

Huracanes, tifones, baguíos, willy-willies y ciclones.*

Dr. Luis Capurro

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN

Unidad Mérida, Depto. de Recursos del mar.

E-mail <lcapurro@mda.cinvestav.mx>

Recibido: Septiembre de 2001. Aceptado: Septiembre de 2001

RESUMEN

¿Qué es una depresión tropical, cómo y dónde se forma y cómo se transforma en huracán? El presente artículo pretende dar respuesta a esta pregunta a través de la presentación de los fenómenos atmosféricos y de la terminología pertinente que gira alrededor de la comprensión de estos acontecimientos naturales, conocidos como huracanes, baguíos, willy-willies, tifones o ciclones en diversas partes del mundo. La depresión atmosférica, como causa de huracanes, aún inquieta a los científicos en tanto que no se conoce con certeza qué la genera y cómo puede convertirse, a su vez, en huracán. Se presentan las depresiones tropicales y las extratropicales, describiendo su origen, su desarrollo y cómo pueden dar origen a los huracanes, mismos que se clasifican de acuerdo con la velocidad del viento en una escala de 1 a 5. Se describen los daños causados por los principales huracanes que han azotado no sólo las costas de México, sino la zona del Caribe y Centroamérica, el este de los Estados Unidos, la región del Océano Pacífico y del Océano Índico. Por último, se presenta el estado actual del conocimiento y los avances tecnológicos con respecto a estos fenómenos.

Palabras clave: huracán, fenómenos meteorológicos, presión atmosférica, depresión atmosférica, fluidos geofísicos, depresión tropical.

ABSTRACT

What is a tropical depression, how and where is it formed, and how is it transformed into a hurricane? This article intends to answer that question through the presentation of atmospheric phenomena and appropriate terminology around this natural events, known as hurricanes, baguíos, willy-willies, typhoons, or cyclones in several parts of the world. The atmospheric depression as a cause of hurricanes still disturbs scientists, as it is not known, under an accurate way, what generates it and how it may become into a hurricane. Tropical and extra tropical depressions are presented describing their origin, their development, and how can they originate hurricanes. Hurricanes may have an intensity range from 1 to 5. Damage caused by hurricanes not only in Mexico, but also in the Caribbean and Central America, the East coast of the United States, the Pacific Ocean, and the Indian Ocean are presented. Finally, current stage of knowledge and technological breakthroughs are also presented.

Keywords: Hurricane, Meteorological Phenomena, Atmospheric Depression, Geophysical Fluid, Tropical Depression.

INTRODUCCIÓN

En el Atlántico los conocemos como huracanes, en gran parte del Pacífico como tifones, en las Islas Filipinas y China como baguíos, en Aus-

tralia como willy-willies y en el Índico como ciclones. Todos ellos son miembros de una misma familia de fenómenos meteorológicos de seria repercusión ambiental, económica y social. Aunque en violencia son superados por los "tornados", cubren un área mucho mayor, se desplazan sobre mayores distancias y duran mucho más, de modo que su efecto destructivo supera por mucho a los del tornado.

* Artículo originalmente publicado en *Avance y Perspectiva*, Núm. 20, pp. 221-233, septiembre de 2001. Se reproduce en esta revista con la autorización del autor.

El huracán, tifón, baguío, ciclón y willy-willy es la más peligrosa y destructiva de todas las tormentas en la Tierra. En general, no cubre un área tan vasta como las tormentas ordinarias que constituyen nuestro tiempo meteorológico, ni tampoco puede igualar a la furia concentrada de un tornado, pero combina violencia y área de acción para generar devastación a lo largo de una extensa trayectoria. El vórtice de un huracán puede abarcar más de medio millón de kilómetros cuadrados, sus vientos pueden alcanzar más de 300 kilómetros por hora. (83 m/s) y algunas veces desprende un aluvión de tornados de sus bordes. Lo que hace a un huracán muy peligroso, no es precisamente el viento, sino las grandes olas que se acumulan en el mar. Los ejemplos registrados al presente hablan elocuentemente de su poder destructivo material y humano.

El primer aviso que tenemos de un probable huracán es la detección de una depresión tropical. La pregunta es: ¿qué es una depresión tropical cómo y dónde se forma, y cómo se transforma en huracán?

Fluidos Geofísicos

Antes de entrar de lleno a los huracanes, es conveniente destacar ciertos aspectos básicos de los fenómenos atmosféricos y la terminología pertinente.

1. La atmósfera y los océanos, los dos fluidos geofísicos presentes en la superficie de nuestro planeta, giran conjuntamente con la Tierra en su movimiento diario de rotación, es decir, están adosados a ella y participan íntegramente en dicho movimiento, como un sólido en rotación. Las pequeñas desviaciones que afectan al movimiento de estos fluidos, y que nosotros también observamos, rotando como ellos, son los vientos y las corrientes.
2. La energía radiante externa, que llega al tope de la atmósfera y a la superficie del planeta, proviene del Sol; ella no se reparte uniformemente sino que se concentra en una banda que abarca a partir de los 23° de latitud norte y sur del ecuador terrestre y que conocemos como zona tropical. Un observador ubicado dentro de esta región tendrá en algún momento del año solar al astro rey en su cenit, es decir en su vertical, y los rayos caerán directamente a plomo sobre él. Observadores en latitudes superiores a los 23° norte o sur -latitudes medias y altas- recibirán los rayos con cierta inclinación, variable según la estación del año. La responsable de esta repartición desigual de energía es la órbita inclinada -eclíptica- que sigue la Tierra en su movimiento anual alrededor del Sol, su movimiento de revolución.
3. Si no hubiera un proceso regulador de ese calentamiento desigual, nuestra zona tropical estaría hirviendo, y sabemos que esto no ocurre así. El mecanismo de regulación de temperatura lo constituyen, por un lado, las circulaciones atmosféricas, es decir, los vientos y, por el otro, la oceánica, es decir, las corrientes. Estas circulaciones transportan el exceso de calor del trópico a las latitudes más altas. A pesar de este proceso regulador, el aire que se encuentra en la zona tropical se caracteriza por una uniformidad que no sucede en las latitudes más altas, y que originan lo que conocemos como monotonía del clima tropical.
4. En el proceso de distribuir el exceso de energía solar de los trópicos a las latitudes medias y altas por las circulaciones atmosféricas y oceánicas se han generado, tanto en la atmósfera como en el océano, regiones climáticas típicas, zonas donde convergen y se encuentran distintos sistemas de vientos y de transición de distintas masas de aire. Una de ellas es la región donde convergen los sistemas de viento alisios, conocida como de "Convergencia Intertropical"; la otra, que separa al sistema de vientos del oeste de los vientos polares, es la Baja Polar o el "Frente Polar". Estas discontinuidades son zonas de una fuerte dinámica.
5. El peso de la columna de aire que experimentamos en cada centímetro cuadrado de nuestro cuerpo se conoce como presión atmosférica. Al nivel del mar es de más de un kilogramo y disminuye con la altura del observador. En la Península de Yucatán es de alrededor de un kilogramo por centímetro cuadrado, y en la ciudad de México, a más de 2000 metros de altura, de 816 gramos; y,

evidentemente nuestro organismo opera en condiciones ambientales diferentes. La presión atmosférica se expresa de distintas maneras según los diferentes países. La mundialmente aceptada es la de los "milibares". Su equivalencia es la siguiente: la presión normal promedio es de 1003,6 milibares que representa el peso de una columna de mercurio de 760 milímetros de longitud y una sección de un centímetro cuadrado a cero grado de temperatura, equivalente a una fuerza de 1.033 kilogramos por centímetro cuadrado o de 29.92 libras por pulgada cuadrada. Cada milibar es equivalente a 0.75 milímetro de la columna de mercurio.

6. La distribución espacial de la presión atmosférica, el campo de presión, es la herramienta principal del meteorólogo para estimar la circulación del aire: el viento. Cuando la línea de igual presión -isobara- es horizontal, no hay circulación y cuando está inclinada se genera un viento que aumenta con la inclinación. El mismo racional se aplica en el océano para estimar la distribución de la presión hidrostática. Es de destacar que pequeñas inclinaciones de las isobaras generan fuertes movimientos. Por ejemplo, en latitudes medias una corriente de alrededor de 2 nudos, (100 cm/s), que es bastante fuerte, es generada por una pendiente de un metro en cien kilómetros.
7. La evaporación y la acción de la rotación terrestre juegan un papel importante en la dinámica del huracán. La primera extrae del agua alrededor de 650 calorías para transformar un gramo de agua en vapor a la misma temperatura (calor latente) y el mismo es devuelto a la alta atmósfera al condensarse en nubes. Este proceso implica transferencia de una gran cantidad de energía.

La segunda, -fuerza de Coriolis- condiciona la forma y simetría circular de las isobaras que generan el viento, y no se siente en el ecuador.

8. Movimiento ciclónico se refiere al movimiento del fluido: es en sentido contrario a las agujas del reloj en el Hemisferio Norte y contrario en el Hemisferio Sur (anticiclónico) y no tiene nada que ver con los huracanes.

La depresión atmosférica

Durante la época de huracanes, que en Yucatán comprende de junio a noviembre, se genera una preocupación por saber cómo se presenta la temporada y si existe riesgo de que alguno de ellos afecte a la Península. En consecuencia, la gente, incluyendo a mis colegas de trabajo, está pendiente de los avisos meteorológicos, con un interés particular en que surjan estas fuertes tormentas.

El comienzo de un huracán tiene lugar con la aparición de una depresión atmosférica, es decir, una zona donde la presión atmosférica ha descendido en forma más o menos rápida con respecto a la que la rodea. Esta simple aparición genera una inquietud lógica pues se la asocia con un posible huracán que tal vez nunca se produzca. La palabra depresión tropical los inquieta y comienzan las especulaciones. En pláticas sobre este tema con muchas personas, incluyendo académicos, he podido observar que no tienen muy claro qué es lo que genera una "depresión atmosférica" y su probable evolución a un huracán. Esto me ha motivado a incorporar a este trabajo unos comentarios sobre este fenómeno atmosférico y su posible desarrollo. Una depresión atmosférica es en pocas palabras, una baja sensible de la presión del aire con respecto al cuadro general del ambiente que la rodea; en lenguaje académico una "perturbación" en el campo isobárico presente. Este fenómeno aparentemente intrascendente, puede tener serias implicaciones en nuestro ambiente y en nuestra sociedad, como veremos más adelante. Para conceptualizarla físicamente, si nos encontráramos en el lugar, veríamos nubes de desarrollo vertical desordenado que se van extendiendo horizontalmente, probables lluvias, sentiríamos sofocación, según la bajada de presión habría mucha evaporación -humedad- y vientos en aumento.

En la jerga meteorológica se conocen dos tipos de depresión, relacionadas más bien a la región del globo donde se desarrollan: depresión extratropical y depresión tropical. La primera se origina en las latitudes templadas, donde se encuentran masas de aire diferentes; la fría polar y la cálida tropical (frentes); esta depresión genera cambios bruscos del estado del

tiempo, debido al contraste de las temperaturas del aire que provee la energía que mueve a las tormentas extratropicales. Dichas depresiones son de mayor extensión y menos intensas que las depresiones tropicales; su representación isobárica es generalmente asimétrica, las isobaras no se cierran en círculo, son más bien alargadas por la presencia de frentes y se desplazan a mayor velocidad.

La existencia de discontinuidades en la atmósfera, y hasta cierto punto su asociación con las depresiones extratropicales, era muy poco conocida a principios de siglo, y su relación con los frentes fue un notable avance en comprender los orígenes de las mismas (ciclogénesis). La escuela noruega fue la que introdujo las ideas monumentales de la génesis y estructura de las depresiones que revolucionaron la meteorología práctica. La teoría de que las depresiones extratropicales se forman en los frentes polares que separan a los vientos del oeste de los vientos polares se conoce como la teoría del Frente Polar. Se podría continuar elaborando sobre este apasionante tema, pero no es el propósito de este artículo. Entraremos por lo tanto de lleno al tema de las depresiones tropicales. Espero que los comentarios que expuse previamente permitan que las explicaciones que siguen sean interpretadas con claridad

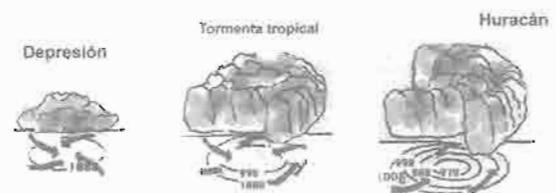
Depresiones tropicales

Las depresiones tropicales se mueven y evolucionan en una masa homogénea de aire tropical que no interacciona con otras masas de aire, como es el caso de las depresiones extratropicales, y por lo tanto carece totalmente de frentes. Es fácil imaginar que el encuentro de dos masas de aire distintas genere un área de una fuerte dinámica donde puede tener lugar una serie de fenómenos, incluyendo la génesis de una depresión, pero se hace difícil intuir que en un ambiente tan homogéneo como es la atmósfera tropical se puedan desarrollar tormentas tan intensas como son los huracanes. Las depresiones tropicales derivan lentamente con la circulación general del viento correspondiente a su latitud; es decir, que se mueven del este hacia el oeste con los vientos alisios y alrededor de la circulación anticiclónica oceánica en la cual están sumergidas. Ellas son menos frecuentes y de menor extensión que las depresiones extratropicales, no cuentan con anticiclones

(alta presión) asociados; ocurren en las épocas más calientes del año, mientras que las depresiones extratropicales se presentan en todas las estaciones; se generan solamente en los océanos, y cuando se mueven sobre tierra pierden fuerza rápidamente (Fig. 1).

En el centro de la tormenta (ojo) hay ligeras brisas y la proverbial calma. La presión barométrica desciende rápidamente hacia el centro, donde se han registrado valores muy bajos; la velocidad del viento, la humedad y la lluvia aumentan hacia el ojo, donde todas ellas descienden bruscamente. Si hay una fuerte corriente de aire hacia abajo en el ojo, la temperatura puede ser de 8 a 10°C más alta que en el cuerpo principal del huracán.

No todas las depresiones alcanzan lo que se conoce como intensidad de huracán, es decir, áreas apreciables con vientos del orden de 120 km/h. Las estadísticas existentes sobre depresiones incluyen todas las perturbaciones tropicales ya sean o no huracanes.



ESTADO DE DESARROLLO DE UNA DEPRESIÓN TROPICAL A HURACÁN



Fig. 1 Desarrollo de una depresión tropical a huracán

Aunque son características de los trópicos, no se han registrado en el ecuador, debido a la ausencia de la fuerza deflectora de Coriolis.

Tales tormentas tropicales no son comunes; el total de ellas en un año puede variar de 30 a 100, con un 25% cerca del sureste de Asia, 14%

en el Caribe y aguas adyacentes, y un 10% en el suroeste del Pacífico y aguas australianas. Ellas afectan en forma notable, aunque de manera espasmódica, a la circulación general de la atmósfera y transportan grandes cantidades de aire cálido y húmedo de bajas a latitudes medias. Se ha estimado que un huracán maduro puede exportar más de 3,500 millones de toneladas de aire por hora, lo que contribuye notablemente en la redistribución del aire dentro de la atmósfera. El desarrollo de un huracán involucra la liberación de enorme cantidad de energía, y la transferencia de cantidades sustanciales de agua a lo largo de muchos grados de latitud.

Existen ocho regiones de depresiones tropicales: una en el Atlántico norte, dos en el Pacífico norte, dos en la región de la India, uno en el Pacífico sur y dos en Océano Índico del sur, mientras que hay grandes áreas de los mares tropicales, notablemente el Atlántico sur y el Pacífico sur oriental que están totalmente libres de ellas. De todas éstas regiones el suroeste del Pacífico norte tiene por mucho el mayor número de ellas.

La segunda región en el Pacífico norte está cerca de la costa oeste de América Central, particularmente en México, que se caracteriza por depresiones poco frecuentes, de corta vida, y que se desarrollan en una región que se extiende desde el Golfo de Tehuantepec hasta las Islas de Revillagigedo.

El oeste del Atlántico norte y el Caribe son tal vez las regiones de depresiones mejor conocidas en el mundo, a pesar de ser superadas por el lejano oriente en frecuencia y tal vez en intensidad. La estadística parece indicar claramente que un gran número de huracanes de las Indias Occidentales se origina en la vecindad de las islas del Cabo Verde, cerca de la costa africana.

Un área secundaria de formación de estos huracanes es en el Caribe oriental, especialmente en la región de Jamaica - Nicaragua - Honduras siendo muy similares a los tifones del mar del sur de China en donde se mueven principalmente hacia el norte. El Océano Atlántico tiene una sola área de formación de huracanes, y no una separada oriental, como en el Pacífico, y lo más notable es que no hay huracanes en ningún lugar del Atlántico sur.

Origen y desarrollo de las depresiones tropicales

Los procesos que generan la formación de depresiones tropicales no están bien definidos, aunque se han presentado teorías aceptables. En vista de que las regiones de su formación están claramente establecidas, como se han citado anteriormente, deben existir ciertas peculiaridades en la circulación o en los procesos termodinámicos en esas regiones que están relacionadas con su desarrollo. Además de que todas ellas están caracterizadas por su alta temperatura, su alto contenido de vapor de agua y su inestabilidad térmica en las masas de aire, se puede identificar una notable característica: "para la mayoría de los océanos, la región de formación de las depresiones tropicales es el lugar de encuentro de los dos sistemas de vientos alisios", que tiene lugar a una distancia considerable al norte o sur del ecuador, presumiblemente mayor de 5° de latitud (556 kilómetros).

Con base en consideraciones elementales de la circulación general, es de esperar que los dos sistemas de vientos se encuentran en el ecuador, en la región conocida como de las "calmas ecuatoriales o doldrums". Sin embargo, según la estación, esta zona se extiende hasta más de 15° de latitud, hacia el norte, lo que ocurre en septiembre - octubre (verano) y febrero - marzo (invierno) hacia el sur. Todas las depresiones tropicales tienen en su centro una zona circular de vientos ligeros o calmas, denominadas el "ojo" de la tormenta, de aproximadamente 22 kilómetros de diámetro, aunque puede variar de 8 a 75 kilómetros en muchas tormentas. Dentro de los terribles vientos que soplan en la zona de tormenta, es increíble concebir la calma o vientos suaves dentro del ojo. Aunque no hay una explicación satisfactoria sobre la existencia del ojo, se considera que el mismo es causado por el efecto de "succión hacia abajo, en el centro, de vientos secos de altura".

Una depresión tropical ocurrirá probablemente cuando se presentan las siguientes condiciones: a) latitud superior a los 5° - 6° tanto norte como sur, para que sea apreciable la fuerza de rotación de la Tierra (Coriolis); b) una superficie cálida (al menos 27°C) en un área marina suficientemente grande como para proveer al aire sobre ella de grandes cantidades de vapor; y, c)

un intenso viento en altura que elimine el aire cálido y húmedo que asciende en el centro.

Los huracanes se forman de simples tormentas; sin embargo, estas tormentas pueden solamente crecer a fuerza de huracán con la cooperación del océano y de la atmósfera. El calor latente -energía que se requiere para pasar de agua a vapor- es la fuerza principal de energía en una depresión tropical, y es así que un influjo de aire seco puede reducir al huracán a una depresión mucho más lenta, es decir, a una depresión tropical

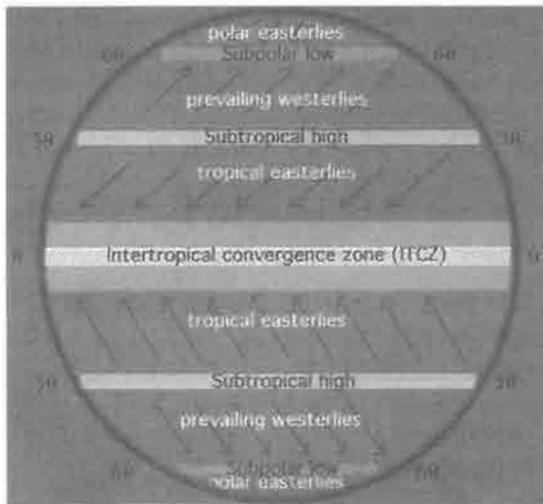


Fig. 2 Distribución de los vientos: la circulación global del viento en la superficie genera tres zonas de viento.

El tiempo de vida de una depresión tropical puede variar desde unas pocas horas hasta cerca de tres semanas; la mayoría dura de cinco a diez días. Todas ellas comienzan como depresiones tropicales sobre agua cálida, en un área de 200 a 400 kilómetros cuadrados.

Pueden permanecer en esta etapa formativa, casi amorfa, con un abultamiento, pero sin cerrar sus isobaras y con presión atmosférica arriba de 1000 milibares, durante varios días. Un número sustancial de depresiones tropicales nunca llega al estado de huracán.

El estado inmaduro de una tormenta tropical comienza cuando el viento aumenta de 65 a 87 kilómetros por hora, a vientos de fuerza de galerna de 89 a 118 kilómetros por hora (25 a 33 m/s), característico de tormentas desarrolladas,

donde los vientos siguen una trayectoria en forma de espiral que los lleva al centro u ojo. Los gradientes de presión y de los vientos son muy abruptos, algunas isobaras se cierran, la presión cae debajo de los 1,000 milibares (720 mm) y el diámetro decrece a 80-200 kilómetros. Muchas tormentas permanecen en este estado a través de toda su vida, aunque en algunos casos hay ráfagas de fuerza de huracán.

Muchos investigadores sostienen que el término ciclón tropical (huracán, tifón) debe ser reservado al estado maduro de intensas tormentas tropicales, aquellas donde la intensidad del viento supera los 118 kilómetros por hora (33 m/s) sobre un área de al menos 100 kilómetros de diámetro. Las isobaras son casi circulares al principio, y la presión cae bien debajo de los 1,000 milibares (720 mm) en el centro, pero los gradientes son menos abruptos. El tamaño del huracán, según lo definen sus isobaras cerradas, puede variar considerablemente, desde 100 a más de 2,000 kilómetros de diámetro en la superficie con un ojo de 20 a 100 kilómetros.

Un huracán maduro consume energía cinética a una tasa de 500 billones (10^{12}) de caballos de fuerza (HP), el equivalente a varias bombas atómicas por segundo. La ráfaga de viento más fuerte, registrada en 1966, fue de 316 kilómetros por hora; las lluvias más intensas de 1583 milímetros en 24 horas, en abril 1958 en Aurère, en una ladera de montaña en la Isla Reunión y 1168 milímetros en Baguio, Filipinas en 1911; la presión mas baja de 885 milibares fue registrada en el huracán Gilberto, en el Caribe, en 1988.

Los huracanes se clasifican de acuerdo con la velocidad del viento en la escala, Saffir - Simpson, que va desde la categoría 1 a 5, siendo esta última la más devastadora. La forma usual en que se anuncia una tormenta tropical es con una ancha banda de nubes cirrus (nubes horizontales hilachadas de gran altura) y pueden presentarse lluvias torrenciales, en una línea de costa, 500 a 600 kilómetros delante de la tormenta que se acerca. Las cirrus se reparten en todas direcciones, y un velo acuoso puede rodear al aire. Después de uno o dos días la tormenta aparece como un muro distante de nubes *cúmulus nimbus* (nubes oscuras de tamaño considerable y de desarrollo vertical) con las nubes del medio y las altas viajando en distintas

direcciones. Las nubes bajas, que pueden estar a una altura de 50 metros, tienden a agruparse, el aire se hace más fresco y comienza la lluvia. El viento se hace más violento y la lluvia más densa, con parches más fuertes justamente antes del ojo, en un radio de 20 a 50 kilómetros, hasta que un costado del muro de nubes pasa sobre el observador. Sigue un intervalo de 10 a 45 minutos de tiempo sin lluvias y con débiles vientos, seguido de las lluvias más intensas y ráfagas más violentas del lado opuesto, lo que ocurre debajo de la parte más abrupta y enorme del muro de nubes. En zonas costeras se agrega a la lluvia el salpicado de las olas que rompen. La lluvia decrece gradualmente, pero puede durar hasta dos o tres días, dependiendo de la cantidad de aire húmedo disponible.

Onda de tormenta

Los huracanes pueden causar inmensos daños, tanto por la acción directa del viento, así como indirectamente por las inundaciones provocadas por las lluvias y ondas de tormenta. La historia de las tormentas tropicales muestra que más de las tres cuartas partes de las pérdidas de vidas humanas es debida a inundaciones. La acumulación de agua por los vientos huracanados forma lo que se conoce como "onda de tormenta". En realidad es solamente en ciertos casos que la subida del agua se presenta en forma de una inesperada ola o una pared de agua, pero a menudo el ascenso del nivel del agua sucede tan rápidamente que hay poca oportunidad de escapar. Si esto coincide con mareas extraordinarias como son las equinocciales -cuando la Luna y el Sol están alineados y cruzan el ecuador celeste, estando por lo tanto más cerca de la Tierra-, las condiciones se agravan considerablemente.

La configuración del fondo y de los costados de golfos y bahías tienen un efecto considerable en el desarrollo de la onda de tormenta. La Bahía de Bengala en el Índico, parece ser la peor en este sentido; su estrechamiento en la parte norte, y cierta configuración de su relieve submarino favorecen la formación de excepcionales ondas de tormenta. Una tormenta memorable en la desembocadura del río Ganges, en 1876, inundó las zonas bajas hasta una altura de 3 a 13 metros y costó la vida a 100,000 personas por ahogo, y otro tanto por enfermedades. Lo que puede ser considerado como el mayor

desastre ambiental en la historia de los EUA sucedió en la isla de Galveston, Texas, el 6 de septiembre de 1900, con un daño principal producido por inundación. Ubicada en una de las cadenas de islas frente a la costa de Texas, Galveston es muy vulnerable a la acción de las olas de resaca o de fondo que acompañan a los huracanes del este-sureste. Este huracán se aproximó a Galveston desde esa dirección, y la acumulación de agua fue favorecida por la configuración peculiar de la Bahía de Galveston. El mar barrió la ciudad entera con la estela de vientos de violencia de huracán. La pérdida de vidas humanas superó a 6,000 y los daños materiales excedieron los 20 millones de dólares. Después de esto se construyó un muro para proteger a la ciudad.

Los daños en el litoral caribeño mexicano, causados por el huracán Gilberto, en 1988, involucraron olas que alcanzaron una altura de 6.36 metros. Los lagos son afectados en forma similar que el mar en periodos más cortos, pero debido a sus dimensiones más pequeñas pueden generar oscilaciones como la notable de 5.5 metros que sufrió el Lago Okeechobee, en Florida, en 1926.

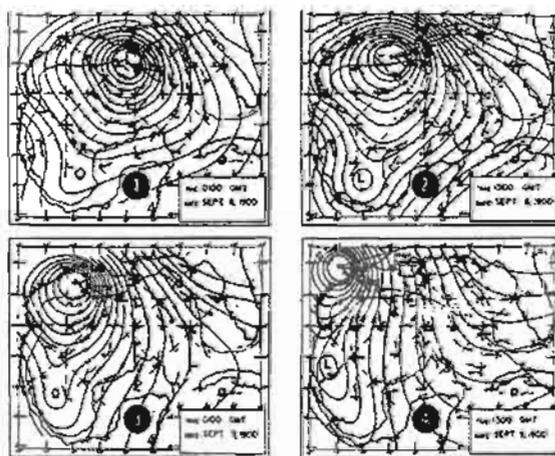


Fig. 3 Cartas sinópticas del tiempo mostrando las isobaras de la presión atmosférica al nivel del mar del huracán del 8-9 de septiembre de 1900 que destruyó la Ciudad de Galveston, Texas y donde se ahogaron 6000-7000 personas.

Un aspecto algo ignorado o tal vez poco divulgado es el daño que los huracanes causan a los buques en el mar. Existen descripciones bastante detalladas de cómo numerosos buques han lidiado con estos desafíos en el océano, particularmente con los tifones en el Pacífico occidental. El más notable de ellos es el relacionado con el tifón que debió soportar la Tercera Flota de los EUA al este de las Islas Filipinas, en diciembre de 1994, que produjo más daño a la marina de guerra norteamericana que todos los encuentros navales sufridos durante la Segunda Guerra Mundial. El 18 de diciembre de 1944 los buques de esa poderosa flota que estaban operando en apoyo de la invasión de las Islas Filipinas, alrededor de 500 kilómetros al este de Luzón, fueron sorprendidos cerca del centro de un tifón de extrema violencia. Tres destructores, el Hull, Monaghan y Spence se hundieron en vuelta de campana, es decir, giraron hasta que se dieron vuelta (180°) con prácticamente toda su tripulación; los portaaviones Miami, Monterey, Cowpens y San Jacinto; así como varios buques más, sufrieron daños fuertes mientras que otros 19 buques resultaron con daños menores. Se produjeron incendios en tres portaaviones cuando los aviones se desprendieron en sus hangares y, 146 aviones en varios buques, se perdieron o dañaron sin poder ser recuperados. Alrededor de 790 oficiales y tripulantes murieron y 80 resultaron lesionados. Algunos destructores indicaron haber tenido un giro de más de 70° y es fácil imaginar cuán cerca estuvieron de dar la vuelta de campana.

Independiente de estos daños materiales y de vidas humanas, se planteó un interesante problema de conducción naval: esos buques no tuvieron completa libertad de acción para enfrentar a ese meteoro, por estar subordinados a una operación militar importante, como era la de proteger el desembarco de tropas que iniciaba la recuperación de esas islas, entonces en poder de las fuerzas japonesas. Este interesante problema se ilustra en una película que se proyectó en la década de 1950 titulada *El Motín del Caine*.

Huracanes en el Golfo de México y en el Pacífico mexicano

Un examen de las trayectorias de los ciclones tropicales muestra que no hay zona costera de México que esté libre de la amenaza de las

depresiones tropicales, que en muchos casos llegan a la intensidad de huracán. En el Golfo de México y en el Pacífico, el litoral del país está vulnerable a los efectos de las tormentas tropicales, aunque su comportamiento en ambos litorales es algo diferente. Las depresiones que se generan en el sureste de México, específicamente en el Banco de Campeche, se dirigen generalmente hacia el norte, mientras que las del Caribe viajan hacia el oeste hasta tocar las costas de América Central o las de la Península de Yucatán. Cuando la atraviesan se disipan, pero no lo suficiente para quedar anulados, debido a lo angosto de la península, de modo que al llegar al Golfo de México encuentran nuevamente el agua cálida que los realimenta, recuperan su furia y continúan su obra destructora.

En un estudio sobre la actividad de las depresiones en el Atlántico norte, durante la primera mitad del siglo pasado, algunos investigadores han encontrado que más del 78% de las ocurridas en el Golfo de México tuvieron lugar a partir de 1932, y sólo 36% ha alcanzado la fuerza de huracán; la duración de estas depresiones ha sido de 4.4 días y la de los huracanes de 2.2 días. La forma cerrada del Golfo, condiciona su corta duración y baja frecuencia, ya que las tormentas se encuentran en poco tiempo con tierra y se disipan. La Península de Yucatán es el área más afectada por las depresiones y, del total mencionado anteriormente, 46% afectó a la península. En las dos últimas décadas se ha incrementado la frecuencia e intensidad de los huracanes en esta región; se deben destacar el Gilberto en 1988 y el Mitch en 1998, en septiembre y octubre respectivamente.

El primero comenzó como una onda tropical en el noroeste de la costa africana y se movió hacia el oeste en pleno Atlántico; durante los siguientes días se formó una amplia banda de baja presión. La circulación del viento se extendió casi hasta el ecuador. El sistema continuó sin mostrar signos de organización hasta que se aproximó a las Islas de Barlovento, en las Indias Occidentales, el 8 de septiembre. El 9, esta onda fue clasificada como depresión tropical de la estación de huracanes de 1998, cuando estaba a 650 kilómetros de las Islas Barbados. La depresión se desplazó hacia el oeste noroeste a una velocidad de alrededor de 15 nudos, y el 9 de septiembre evolucionó rápidamente, siendo calificada como huracán el día

10. Gilberto continuó en esa trayectoria como huracán 3 y pasó sobre la isla de Jamaica, donde se intensificó rápidamente con vientos de casi 200 km/h y una presión que bajó de 960 hasta 885 milibares en 24 horas. Esta presión, medida por un avión Cazador de Huracanes, es la más baja registrada en el Hemisferio Occidental. Durante este periodo, Gilberto continuó su curso oeste-noroeste bajo la influencia de una alta presión en el norte. El 14 de septiembre cruzó la parte noreste de la Península de Yucatán, con una calificación de huracán 5, recalando de esta forma en el hemisferio occidental, -el primero desde Camila en 1969- perdiendo rápidamente energía al cruzar la península, y con la presión en el ojo aumentando a 950 milibares. Gilberto continuó con ese mismo rumbo, viajando a 15 nudos (28 km/h) a través del Golfo de México; golpeó la costa de México alrededor de las 16:00 horas del 16 de septiembre con categoría 3, cerca de la villa La Pesca, para continuar al sur de Monterrey; el 17 siguió hacia el norte a través del oeste de Texas y de Oklahoma, como tormenta con fuerte lluvia el 18, para unirse finalmente con un sistema frontal de baja presión en desarrollo, el 19 de septiembre.

Las estadísticas meteorológicas de este huracán son las siguientes: además de haber registrado la presión más baja en el hemisferio, la onda de tormenta (subida del nivel del mar) ocurrió probablemente en la costa de la Península de Yucatán (Puerto Morelos) con un registro de 5 a 7 metros y en la costa este de la península de 3 a 5 metros. Al menos se generaron 39 tornados a través del sur de Texas. El impacto socioeconómico fue de 318 muertos, en su mayoría en México, y el costo de los daños cerca de diez mil millones de dólares, con un valor estimado en México entre mil y dos mil millones de dólares. El mayor daño en los EUA fue causado por los tornados. La erosión costera en México fue considerable. El huracán Mitch fue también calificado con fuerza 5 y vientos de cerca de 290 kilómetros por hora (80 m/s). Los daños a la salud en términos de muertes y enfermedades en América Central, particularmente en Honduras, fueron enormes, así como la erosión costera.

Las trayectorias de los huracanes en el Pacífico mexicano, muestran que estas perturbaciones permanecen en el mar, siguiendo recorridos más o menos paralelos a las costas, y sólo

un reducido porcentaje gira para entrar a tierra, donde causan enormes destrozos, como ocurrió en el Puerto de Manzanillo, en octubre de 1959, cuando murieron más de mil personas, y el Tara, del 10 de noviembre 1961, que entró al oeste de Acapulco causando inundaciones en la región de Tecpan; la población de Nuxco fue materialmente sepultada por la avalancha de material de acarreo y se produjeron daños viales en las cercanías.

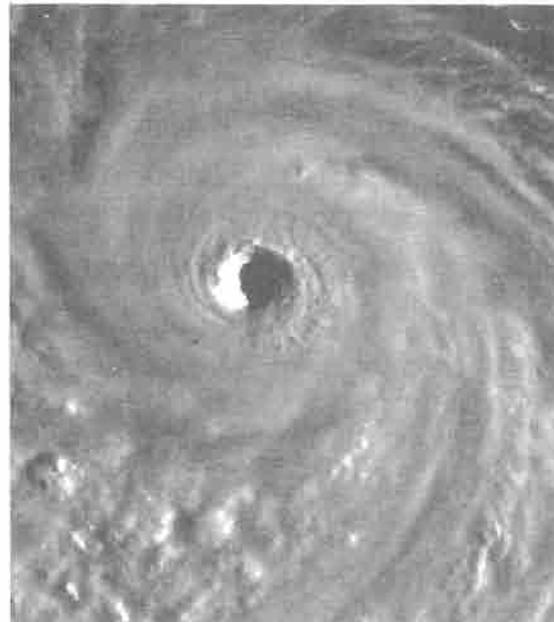


Fig. 4 Huracán: un ciclón tropical con vientos superiores a 64 nudos (32 m/s).

La tormenta perfecta

Un caso muy interesante y nada frecuente es el fenómeno que tuvo lugar a fines de 1991 en el Atlántico occidental, presentándose como una combinación de una depresión extratropical y una tropical, es decir una combinación de dos tormentas en una que, además, generó una situación meteorológica poco usual, ya que un huracán se formó en el medio de una tormenta no tropical. Por esta rara combinación fue denominada la Tormenta Perfecta y motivó la publicación de un libro y un filme cinematográfico. Su historia es la siguiente:

Una gran y muy poderosa depresión extratropical azotó al litoral del Atlántico noroeste, desde Nueva Inglaterra hasta Florida, en los últimos días de octubre 1991. La tormenta fue tan

severa que se bautizó como la Tormenta del Día de Brujas por el Servicio Meteorológico Nacional de los EUA; entre sus cuantiosos daños provocó el hundimiento del buque pesquero Andrea Gail con toda su tripulación. Simultáneamente, mucho más al sur y sobre las aguas del Atlántico, se encontraba el huracán Grace. El desplazamiento de ambas depresiones los llevaba a un rumbo de encuentro, lo que se produjo el 30 de octubre en pleno mar. La tormenta extratropical ya debilitada recibe una gran dosis de energía y humedad a través de Grace y con ello alcanzó su máxima intensidad. Este sistema no tropical continuó en una dirección atípica hacia el oeste, con vientos sostenidos de 115 km/h y una altura de las olas entre 27 y 33 metros, y realizó su aproximación más cercana a la costa de EUA a menos de 350 kilómetros del Cabo Cod, Massachusetts. El 31 de octubre la tormenta se debilitó, pero continuó manteniendo sus características; en ese momento parte de ella se encontraba sobre las aguas de la Corriente del Golfo, con temperaturas cercanas a los 26°C. Esta nueva provisión de energía y de humedad transforma a esta depresión no tropical en una tropical, que rápidamente se convirtió en huracán, moviéndose hacia el norte, cerca del área donde había nacido la depresión no tropical. El sistema se acercó a la costa canadiense de Nueva Escocia y antes de tocar tierra se disipó.

Este huracán no fue bautizado con ningún nombre debido a que en esos días la atención pública estaba concentrada en el extenso daño causado por la tormenta del Día de Brujas desde Maine hasta Florida, y que el nuevo huracán sería de corta vida y de interés sólo para la navegación, de modo que no convenía alarmar nuevamente al público. Este caso muestra como las depresiones extratropicales, tal como la del Día de Brujas, que cubren áreas más grandes que la de los huracanes absorben la energía y humedad de estos últimos, con consecuencias desastrosas, como sucedió con el Huracán Hazel en octubre de 1954, que primeramente azotó a las Carolinas como huracán de fuerza 4, y que al combinarse con un centro de baja presión, se convirtió en una monstruosa

tormenta extratropical que devastó Toronto, Canadá, causando 76 muertos.

Estado actual del conocimiento

Los meteorólogos y el público confían en los aviones cazadores de huracanes para conocer más sobre ellos. Estos aviones están equipados con instrumentos meteorológicos que penetran en esas poderosas tormentas operando durante más de 11 horas en el aire.

A pesar de los avances logrados con las imágenes de los satélites meteorológicos y de los aviones cazadores de huracanes, no es posible predecir con cierto grado de certeza la trayectoria de estos fenómenos, particularmente cuando se acercan a tierra firme.

Expertos en huracanes tropicales pronostican huracanes más intensos. Esta predicción está basada en una correlación entre la lluvia en el oeste de Sahel en África y la presencia de huracanes en el Atlántico. Cuando la lluvia en esta región es abundante, se desarrollan huracanes más violentos en el Atlántico, que llegan al continente americano. Esta investigación sugiere que el periodo de calma actual está terminando o bien que el de violentos huracanes está por comenzar o ya ha comenzado. El potencial para generar daños es mayor, no solamente por el aumento de intensidad de las tormentas, sino también porque hay aumento de población y más desarrollos urbanos. La conexión entre la lluvia en el oeste de África y la frecuencia e intensidad de huracanes, va más allá de la estadística y tiene sus fundamentos en relaciones físicas. Ha llegado el momento de tomar las cosas nuevamente con seriedad.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Heavy Weather Guide*, 1965- United States Naval Institute, Annapolis, Maryland, 1965.
2. R.H. Simpson, *Scientific American*, vol. 190, núm. 6, 1954.
3. Tannehill, I., *Hurricanes*, Princeton University Press, 1956.
4. J. Malkus, The Origin of Hurricanes, *Scientific American*, vol. 197, núm. 2, 1957.