indicaban una periodicidad definida, parecería inadecuado considerarlas dentro del trabajo teórico de Yeh y de hecho hay algunas dudas sobre su realidad. Se requeriría el rastreo simultáneo por más de un radar para establecer definitivamente la existencia de tales rasgos y en muchos casos las incertidumbres en las posiciones de radar y de estimación del centro del ojo del radar que son casi tan grandes como la amplitud de las desviaciones señaladas por Senn.

El irregular movimiento de huracanes es una consideración importante para preparar predicciones basadas en extrapolación de movimientos anteriores. Observaciones sucesivas a intervalos de menos de una hora tienen usualmente poco valor para indicar el movimiento más probable para las siguientes tres a seis horas; de igual modo las observaciones a intervalos de unas cuantas horas tienen aplicación limitada para indicar el movimiento en las siguientes 12 a 24 horas. Por ello, parecería que el desarrollo de técnicas que permitiesen rastreos exactos del centro de un ciclón tropical sólo llegan a un pequeño incremento en exactitud de las predicciones. Por otra parte, si se tuviese una teoría más realística para las oscilaciones sería posible sobreponer un movimiento periódico a la ruta extrapolada y en consecuencia, obtener mejores predicciones. Sería difícil emplear un tratamiento empírico utilizando las características de las oscilaciones observadas unas cuantas horas antes. Tampoco es fácil establecer el carácter de las oscilaciones que pueden efectuarse sobre una base operacional y en muchos casos tales rasgos cambian rápidamente con el tiempo.

Las fluctuaciones a pequeña escala en la posición central del tipo considerado por Senn (1961) y tal vez aquellos a una mayor escala como los observados en los Huracanes Betsy y Carla, no se acompañaron probablemente por variaciones similares en la totalidad del curso de la tormenta. Es difícil definir la "totalidad de la tormenta" puesto que no hay muchas observaciones precisas de tales parámetros en la categoría de vientos de fuerza huracanada o de fuerza de tormenta en los varios sectores del ciclón. Tampoco hay razón para pensar que el centroide de envoltura de vientos de fuerza huracanada o cualquier otro parámetro similar se mueva exactamente de la misma manera que el centro geométrico del ojo del radar.

Las presentaciones de radar sugieren que las irregularidades a pequeña escala en rutas de ciclones tropicales pueden asociarse con cambios en el carácter de las bandas de lluvia de la porción interior de la tormenta. En algunos casos un eco anular en el centro de tormenta puede tender a oscilar de un lado a otro cruzando la ruta media de la "tormenta total" al avanzar. Tales oscilaciones pueden posiblemente originarse por asimetrías en el campo de viento. En otros casos la estructura del ojo queda sujeta a considerables cambios en tamaño y forma por períodos de una hora

based or radar observations at five minute intervals as read from films taken at individual stations. Most of the irregularities involve departures from a smooth track of less than two miles and show quite irregular durations of the order or 30 minutes or less. Since these irregularities did not suggest a definite periodicity, it would seem improper to consider them in light of the theoretical work of Yeh. In fact, there is some doubt about their reality. Simultaneous tracking by more than one radar would be required to definitely establish the existence of such features and in many cases the uncertainties in the radar positions and in estimating the center of the radar eye are about as great as the amplitude of deviations shown by Senn.

The irregular motion of hurricanes is an important consideration in the preparation of forecasts based on extrapolation of past motion. Successive observations taken at intervals of less than an hour are usually of little value in indicating the most probable motion for the next three to six hours; similarly, observations made at intervals of a few hours are of limited use in indicating motion for the next 12 to 24 hours. Therefore, it would appear that the development of techniques which would enable accurate tracking of the center of a tropical cyclone might lead to only a small increase in the accuracy of the forecasts. On the other hand, if a more realistic theory were advanced for the oscillations it might be possible to superimpose a periodic motion on the extrapolated track and thereby obtain better forecasts. An empirical approach utilizing the characteristics of the oscillations observed over the previous few hours would be difficult to use. It is hard to establish, on an operational basis, the character of the oscillations that may be occurring and in many cases these features change rapidly with time.

The small-scale fluctuations in center position of the type considered by Senn (1961) and perhaps those of a somewhat large scale, such as observed in Hurricanes Betsy and Carla are probably not accompanied by similar variations in the course of the storm as a whole. It is difficult to define the "whole storm" since there is little accurate information on such parameters as the extent of hurricane-force or gale-force winds in the various sectors of the storm. There is no reason to think that the centroid of the envelope of hurricane-force winds, or any other similar parameter would move in exactly the same way as the geometrical center of the radar eye.

The radar presentations suggest that the small-scale irregularities in tracks of tropical cyclones may be associated with changes in the character of the rain bands in the inner portion of the storm. In some cases, a ring-like echo at the storm center may tend to oscillate back and forth across the mean path of the "whole storm" as it moves forward. Oscillations of this type could presumably arise because of asymmetries in the wind field. In other cases, the eye structure is subject to considerable change in size and shape over periods of an hour or less. These changes seldom affect

o menos. Dichos cambios rara vez afectan todos los sectores del mismo modo; usualmente sólo una porción limitada de la pared del ojo se reforzará o debilitará. Después de un cambio de ese tipo el ojo puede pasar por un período de ajuste por una hora o más antes de recuperar su configuración estable. Si las oscilaciones en la ruta del centro de ciclones tropicales realmente se producen por eventos que tienen lugar cerca del centro de tormenta —y parece que hay evidencia para esta idea según películas de radar— tal vez cualquier tratamiento teórico del tipo intentado por Yeh en que se consideran la interacción entre el vórtice como un todo y su corriente de guía, no podría servir para la predicción del carácter de las oscilaciones. Según tal punto de vista, las oscilaciones se atribuirían a características de inestabilidad cerca del núcleo de tormenta y de la “tormenta total” en cualquier instante dado en que no necesariamente se moviesen en la dirección y a la velocidad indicadas por la ruta del ojo del huracán.

La posibilidad de que el ciclón tropical como un todo pueda no moverse siempre exactamente en el mismo camino que el centro de su ojo plantea la cuestión de si debe pensarse en definir algún otro tipo de centro para propósitos de rastreo. Por ejemplo, el centroide de envoltura de vientos con fuerza de tormenta o huracanada podría resultar muy útil para propósitos de operaciones de alarma. Raras veces las observaciones de viento llegan a ser adecuadas para la definición de dicho centro, pero un centro de circulación de ese tipo puede obtenerse rastreando ecos de radar sobre áreas considerables cerca del núcleo de tormenta. Se esperaba que un estudio de radar semejante podría hacerse a tiempo para esta conferencia para el Huracán Carla, pero no resultó posible. Si pudiera probarse con alguna certidumbre que el Huracán Carla, como un todo, no participó en el movimiento oscilatorio mostrado en estaciones de radar en Texas para la ruta del centro, los comentarios anteriores sobre movimientos de tormentas alcanzarían mucha mayor significación.

all sectors in the same way; usually only a limited portion of the eye wall will strengthen or weaken. Following a change of this type, the eye may go through a period of adjustment for an hour or longer before resuming a stable pattern. If the oscillations in the path of the center of tropical cyclones actually arise because of events occurring near the storm center —and there seems to be evidence for this view from the radar films— it would seem that any theoretical treatment of the type attempted by Yeh, in which interaction between the vortex as a whole and its steering current is considered, could not be successful in predicting the character of the oscillations. From this viewpoint, the oscillations would be attributed to instability features near the storm core and the storm as a whole, at any given instant, would not necessarily be moving in the direction and at the speed indicated by the track of the hurricane eye.

The possibility that the tropical cyclone as a whole may not always move in exactly the same way as the center of its eye raises the question whether thought should be given to defining some other type of center for tracking purposes. For example, the centroid of the envelope of gale-force or hurricane-force winds might prove to be very useful for operational warning purposes. Wind observations are seldom, if ever, adequate for the definition of such a center but a circulation center of this type might be obtained by tracking radar echoes over a considerable area about the storm core. It was hoped that a radar study of this type could be accomplished for Hurricane Carla in time for this conference but this did not prove feasible. If it could be shown with some certainty that Hurricane Carla as a whole did not participate in the oscillatory motion shown for the center track by the radar stations in Texas, the above comments on storm motion would assume considerably greater significance.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANÓNIMO-ANONYMOUS. 1961. Tracking of Hurricane Carla by Land-based Radar. *Mariners Weather Log*, 5, p. 200.
- COLON, J. A. 1959. Meteorological Conditions over Puerto Rico during Hurricane Betsy, 1956. *Mo. Weather Rev.*, 87:69-80.
- CONOVER, L. F. 1962. Evaluation of Eye Fixes obtained by Radar for Hurricane Donna September 1960. National Hurricane Research Project Report, No. 50, Part I, pp. 85-100.
- HORN, J. D. 1951. On Irregular Movement of Tropical Cyclones in the Pacific. *Bull. American Meteor. Soc.*, 32:344-345.
- YEH, T. C. 1950. The Motion of Tropical Cyclones under the Influence of a Superimposed Southerly Current. *Jour. Meteorology*, 7:108-113.

#### BIBLIOGRAPHY