

# Los ciclones tropicales en el X aniversario del Gilbert

MICHEL ROSENGAUS M.

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA  
DEL AGUA (IMTA)

Supervisado por MAYTE PISERRA - MAPFRE RE

Una peculiaridad de los ciclones tropicales en comparación a otros fenómenos naturales destructivos, es que su identificación y localización temprana permiten tomar las medidas pertinentes que mitiguen el peligro a la población y, en lo posible, a sus bienes y medios de producción. Las acciones llevadas a cabo por la sociedad, son el resultado de miles de microdecisiones tomadas por una gran cantidad de personas dentro y fuera de la zona a ser afectada, por lo que los conocimientos fundamentales sobre el fenómeno deben ser ampliamente difundidos. La Fundación MAPFRE, una vez más, ha brindado la ocasión a través de sus Ayudas a la Investigación, de elaborar un manual titulado «Efectos destructivos de Ciclones Tropicales» dirigido a todos los agentes de protección en el más amplio sentido del término.

El presente artículo resume los principales conceptos que maneja el manual cuya publicación coincide con el décimo aniversario del huracán Gilbert, que tuvo especial impacto en Jamaica y México en 1988.

## El fenómeno físico

Los ciclones tropicales son fenómenos de intensa circulación de vientos alrededor de centros de baja presión en la atmósfera. En el Hemisferio Norte del planeta, y observando desde el espacio, el viento gira alrededor de los centros de baja presión en sentido opuesto al de la agujas del reloj. Se pueden concebir como un enorme motor termodinámico que convierte la energía térmica de la superficie del mar en energía de movimiento del aire, dotados de una enorme chimenea que comunica la parte baja y la parte alta de la atmósfera.

Dado que los ciclones tropicales se alimentan de energía de la superficie marina, la época en la que se forman es aquella en la que la temperatura de la superficie del mar es mayor de unos 26°C. Específicamente para América del Norte, Centroamérica y el Caribe estas condiciones se dan aproximadamente entre mayo y noviembre de cada año en una franja entre las latitudes 5°N y 20°N. Puesto que en estas latitudes el flujo dominante de vientos es de Este hacia Oeste, los ciclones tropicales se

(La publicación del manual titulado «Efectos Destructivos de Ciclones Tropicales» ha sido patrocinada por ITSEMAP STM, entidad filial de MAPFRE RE).

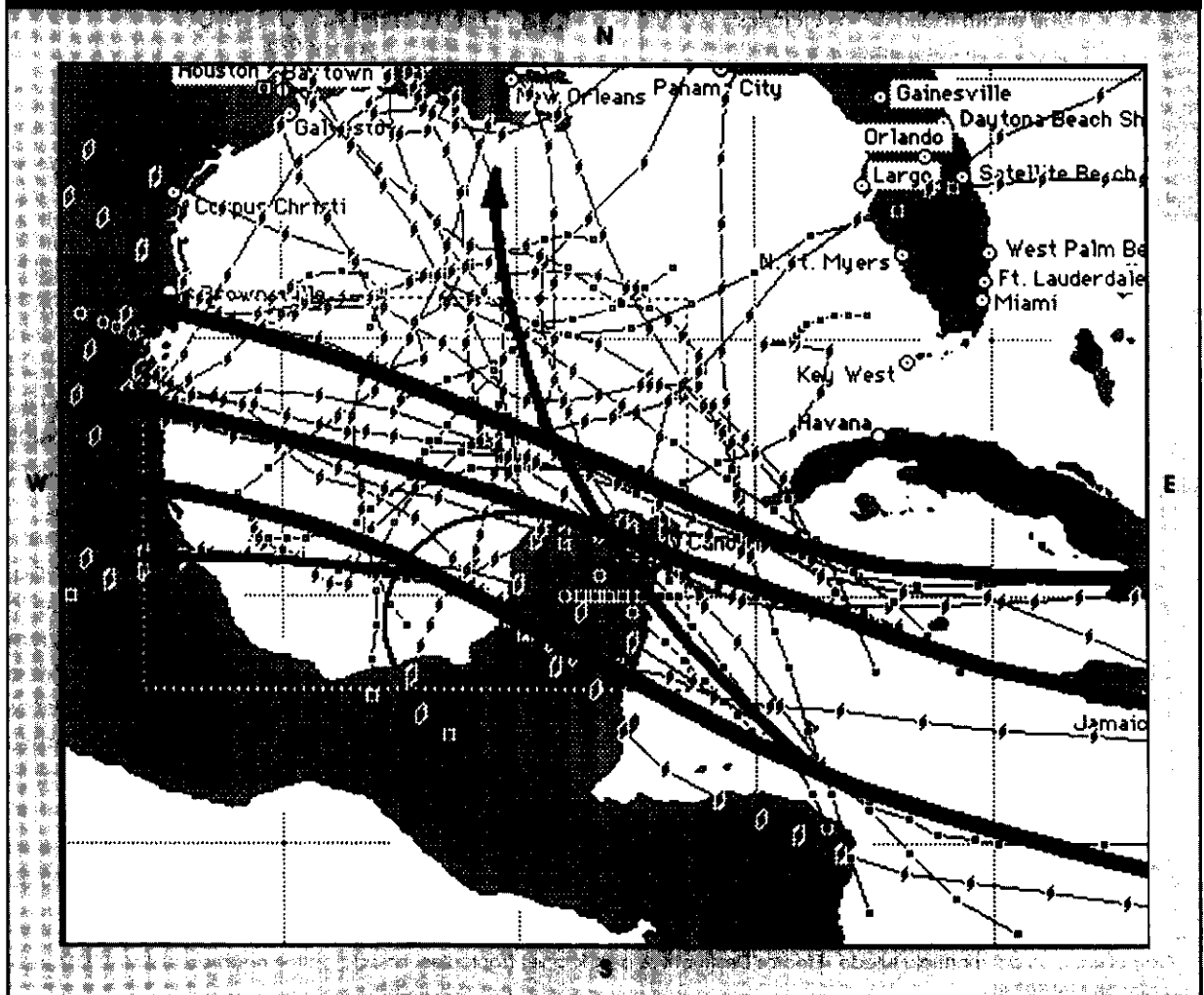
## ANÁLISIS

mueven en trayectorias típicamente hacia el WNW. Una vez maduros, los ciclones tropicales pueden sobrevivir durante días aún a latitudes mayores y con temperaturas algo menores de la superficie del mar. Al entrar a latitudes mayores es común que recurvan dirigiéndose al NW, NNW, N e inclusive NNE y NE (ver figura 1) aumentando su velocidad de translación. Antes de recurrar, las velocidades de translación del fenómeno como un todo se encuentran entre unos 10 y 40 km/h aunque, ocasio-

nalmente, llegan a detenerse y permanecer en un mismo sitio por un cierto lapso de tiempo. Cuando un ciclón tropical entra a tierra, pierde el contacto con su sustento energético e inicia un proceso de debilitamiento, pudiendo ser muy acelerado en zonas de orografía abrupta.

Los huracanes son más intensos conforme más baja sea la presión atmosférica en su centro. El llamado **ojo del huracán** es una zona con vientos relativamente menores y en ocasiones

Figura 1. Trayectorias típicas de ciclones tropicales en el Caribe y Golfo de México.



Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo a su intensidad media a través de sus vientos máximos sostenidos:

Depresión tropical ( $V_{m\acute{a}x} < 60$  km/h)

Tormenta tropical ( $60 \leq V_{m\acute{a}x} < 120$  km/h)

Huracán ( $120$  km/h  $\leq V_{m\acute{a}x}$ )

Dentro de los huracanes de acuerdo a la escala de Saffir-Simpson:

Huracán categoría I ( $120 \leq V_{m\acute{a}x} < 153$  km/h)

Huracán categoría II ( $153 \leq V_{m\acute{a}x} < 177$  km/h)

Huracán categoría III ( $177 \leq V_{m\acute{a}x} < 209$  km/h)

Huracán categoría IV ( $209 \leq V_{m\acute{a}x} < 250$  km/h)

Huracán categoría V ( $250 \leq V_{m\acute{a}x}$ )

Símbolos: < menor que  
> mayor que  
- igual que

sin cobertura nubosa que se encuentra en la vecindad del centro de giro y es en el borde de éste (la llamada **pared del ojo**) donde ocurre el flujo ascendente. El diámetro del ojo se encuentra típicamente entre 10 y 100 km, tendiendo a ser más pequeño en los ciclones más intensos. La nomenclatura que aparece en el cuadro anterior corresponde a la utilizada en América y el Caribe, ya que en el Pacífico occidental se utiliza el vocablo **tifón** para denominar exactamente al mismo fenómeno.

Desde el punto de vista de protección civil, la tarea más importante en el contexto de ciclones tropicales es el pronóstico de la trayectoria del mismo que desafortunadamente, es todavía una ciencia o arte imperfecto. Los pronósticos con unas cuantas horas de horizonte al futuro tienen relativamente poca incertidumbre, pero aquellos a 72 horas, horizonte máximo al que los especialistas se atreven a pronosticar, tienen muchos cientos de kilómetros de error posible. Los centros de pronóstico de ciclones tropicales en el mundo utilizan un juego de diferentes herramientas objetivas para pronosticar la trayectoria, que van desde la simple extrapolación hasta la solución aproximada de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que gobiernan al fenómeno en supercomputadoras. Paradójicamente, el **pronóstico oficial** de estos centros es una com-

binación subjetiva de estos resultados realizada por meteorólogos especialistas, y que resulta, estadísticamente, mejor que cualquiera de las herramientas objetivas en forma individual. El pronóstico de la **intensificación** (o debilitamiento) de un ciclón tropical tiene incertidumbres muchos mayores al de la trayectoria. Resulta muy importante recordar que el pronóstico de la trayectoria se refiere a la posición futura del centro de giro del ciclón, pero que de ninguna manera este fenómeno es puntual; de hecho, la zona de peligro puede cubrir cientos de kilómetros alrededor de dicho centro de giro.

Los ciclones tropicales representan peligro y producen daños a la sociedad a través de cuatro manifestaciones o efectos destructivos principales: el viento, el oleaje, la marea de tormenta y la precipitación pluvial. Todos ellos se encuentran de alguna manera enlazados, ya sea porque:

- uno es el generador de otro (viento que genera al oleaje y la marea de tormenta),
- unos retroalimentan a otros (el oleaje bate el mar y reduce eventualmente la temperatura de la superficie del mar),
- se presentan combinados en una cierta zona (oleaje y marea de tormenta sobre la costa), y/o

- forman parte intrínseca del mecanismo de operación del ciclón (viento convergente y condensación de la humedad del aire a lluvia).

Sin embargo, en el ámbito de prevención de desastres, es conveniente considerarlos por separado, por lo que a continuación se describen brevemente sus principales características.

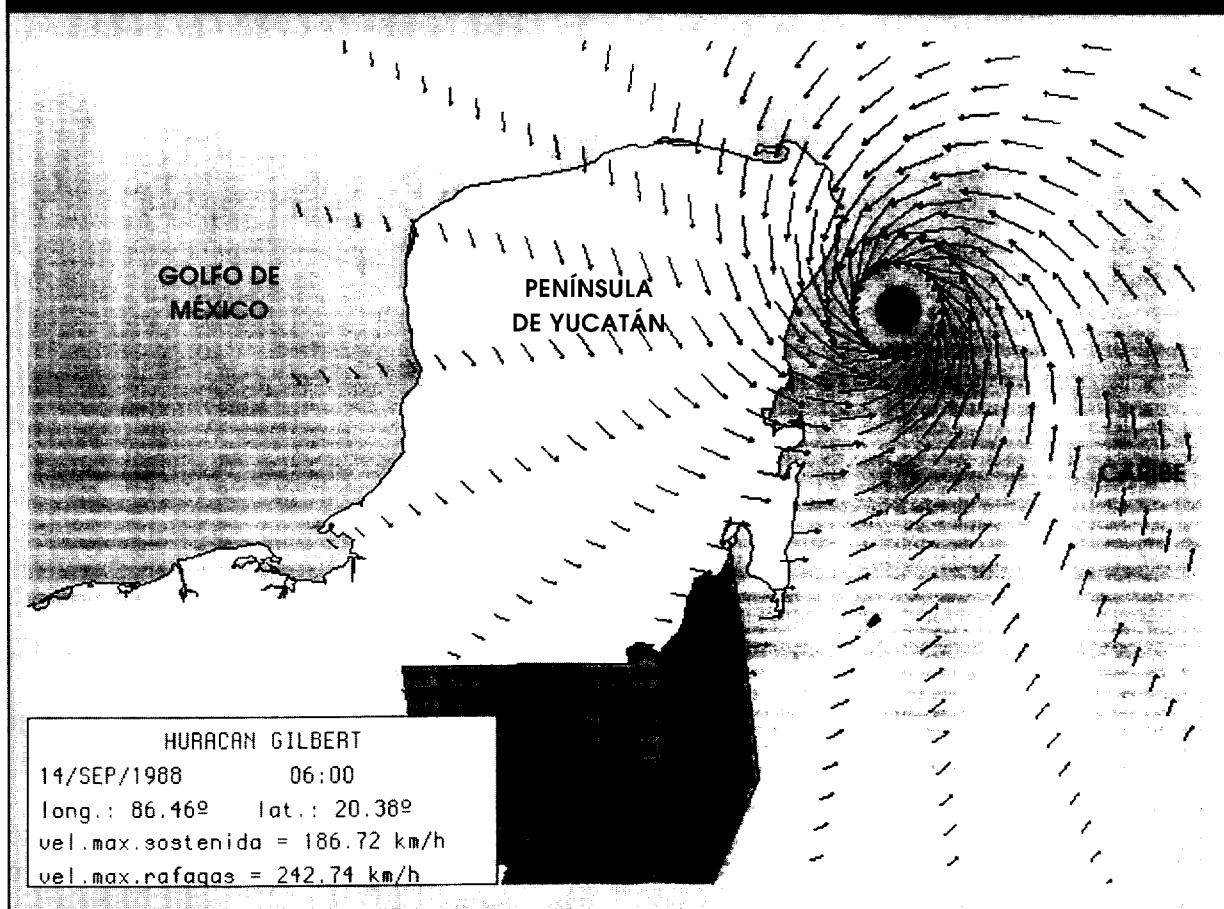
## El viento

El campo de vientos alrededor del centro de giro de un ciclón tropical que más interesa en este contexto es el que se genera cerca de la superficie del mar o del terreno y en términos generales, se puede definir por un campo de

vectores como el que se muestra en el **figura 2**. La extensión de vientos que suponen cierto peligro, esto es, más de 50 km/h, puede alcanzar cientos de kilómetros alrededor del centro de giro.

Al trasladarse el ciclón como un todo, este campo de vientos que lo acompaña lo hace también. La máxima intensidad de vientos se produce en el borde del ojo del ciclón, disminuyendo rápidamente dentro de él hasta ser nulos precisamente sobre el centro de giro. Esto produce que en los sitios que se encuentran sobre **la huella del ojo del ciclón** los vientos crecen paulatinamente al acercarse hasta alcanzar un máximo cuando el borde del ojo alcanza la zona y luego decrecen abrupta-

Figura 2. Campo de vientos en superficie (estimado) para el huracán Gilbert antes de entrar a la Península de Yucatán



mente mientras pasa el ojo, situación que produce cierta confusión entre la población y que puede durar desde algunos minutos hasta un par de horas. Al pasar el borde posterior del ojo se vuelven a incrementar abruptamente hasta valores muy similares a los del borde anterior del ojo, pero de dirección opuesta, y a partir de ese momento decrecen paulatinamente al alejarse el ciclón. Por ello, no hay que confundir la dirección de la que proviene el ciclón con la dirección de los vientos.

Algunas de las características más interesantes de los vientos correspondientes a un ciclón tropical son:

- **las máximas velocidades de viento se concentran en las zonas relativamente bajas de la atmósfera**, unos mil metros de altura, concentrándose una alta destructividad precisamente en la zona donde más afecta al hombre,
  - su intensificación no se manifiesta necesariamente en la periferia del fenómeno, sino que **se concentra en su núcleo (figura 6)**,
  - los vientos más fuertes se concentran **en el borde derecho del ojo**, siempre para el hemisferio norte desde el origen de la trayectoria, al sumarse en esta zona la velocidad de giro y la velocidad de translación del fenómeno.

## El oleaje

El intenso viento que reina sobre la superficie del mar en la vecindad de un ciclón tropical genera oleaje de gran peligrosidad y aún ciclones relativamente modestos pueden generar en su parte más crítica olas de 10 metros de altura. En aguas profundas el oleaje se genera al transferirse paulatinamente energía del viento al agua, inicialmente a través de pulsos de presión que hacen irregular a la superficie y posteriormente por arrastre del viento sobre estas irregularidades.

Las características de las olas (altura, longitud, velocidad de avance) no dependen exclusivamente de la **velocidad del viento** que

actúa sobre la superficie, sino también del **lapso de tiempo** y de las **dimensiones de la zona** sobre la que este viento ha podido actuar. Una ráfaga de viento muy intenso no genera olas grandes; se requiere tiempo y distancia de acción para que éstas vayan evolucionando. Sólo cuando el viento de una velocidad dada ha tenido suficiente tiempo sobre un recorrido adecuado para actuar, se alcanza el llamado estado completamente desarrollado del oleaje. Por ejemplo: un viento de 50 km/h puede llegar a generar olas de hasta 8 metros de altura, pero para ello requiere actuar sobre una distancia de más de 500 km y por un lapso bastante mayor a 24 horas. Si actúa sobre una distancia de tan sólo 100 km por un tiempo infinito, generará olas de tan sólo 2.9 metros de altura, mientras que si actúa durante tan sólo 6 horas sobre una distancia infinita, logrará olas de sólo 2,5 metros. Ésta es una de las razones por las que las olas generadas por ciclones tropicales no son necesariamente las más grandes que la naturaleza puede producir. Por un lado el campo de vientos es curvo y por otro, en general no permanece estático sobre la misma zona del mar. Por supuesto las olas más grandes se presentarán en dicho lado derecho pero en la zona de máximos vientos, o sea cerca del borde del ojo.

Al acercarse el campo de oleaje a tierra, interacciona con el fondo y la configuración de la costa, presentándose fenómenos que hacen difícil la descripción genérica del oleaje en aguas poco profundas. Se subraya que las olas no pueden sobrevivir con alturas mayores al 80% de la profundidad del agua sobre la que corren, pues de inmediato empiezan a romper y a disipar mucha de su energía de esta manera. Así, antes de que las enormes olas que genera un ciclón en altamar alcancen la costa, ya habrán roto varias veces y con ello reducido su poder destructivo. Es importante mencionar que las configuraciones costeras tipo **promontorio** tienden a concentrar la energía del oleaje mientras que las configuraciones tipo

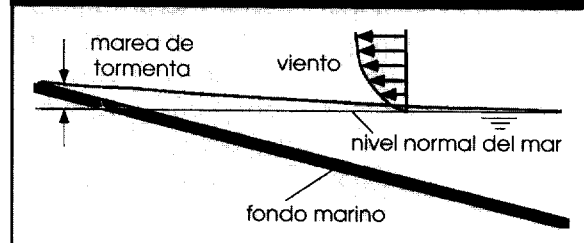
bahía tienden a dispersarla. Las pérdidas por fricción en el fondo, al correr sobre extensas **plataformas continentales** antes de llegar al litoral, también reducen sensiblemente la altura de las olas que llegan a tierra.

## La marea de tormenta

El nivel del mar no es constante. Las fuerzas gravitacionales que los astros, principalmente la Luna y el Sol, ejercen sobre la capa líquida de la Tierra, hacen que, de forma cíclica, el agua se acumule más en ciertas partes que en otras. Pero las fuerzas astronómicas no son las únicas que afectan la distribución del nivel del mar. Las fuerzas de (baja de) presión al centro de un ciclón, las fuerzas del viento e inclusive la fuerza de Coriolis (fuerza aparente inducida por el giro de la Tierra sobre su propio eje), también afectan dicho nivel. El déficit de presión atmosférica al centro de un ciclón produce una **fuerza de succión** sobre la superficie del mar que genera una **sobreelevación** del mismo bajo el centro de giro, la cual se traslada con dicho centro de giro y se desvanece al aumentar la distancia radial a éste. Los vientos que soplan sobre la superficie del mar hacia la costa provocan un desbalance de fuerzas que es equilibrado por una sobreelevación del mar directamente sobre el litoral (**ver figura 3**). Incluso las corrientes marinas a lo largo de la costa son afectadas por la fuerza de Coriolis y tienden a desviarse hacia su derecha (en el hemisferio norte), lo que también provoca un ligero cambio en el nivel del mar sobre el litoral.

La superposición de estos efectos produce una variación del nivel del mar, en ocasiones sobreelevación y en ocasiones subelevation, adicional a la de la marea astronómica. Es común que la llamada **marea de tormenta** o *storm surge*, bajo las condiciones de un ciclón tropical intenso, pueda alcanzar magnitudes mucho mayores que la marea astronómica. Un caso récord fue el del huracán Camille en 1969

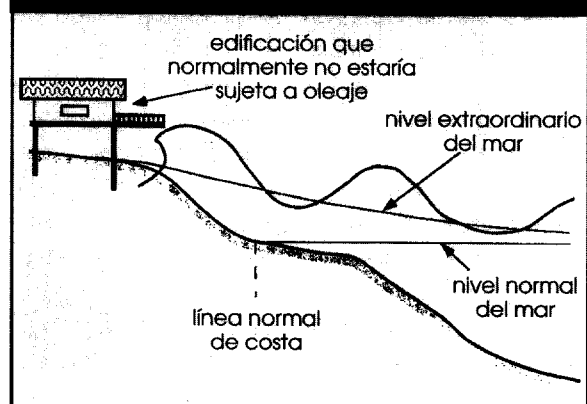
**Figura 3. Efecto del esfuerzo cortante del viento sobre la superficie del mar produciendo una sobreelevación en la costa.**



que, en Pass Christian, Mississippi, EE.UU., produjo una sobreelevación del nivel del mar que alcanzó los 8 metros de altura. El peligro de esta marea de tormenta es doble: por un lado produce **inundaciones súbitas** a lo largo de una franja costera vecina al punto de incidencia del ciclón sobre tierra y por otro, permite que estructuras que normalmente se encontrarían fuera del alcance del oleaje sean afectadas por él (**ver figura 4**).

La marea de tormenta se magnifica en zonas de aguas bajas (con plataforma continental muy extensa) y en configuraciones del litoral que impiden el libre flujo de las corrientes generadas por el viento, por ejemplo zonas cóncavas como bahías. Paradójicamente, aunque la marea de tormenta es la principal causante

**Figura 4. Diagrama que muestra oleaje sobre un nivel extraordinario del mar.**



de víctimas mortales a nivel mundial, es el más desconocida en cuanto a los efectos destructivos en países como México, probablemente porque nunca se identifica en forma separada al oleaje. La percepción es que el oleaje de tormenta avanza cada vez más tierra adentro, sin plena identificación de que se trata de olas montadas sobre un nivel del mar extraordinario.

## La precipitación pluvial

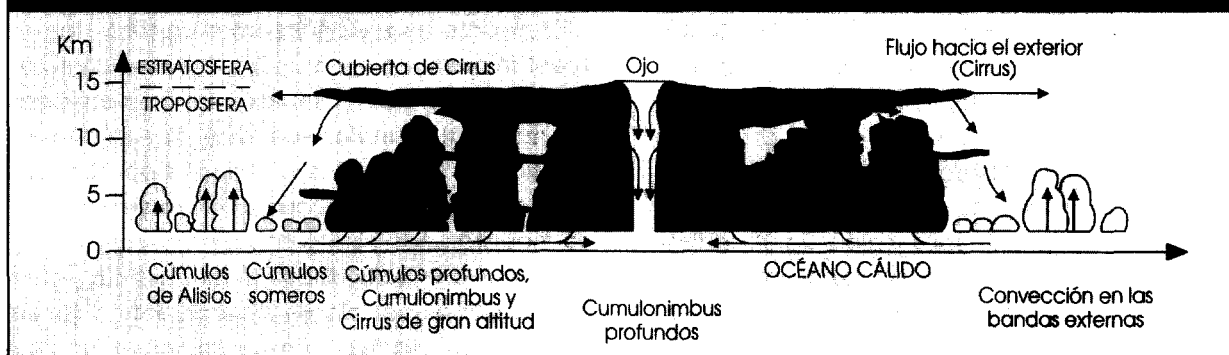
En contraste con la marea de tormenta, la precipitación pluvial intensa generada por los ciclones tropicales es el efecto destructivo más conocido por sus consecuentes desbordamientos, inundaciones, deslaves, cortes de vías de comunicación, etc. De hecho, en países como México con un desarrollo costero todavía incipiente, éste es el efecto responsable de los mayores daños, ya que puede tener una gran penetración tierra adentro. Un ciclón tropical puede producir en extensas zonas a su alrededor, láminas de lluvia acumuladas de más de 100 mm o precipitación de 100 litros de agua por cada m<sup>2</sup> del terreno. Puntualmente se pueden dar acumulaciones de 250 y hasta 400 mm de lluvia en lapsos de tiempo que van desde unas cuantas horas hasta un par de días. Las lluvias más intensas de un ciclón tropical se dan directamente bajo la pared del ojo, donde se encuentra un anillo ininterrumpido de

tormentas de gran desarrollo vertical, ver el corte diametral de la **figura 5**. Sin embargo, sobre las tradicionales espirales nubosas de un ciclón tropical se encuentran embebidas centenares de tormentas convectivas de gran potencia que se pueden extender a cientos de kilómetros del centro de giro del ciclón. Las barreras montañosas, al operar como rampas de ascenso del aire marítimo cálido y húmedo, en las zonas e instantes en las que el campo de viento sopla de mar hacia tierra, magnifican el efecto convectivo y con ello la precipitación pluvial.

## Vulnerabilidad

Los daños ocurridos tras el paso completo de un ciclón están tan gobernados por la vulnerabilidad de las estructuras o actividades humana al efecto destructivo, como por la magnitud del mismo. De esta manera, la distribución geográfica de daños resulta de la intersección de los mapas de magnitud de los efectos destructivos y de los mapas de vulnerabilidad a ellos. Naturalmente, la densidad de población y el tipo de actividad humana pueden magnificar dicha vulnerabilidad, pero hay muchos otros que intervienen: la cercanía al litoral, el tipo de construcción, el grado de pobreza, la

**Figura 5. Perfil diametral de la estructura nubosa de un ciclón tropical (las flechas indican componentes de flujo de viento en dicho plano)**



cercanía a cañadas, arroyos o ríos, las condiciones orográficas, la configuración del litoral, la batimetría frente a la costa, etc. El resultado final de esta compleja combinación de factores es que, aunque se cuente actualmente con una cierta capacidad de pronóstico de trayectoria e intensidad, así como con la magnitud de los efectos destructivos que se presentarán, el pronóstico de los daños (o peligros específicos) tiene un alto grado de incertidumbre.

## Vulnerabilidad al viento

Es importante enfatizar que, definitivamente, la zona más peligrosa en caso de un ciclón tropical es la franja costera, que es donde coinciden simultáneamente todos los efectos destructivos de un ciclón tropical y a veces en su máxima expresión. Aunque los vientos tienen una penetración apreciable tierra adentro, la zona costera sigue siendo la que presenta vientos de máxima intensidad durante un ciclón tropical. En términos generales, la zona crítica debe ser considerada aquella que va desde la línea divisoria de aguas que une los puntos más altos de la sierra más cercana a la costa, hasta el litoral en sí. Efectos de encañonamiento pueden magnificar las velocidades de viento en cañones o cañadas alineadas con la dirección del viento, mientras que las estructuras cercanas a las cimas estarán en general, sujetas a mayores vientos.

**Desde el punto de vista de las estructuras,** las más vulnerables son aquellas que, presentando un gran área de resistencia al viento, no tienen un gran peso propio. En este sentido edificar con hormigón armado, ladrillo y mampostería, implica mucho menor vulnerabilidad que las estructuras metálicas con cubierta de lámina o inclusive estructuras de madera. Estructuras muy altas o que sobresalen significativamente de su entorno, son también candidatos idóneos a sufrir daños. El estereotipo de la estructura dañada por viento es el anuncio publi-

citario del llamado tipo *espectacular*. Aunque el valor de la pérdida es cuestionable, al colapsarse o desmembrarse ponen en peligro a personas y bienes en los alrededores. A pesar de que el diseño fundamental de una edificación va en dirección de soportar su propio peso (es decir no colapsarse bajo su acción), el mecanismo más común de falla por viento de edificaciones se encuentra asociado a separar los diferentes elementos (techo, paredes, cimentación, etc.) entre sí.

## Vulnerabilidad al oleaje

La **profundidad local de las aguas** gobierna claramente la altura máxima de oleaje a la que puede estar sujeto, ya que embarcaciones en alta mar e inclusive plataformas petroleras marinas están sujetas a oleaje mucho mayor que el que se puede presentar directamente sobre la franja costera. En la propia costa, la existencia de extensas zonas de playa entre la línea de costa y las estructuras de interés, representan la mejor protección contra daños por oleaje, siendo unas defensas naturales inmejorables las barras de arena que existen frente a muchas costas en peligro de ciclones tropicales, aunque desgraciadamente, es cada vez más común que el hombre intente construir muy cerca de la línea de costa. No es así en las zonas costeras que presentan aguas relativamente profundas frente a ella, ya que permitirán que oleaje de mayor magnitud incida directamente sobre la costa.

En cuanto a las edificaciones costeras, las **cimentaciones** representan importantes factores de vulnerabilidad. Si se encuentran apoyadas en **materiales granulares sueltos**, el riesgo de suspensión de sedimentos y falla total por socavación es muy alto. Si se apoya en **materiales rocosos** más profundos este riesgo disminuye.

Respecto a **actividades humanas** muy sensibles a daños por oleaje se encuentran todas aquellas asociadas a embarcaciones marinas



(pesca, recreación, transporte, etc.) y por supuesto las que requieren cercanía a la playa (hoteles y restaurantes. Núcleos poblacionales directamente sobre la costa sin protección de franjas playeras amplias, aguas poco profundas, lagunas costeras o bahías naturales (común en comunidades pesqueras) se encuentran en niveles de alto riesgo. Las poblaciones isleñas, por razones obvias, son de alto riesgo.

### Vulnerabilidad a la marea de tormenta

Dada su naturaleza, el peligro se encuentra limitado a la franja costera, cuya anchura se encuentra íntimamente ligada con la topografía de la misma. En zonas muy **bajas**, escasamente sobre el nivel del mar (o aún bajo él mismo) el ancho de la franja inundable es extenso; por el contrario, sobre una costa de **riscos** abruptos, la invasión de agua marina puede ser nula. Sobre la **costa abierta**, las zonas con extensa plataforma continental se encuentran en mayor riesgo que aquellas con aguas profundas cerca de la costa y las poblaciones sobre configuraciones costeras tipo **bahía** son más vulnerables que aquellas sobre la costa abierta o en configuraciones de **promontorio** o **península**.

En cuanto a las **estructuras o edificaciones**, todas son de alguna manera sensibles a quedar bajo el agua y más cuando se trata de una inundación violenta y abrupta. Sin embargo, dicha sensibilidad puede reducirse notablemente si se construyen sobre pilotes que permitan a los niveles importantes permanecer por encima del agua durante el fenómeno. Un aspecto importante de la marea de tormenta es que permite que oleaje severamente destructivo alcance edificaciones que normalmente se encontrarían fuera del alcance del mismo.

### Vulnerabilidad a la precipitación pluvial

Con respecto a precipitación pluvial y sus consecuentes inundaciones y deslaves, los da-

ños se agrupan alrededor de los cauces de las corrientes a través de las cuales drena el enorme volumen de agua precipitado. Ciertamente, el riesgo mayor se presenta para aquellos que, desafiando el instinto más básico, el de la supervivencia, habitan **dentro de los cauces** que no llevan agua habitualmente

También existe fuerte riesgo para todo aquello que se encuentre en las llamadas **llanuras de inundación**, parte del sistema natural de drenaje para condiciones extraordinarias pero que tan frecuentemente es ignorado por el desarrollo económico y urbano del hombre. Las **vías de comunicación** son también candidatas a sufrir daños así como productoras de los mismos, ya que sus cruces sobre corrientes naturales de agua se construyen para permitir el libre paso de agua para eventos moderados, pero en los extremos producen arremansamientos importantes hacia aguas arriba sobre el cauce. Laderas montañosas donde recientemente se han hecho **taludes**, son también sitios donde frecuentemente se concentran daños por deslaves.

Las violentas tormentas convectivas de un ciclón tropical también vienen acompañadas de **descargas eléctricas** de gran frecuencia e intensidad e inclusive de **tornados**. Las zonas urbanas que se encuentran entremetidas en cañadas de gran pendiente, sobre todo si están sujetas a vientos marinos directos, son ubicaciones de alto riesgo con respecto a inundaciones relámpago. La deforestación, que usualmente acompaña al desarrollo urbano, es también un factor amplificador de importancia frente a esta modalidad de las inundaciones.

## Medidas preventivas

Todas las zonas sujetas a riesgo de ciclones tropicales deben contar con planes de emergencia que sirvan como guía y estructura sobre las acciones a realizar al manifestarse uno

de estos fenómenos. Entre las medidas de prevención más efectivas, se encuentran:

- **Reglamentos de construcción** que consideren explícitamente los riesgos a los que la zona se encuentra sujeta debido a ciclones tropicales y que incluyan:

- diseños resistentes a vientos con un período de retorno suficientemente alto,
- técnicas constructivas, estructurales y aparentes que enfatizen la cohesión entre elementos bajo condiciones de carga típicas de viento,
  - normativa de construcción sobre pilotes en zonas inundables, y
  - responsabilidad civil y/o penal cuando estructuras publicitarias u otros objetos produzcan daños al colapsar.

El reglamento por sí solo no resuelve todo. Su aplicación práctica implica a organismos supervisores, difusión, penas claras e implementables. El fantasma de la pobreza es siempre un obstáculo formidable en esta aplicación de reglamentos.

- **Planificación de usos del suelo** que:
  - evite la invasión de cauces,
  - limite el tipo de construcción y uso en las llanuras de inundación, y

- asegure una anchura adecuada de las playas, etc.

Dada la gran extensión sobre la que actúa un ciclón tropical, la implementación generalizada de medidas estructurales es difícil; se recurre a ellas sólo en forma **puntual**. Ejemplos de este tipo de medidas son: las bahías de abrigo para embarcaciones pesqueras, los rompeolas, la sobre-elevación del nivel del terreno con rellenos (como lo hizo masivamente Galveston, Texas, EUA después de un ciclón que a principios de siglo mató a más de 6.000 de sus pobladores), estabilización de litorales, bordes a lo largo de los cauces o alrededor de las poblaciones, presas de control de avenidas, obras de desvío de caudales o inundación controlada, etc. La adecuación y mantenimiento de las edificaciones que servirán como refugios temporales para los evacuados deben ser consideradas con prioridad.

Paradójicamente, una de las más efectivas medidas a tomar a priori, es una que se debe ejecutar *a posteriori* de cada evento hidrometeorológico extremo: **el postanálisis del mismo** ya que cada evento extremo brinda la oportunidad de probar el grado de preparación de la sociedad ante ellos. El incorporar la expe-

### EL RESCATE

- Durante un ciclón tropical intenso es difícil realizar con efectividad las labores de rescate, pero sí es posible inmediatamente después.
- La profesionalidad en el entrenamiento y equipamiento de los cuerpos de rescate es fundamental, pudiendo ser los cuerpos militares de gran utilidad. Casi siempre las buenas intenciones del voluntariado no son suficientes.
- Se requieren vehículos altos y tracción en las cuatro ruedas, equipos de telecomunicación que funcionen sin electricidad, lanchas que puedan circular en poca profundidad, equipo de seguridad para el personal de rescate (cascos, salvavidas, arneses, cuerdas, botas de hule, guantes), equipos de primeros auxilios, equipo de buceo autónomo, herramientas de rescate, etc.
- Los cuerpos de rescate han de estar convenientemente adiestrados para el manejo seguro de cables eléctricos vivos, obstáculos sumergidos, desinfección de agua, manejo seguro de alimentos, comportamiento de corrientes naturales de agua, elementos de seguridad de puentes, riesgos de deslaves, así como de helicópteros y de embarcaciones marinas.

Figura 6. Imágen de satélite del huracán Hugo frente a la Península de la Florida.



riencia de haber vivido uno, en un marco estructurado e integral, es de suma utilidad para enfrentar los próximos. El postanálisis debe incluir la recopilación de utilidad para enfrentar los próximos. El postanálisis debe incluir la recopilación de mediciones de la magnitud de los efectos destructivos en las diferentes zonas afectadas, la recopilación de datos sobre daños (o densidad de daños) ocurridos y el análisis de correlación entre los primeros y los segundos. Sin embargo, es necesario no generalizar, inocentemente, lo que ocurrió durante un ciclón tropical con lo que ocurrirá en todos los futuros, ya que el número de variables involucradas es inmenso.

## Medidas de emergencia

Independientemente del monitoreo general que es necesario durante toda la temporada de ciclones tropicales, cuando uno de estos fenómenos parece que podría afectar a una cierta zona de interés, unas 72 horas antes de que esto pudiera ocurrir, es necesario empezar a manejar diferentes escenarios posibles

para organizar los recursos y acciones necesarias. Conforme el período estimado de incidencia en la zona se reduce, las acciones específicas deben ir ejecutándose de forma eficiente, sabiendo de antemano el tiempo que requerirán para implementarse. Por ejemplo: revisión y preparación final de refugios temporales, identificación de zonas probables de requerir evacuación, información general a la población, etc.

La delimitación final de las zonas a **evacuar** es una de las decisiones más importantes, ya que una vez que las autoridades inician una evacuación, toman una responsabilidad adicional con respecto a la seguridad de los evacuados, deben evitar las situaciones de pánico así como escoger la **ruta de evacuación** adecuada. Mientras que el oleaje, la marea de tormenta y la precipitación pluvial requerirán la evacuación de zonas conexas (franjas costeras o vecindad de los cauces), el viento requerirá de evacuación de cierto tipo de viviendas y edificaciones en una zona muy amplia, es decir, se trata de regiones no conexas.

### Medidas de emergencia contra el viento

- a) Podar las ramas viejas de árboles,
- b) proteger las ventanas de gran dimensión con cubiertas de madera o metálicas por el exterior o con cortinas pesadas y/o colchones por el interior; disminuye el peligro de trozos de cristal volando el pegar cinta resistente sobre las ventanas en forma de asterisco,
- c) recoger todos los objetos externos que pudieran ser suspendidos por el viento (muebles de jardín, bicicletas, mangueras, etc.) y todos los objetos interiores que pudieran salir volando al romperse un cristal (por ejemplo papelería importantes y muebles de poco peso en oficinas),
- d) no intentar pasar la tormenta a la intemperie; si resulta sorprendido, guarecerse en una zanja o en el ángulo agudo bajo un puente robusto,

e) si se trata de una edificación con techos o paredes ligeros o endeble o no bien cimentada (por ejemplo casas hechizas, casas móviles, etc.) evacuar hacia refugios temporales suficientemente robustos,

f) buscar el cuarto más pequeño y sin ventanas en la edificación y prepararlo como refugio con colchones, agua potable, linterna con baterías extras, radio de transistores con baterías extras, papeles importantes en bolsas a prueba de agua, etc.,

g) si durante el evento se abren puertas o ventanas, no caminar directamente hacia ellos sino rodeando cerca de las paredes; si se teme que se rompan los cristales guarecerse debajo de colchones,

h) tener paciencia y escuchar continuamente instrucciones por la radio; no creer que el peligro ha pasado cuando la zona de calma del ojo pasa sobre el sitio.

## Medidas de emergencia contra el oleaje

a) Evacuar como mínimo la primera línea de edificaciones frente a la playa,

b) no intentar establecer medidas de protección improvisadas de último momento,

c) subir muebles y objetos de valor a una segunda planta (si ésta existe),

d) no acercarse a la línea costera a observar el espectáculo del oleaje, aún cuando los vientos y lluvia todavía lo permitan,

e) no circular por caminos o puentes costeros, ni siquiera en vehículos altos y pesados,

f) retirar (cuando sea posible) embarcaciones hacia tierra adentro, ubicarlas en bahías de abrigo lejanas al punto de incidencia o, en última instancia, considerar el hundirlas temporalmente en aguas relativamente profundas (previo marcado del sitio),

g) si es sorprendido navegando, evitar permanecer sobre cubierta, y si esto es necesario, hacerlo sólo amarrado con líneas de seguridad cortas (por supuesto con chaleco salvavidas permanentemente puesto).

## Medidas de emergencia contra la marea de tormenta

a) Dependiendo de la topografía, la amplitud de la plataforma continental y el punto y ángulo de entrada del ciclón a tierra, será necesario evacuar una extensa franja costera a lo largo de hasta un centenar de kilómetros (anchos de 500 m serían típicos),

b) evacuar poblaciones completas que se encuentren entre el mar y lagunas costeras,

c) subir muebles y valores a una segunda planta (si existe),

d) movilizar vehículos tierra adentro (dejarlos en los estacionamientos normales no servirá de nada, mucho menos si son subterráneos),

e) sellar la entrada a pozos de agua para evitar su contaminación por agua salina,

f) sujetar embarcaciones considerando que el nivel del mar variará,

g) si resulta sorprendido por la inundación, guarecerse en construcciones antiguas y sólidas en, al menos, una segunda planta (palacios municipales, iglesias, etc.),

h) si están disponibles, colocar chalecos salvavidas a niños y ancianos,

i) no caminar en zonas inundadas sin la protección de botas gruesas, no suponer que las condiciones son similares a cuando no se encuentran inundadas,

j) no evacuar durante el paso del ojo del ciclón (cuando probablemente se está en el máximo nivel de inundación), al reiniciar los vientos en dirección opuesta se retirará el agua creando corrientes de peligro.

## Medidas de emergencia contra la precipitación pluvial

a) Evacuar toda edificación que se encuentre dentro de cauces (en forma obvia o no tan obvia) y preparar la evacuación de aquellas que se encuentren en la llanura de inundación; evacuar edificaciones al pie de cortes ar-

tificiales en el terreno o al pie de lomas o montes con pendiente pronunciada,

b) monitorear los niveles de los ríos en relación al nivel de las coronas de los bordes de protección (si estos existen); evacuar zonas sujetas a inundación por desbordamiento antes de que las aguas alcancen el nivel crítico pues una vez que inicie el desbordamiento pueden ocurrir erosiones que abran boquetes en los bordes,

c) no cruzar los cauces por vados sobre su fondo, aún cuando el nivel del agua pudiera permitirlo; pueden ocurrir cambios bruscos, sobre todo en cauces intermitentes en zonas áridas,

d) monitorear la seguridad de los puentes sobre cauces con personal que tiene conocimientos sobre el tema; evitar a toda costa la circulación cuando el agua en el río se acerca al nivel inferior de la cubierta del puente,

e) si queda atrapado por la inundación en un vehículo, abandónelo y diríjase a zonas altas cercanas,

f) si una edificación empieza a ser invadida en forma violenta por agua con alto contenido de sólidos suspendidos, no intente detenerla; abandone de inmediato tal edificación.

Existen muchas otras medidas específicas y genéricas que no se abordarán aquí por ser comúnmente tratadas en los folletos de difusión sobre ciclones tropicales a la población.

## Conclusión

La conclusión principal de este resumen selectivo (y telegráfico) del material cubierto en

el manual mencionado en la introducción, es que para una toma de decisiones y acciones, efectiva y educada, es necesario que el personal asociado con protección civil, en su más amplio sentido, comprenda al menos cualitativamente el fenómeno al que se enfrenta. La aparente imposibilidad de transferir información técnico-científica a personal sin una formación previa afín es un mito. Es perfectamente posible explicar a alguien porqué y cómo vuela un avión sin necesidad de convertirlo en un diseñador de aeronaves.

Los ciclones tropicales son fenómenos naturales de gran destructividad, pero en contraste con los sismos y hasta cierto punto las erupciones volcánicas, sí permiten realizar acciones previas para mitigar sus efectos. Aunque las acciones a posteriori son también necesarias, no existe razón alguna para esperar a que el desastre ocurra y luego reaccionar al mismo lo que desgraciadamente aún ocurre con alarmante frecuencia.

La actividad humana, en una interesante ausencia de conciencia ambiental (e indirectamente del sentido de supervivencia), trabaja en contra de principios físicos fundamentales que operan durante ciclones tropicales y que eventualmente convierten al fenómeno natural en un desastre de origen (parcialmente) artificial. En las regiones del mundo azotadas por estos fenómenos, los ciclones tropicales son parte del ambiente al que debemos adaptarnos. Las edificaciones, actividades y forma de vida de cada país deben considerarlo. Es cierto que la frecuencia con que una cierta región es azotada por un evento extremo es baja, pero las consecuencias son de tal magnitud, que requieren de nuestra atención constante. ■