

EFFECTOS DE LOS HURACANES

MAREJADA

La marejada, la cual es conocida como marea o surgencia de tormenta, o incluso oleada de tormenta, se define como el aumento anormal del nivel del mar provocado por un huracán u otra tormenta intensa por encima de la marea astronómica prevista. La causa principal de esta, es la acción de los vientos del huracán, que empujan el agua sobre la costa, aunque la baja presión en el ojo del sistema contribuye en parte, pero en menor medida.



Figura 1. Componentes de viento y presión de la marejada ciclónica. Fuente: Comet Program.

El aumento del nivel del mar ante una marejada ciclónica, es la diferencia en la costa entre el nivel de la superficie del mar y el nivel existente en ausencia del ciclón tropical.

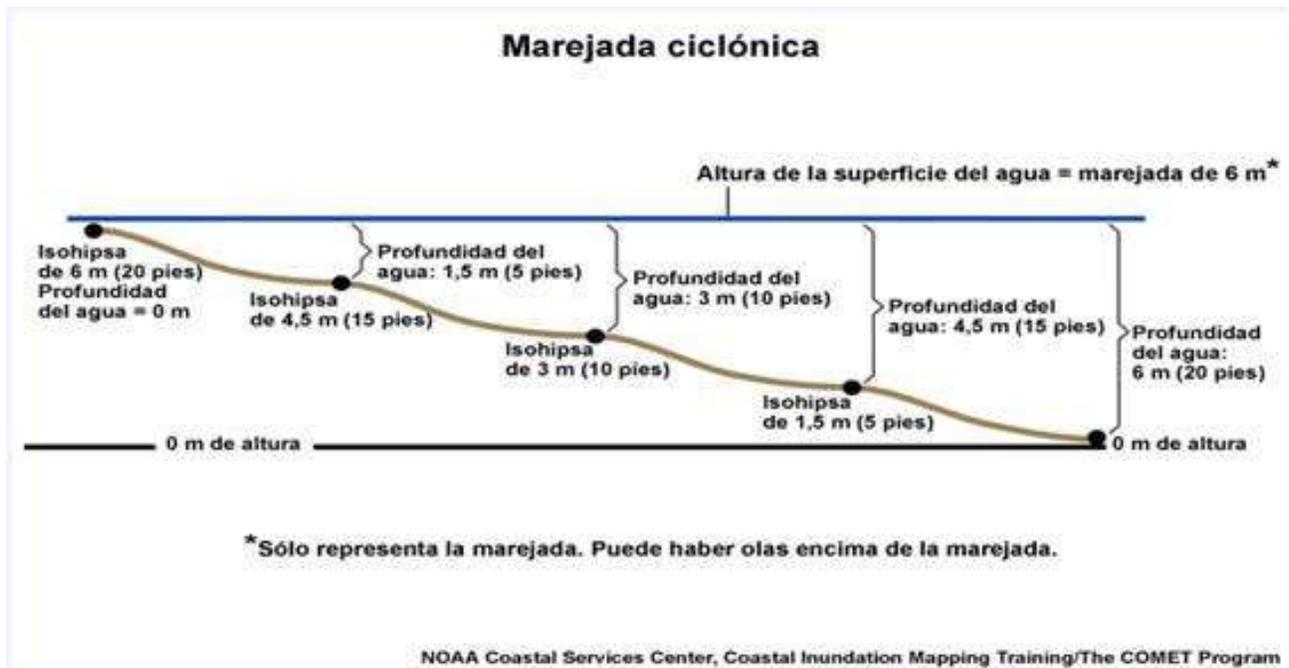


Figura 2. Ejemplo de marejada ciclónica. Fuente: Comet Program.

En el ejemplo anterior, la marejada ciclónica en la costa mide 6 metros por encima del nivel de la marea normal. Conforme aumenta la altura, la profundidad del agua disminuye, pero las áreas a menos de 6 metros de altura quedan vulnerables a inundaciones (en este ejemplo).

Por otra parte, la marea de la tormenta es el aumento del nivel del mar que ocurre al sumarse la marejada ciclónica a la marea astronómica, lo cual significa que el nivel del agua será particularmente alto cuando la marejada ciclónica coincide con la pleamar (nivel más alto que alcanza el agua del mar durante la marea alta). Por ejemplo, durante el huracán Katrina (2005) en la mayoría de los lugares junto a la costa de Mississippi la marea de la tormenta superó los 6 metros de altura, lo cual explica porqué el agua pudo penetrar hasta 15 km en el interior.

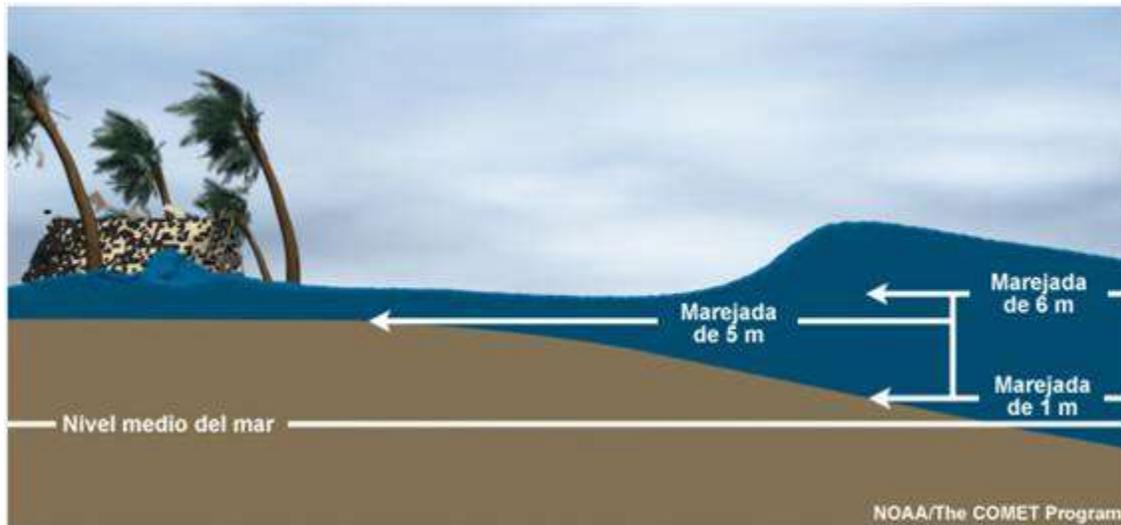


Figura 3. Ejemplo de marea de tormenta. Fuente: Comet Program

A medida que entra la marejada ciclónica, antes de que el ojo toque tierra, el agua sube arrasando casas y destruyendo otros edificios a lo largo del litoral. El agua se lleva las playas, los vehículos, los árboles y cualquier otra cosa que se halle en su camino. Las zonas de tierras bajas quedan bajo el agua que penetra tierra adentro, causando grandes inundaciones.

Influencias

El nivel de la marejada ciclónica producida por un huracán se ve afectado por:

- ❖ El tamaño y el alcance del campo de vientos del ciclón (el "radio de vientos máximos").
- ❖ La intensidad de los vientos del ciclón (vea la animación).
- ❖ La velocidad de avance del ciclón.
- ❖ La trayectoria del ciclón.
- ❖ La presión central del ciclón (aunque el aporte de la presión a la marejada ciclónica total es pequeña en comparación con el viento).
- ❖ El lugar donde toca tierra.
- ❖ Elevación de la costa (en EE.UU., buena parte de las zonas densamente pobladas de las costas del Atlántico y del Golfo de México se encuentran a una altura media inferior a los 3 metros (10 pies) sobre el nivel del mar, de modo que son particularmente vulnerables a la marejada ciclónica).
- ❖ La forma y otros accidentes del litoral (bahías, ríos, etc.)

Además, el grado de inundación que experimentará una zona en particular depende de la topografía submarina (batimetría) junto al litoral, especialmente la inclinación de la plataforma continental. Si la plataforma continental presenta una pendiente gradual, puede producir una marejada ciclónica más alta que una pendiente más abrupta. Por ejemplo, un huracán de categoría 5 que toca tierra, donde la plataforma continental es ancha y poco profunda, puede producir una marejada ciclónica de 6 m, mientras que en un lugar, donde la plataforma continental baja rápidamente, la misma tormenta quizás genere una marejada menor a 3 m.

El batir de las olas de viento arriba de la marea total del huracán puede aumentar los daños a lo largo de la costa. El agua pesa aproximadamente 1,000 kg/m³; con el tiempo, la fuerza de las olas puede demoler cualquier estructura que no ha sido diseñada específicamente para soportar este tipo de impacto. Además, las corrientes creadas por la marea se suman a la acción de las olas y erosionan fuertemente las playas y las carreteras costeras. Algunos edificios aguantan los vientos de intensidad de huracán, pero quedan dañados si sus cimientos, menoscabados por la erosión, se debilitan.



Figura 4. Carretera junto al litoral dañada por huracán Jeanne. Fuente: Comet Program.

En un puerto encerrado, la combinación de la marejada, las olas y las corrientes puede causar daños graves a las embarcaciones y a los atracaderos. En los estuarios y los brazos pantanosos de los ríos, la intrusión del agua salada amenaza la salud pública y obliga a los animales, como las víboras y los aligátors, a huir de las zonas inundadas.



Figura 5. Embarcaciones dañadas en un pequeño puerto deportivo. Fuente: Comet Program.

LLUVIAS TORRENCIALES E INUNDACIONES

Cuando un huracán toca tierra, es común que cubra una amplia zona con 150 litros por metro cuadrado o más de lluvia, lo cual a menudo provoca inundaciones mortales y devastadoras. Las lluvias torrenciales de estas tormentas pueden durar varios días. **Tales inundaciones han sido una de las causas principales de la pérdida de vidas (niños, en muchos casos) relacionada con los ciclones tropicales en los últimos 30 años.**

Las lluvias intensas no se limitan a las regiones costeras. Pueden acumularse enormes cantidades de lluvia a miles de kilómetros en el interior de los países afectados. Buena parte de los daños provocados por 4 de los 20 ciclones tropicales más costosos no fueron producto de los vientos, sino el resultado de las inundaciones causadas por las lluvias torrenciales.

Por ejemplo, el Huracán Tomás, a pesar de no tener una afectación directa con sus vientos, generó montos de precipitación acumulada de más de 1200 litros por metro cuadrado en el Pacífico Central de Costa Rica durante aproximadamente 4 días, tal como se aprecia en la figura 6; lo cual dejó a su paso pérdidas de unos 750 millones de colones debido a los daños en infraestructura, así como 21 muertes registradas.

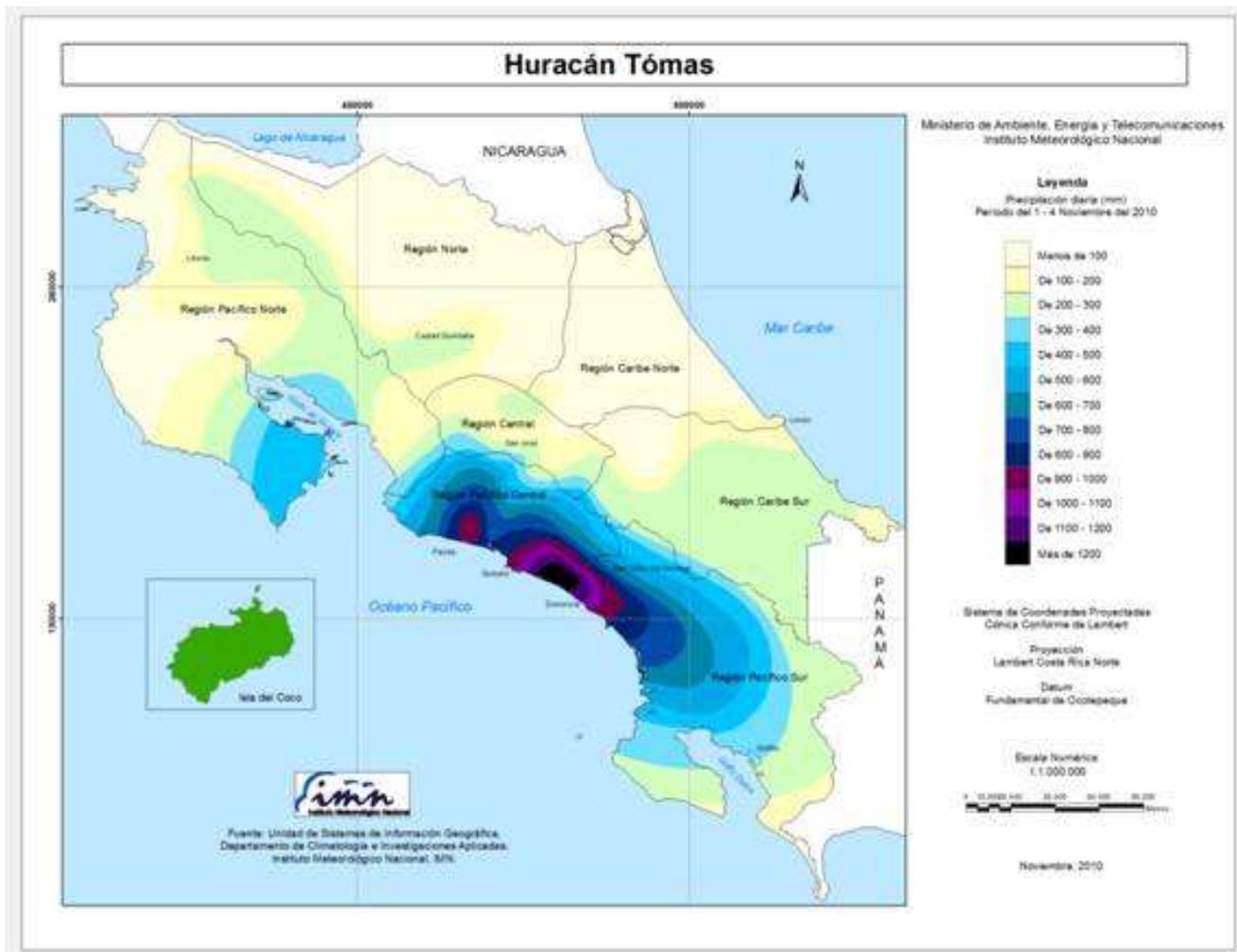


Figura 6. Mapa de precipitación acumulada entre el 1º y 4 de Noviembre de 2010, debido a la cercanía del Huracán Tomás. Fuente: IMN.

Además de inundaciones urbanas y circunscritas a zonas pequeñas, las lluvias copiosas asociadas con los sistemas tropicales pueden producir otros impactos, tales como inundaciones fluviales, rupturas de diques o represas, desbordamiento de embalses y aludes o deslizamientos de lodo. En las figuras 7 y 8 se ilustran algunas situaciones asociadas a los impactos mencionados.



Figura 7. A la izquierda, una carretera destruida por el colapso del sistema de alcantarillado ante la gran cantidad de lluvia. A la derecha, río desbordado en la comunidad de Parrita. Todo lo anterior debido a la cercanía del Huracán Tomás. Fuente: Diario La Nación.



Figura 8. Alud en San Antonio de Escazú deja saldo de 20 personas fallecidas. 4 de noviembre de 2010. Fuente: Diario La Nación.

Influencias

El grado de peligro que representan las inundaciones depende de varios factores:

- Velocidad del ciclón.
- Tamaño del ciclón.
- Persistencia de las bandas de lluvia.
- Interacción con otros sistemas meteorológicos, como un frente frío.
- Topografía.
- Grado de saturación del suelo.

Si bien el grado de amenaza de algunos de los peligros que presentan las tormentas tropicales, como los tornados y los vientos intensos, suele disminuir a medida que el sistema avanza hacia el interior (y recuerde que siempre hay excepciones), a menudo las lluvias torrenciales continúan y a veces hasta se intensifican conforme el ciclón tropical se incorpora a otro sistema ciclónico en la zona o se ve obligado a ascender por terreno montañoso. Al ascender las laderas de las montañas, el aire se enfría y se condensa, produciendo más lluvia que se suma al total de precipitación. La lluvia carga rápidamente los arroyos de montaña y en esas zonas las inundaciones repentinas se transforman en la mayor amenaza, junto con los deslizamientos de lodo que pueden ocurrir cuando se satura una ladera empinada, tal como se observó en el caso del Huracán Tomás sobre Costa Rica.

VIENTOS INTENSOS

Los vientos destructivos comienzan mucho antes de que el ojo del huracán llegue a tierra. Incluso los vientos de intensidad de tormenta tropical son peligrosos y las ráfagas agregan a la potencia devastadora de las tormentas. Por eso los administradores de emergencias no deben esperar a que los vientos alcancen intensidad de huracán, sino deben terminar las evacuaciones y asegurar que su personal se encuentre a salvo antes de que comiencen a soplar los vientos de intensidad de tormenta tropical.

Probabilidad de vientos de intensidad de tormenta tropical

Para las 120 horas (5 días) entre las 2000 EDT del mar. 9 de sep. hasta las 2000 EDT del dom. 14 de sep.

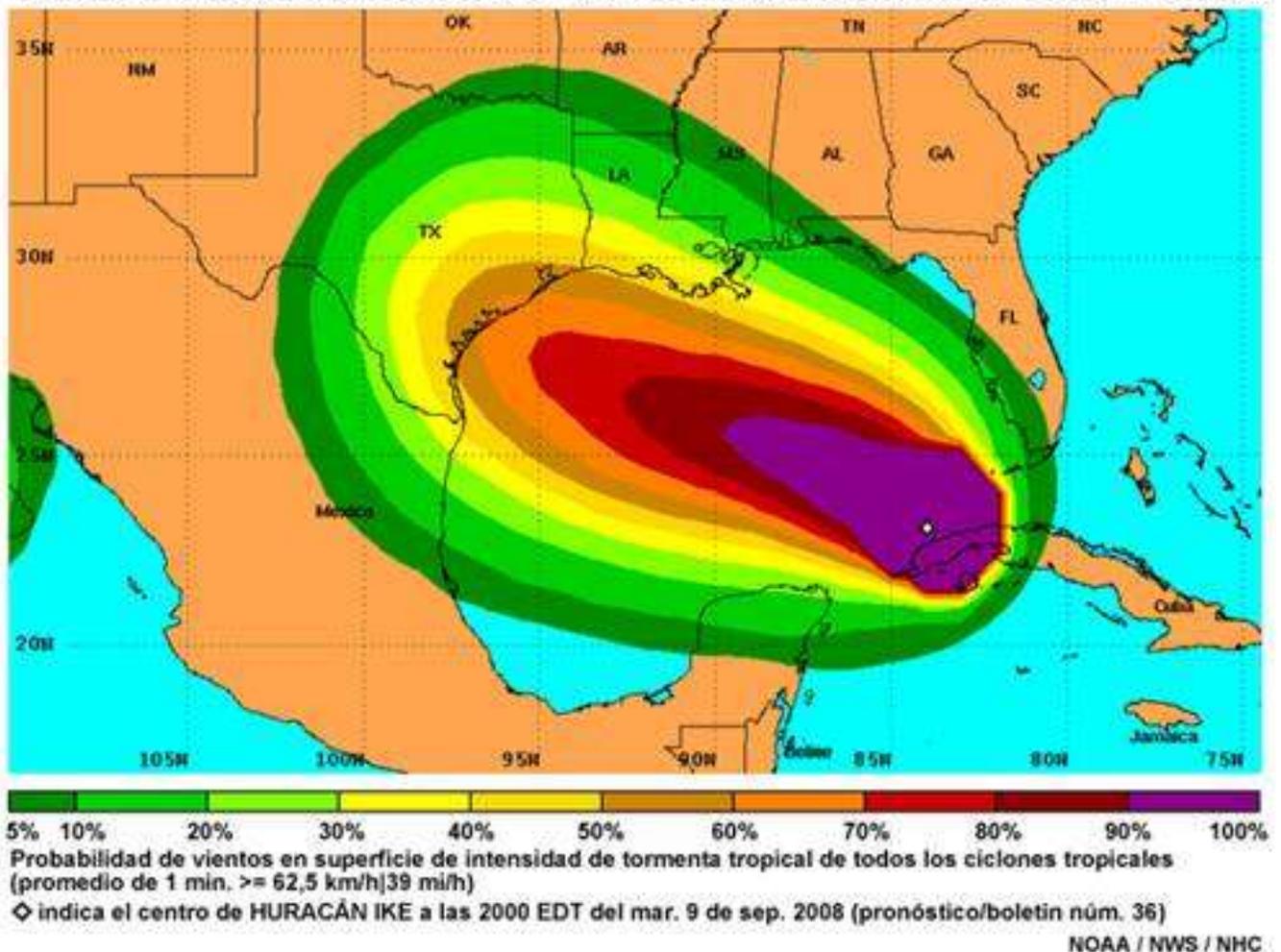


Figura 9. Ejemplo de pronóstico de probabilidad de velocidad del viento producido por el Centro Nacional de Huracanes. Fuente: NOAA/NWS/NHC.

Intensidad del viento

Una vez que los vientos superen los 118 km/h (73 mi/h o 63 nudos), la intensidad del ciclón tropical se expresa mediante la escala Saffir-Simpson de vientos de huracanes, la cual categoriza las tormentas de acuerdo con la velocidad del viento y el potencial de daños. Observe que la velocidad de los vientos de un huracán de categoría 1 es menor que la de los vientos de un huracán de cualquier otra categoría. Normalmente (aunque no siempre) se calcula que un huracán de categoría 4 puede causar 100 veces lo daños que un huracán de categoría 1. Se consideran huracanes "mayores" los de categoría 3 o superior.

La intensidad del viento suele disminuir considerablemente dentro de las 12 horas de que un huracán o una tormenta tropical toque tierra (ver figura 10). Esto se debe en parte a que los aspectos topográficos causan mayor fricción y reducen la velocidad del aire. Además, una vez que la tormenta se encuentre sobre tierra, normalmente pierde las fuentes de calor y humedad que la alimentaban. Recuerde que 24 horas después de que toque tierra, los impactos de los vientos de una tormenta tropical pueden ser similares a los de un huracán.

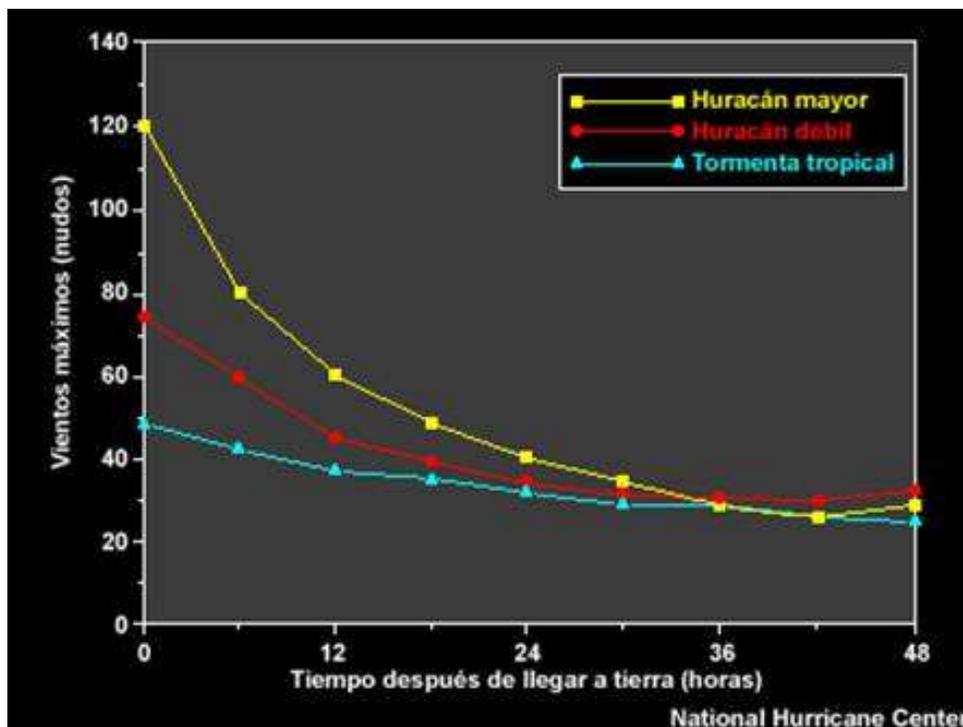


Figura 10. La gráfica muestra como disminuye paulatinamente la velocidad de los vientos de un ciclón tropical al tocar tierra. Fuente: NOAA/NWS/NHC.

Las ráfagas de viento (que se deben distinguir de los vientos sostenidos contemplados en la gráfica) pueden **aumentar** después de que la tormenta toque tierra, ya que la mayor turbulencia sobre tierra hace que el aire se mezcle más rápidamente con el aire en la superficie en pequeñas rachas. Observe además que **los vientos pueden seguir soplando con intensidad de huracán hasta que el ciclón tropical se haya adentrado una distancia considerable de la costa**. Por ejemplo, huracán Hugo (1989) azotó la ciudad de Charlotte (Carolina del Norte), que está a unos 280 km de la costa, con vientos de casi 160 km/h. Huracán Ike (2008) se transformó en un ciclón extratropical con vientos de intensidad de huracán una vez que ya se había adentrado a una distancia considerable de la costa y causó daños generalizados en el valle del Ohio, la zona al sur de los Grandes Lagos y, eventualmente, en Ontario, Canadá.

Efectos

Los vientos de un huracán no se limitan a dañar la estructura de los edificios, sino que la enorme cantidad de escombros que arrastran representa una amenaza para todos los que tengan la mala suerte (¡o el poco criterio!) de encontrarse en su camino. Los vientos de intensidad de huracán también pueden dañar los rascacielos, especialmente en los pisos más altos, ya que la fuerza del viento suele aumentar con la altura. Por ejemplo, **en promedio, los vientos en el techo de una torre de 30 pisos serán 30 km/h más fuertes que en el suelo, el equivalente de una categoría de la escala Saffir-Simpson**.

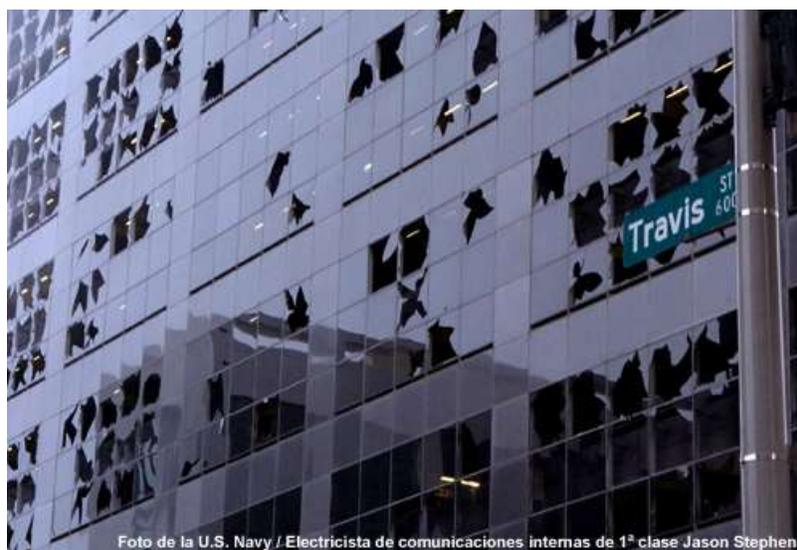


Figura 11. Edificio con cristales quebrados tras el paso de un ciclón. Fuente: U.S. Navy.

Es común que durante un ciclón tropical los cristales de las torres se desprendan y vuelen por los aires, de modo que las zonas alrededor de estos tipos de edificios pueden representar un peligro enorme. Las actividades de planificación deben tener en cuenta los efectos de los vientos para determinar dónde conviene dirigir a la población para que tome refugio durante la tormenta. Además, los preparativos para las actividades de regreso deben contemplar la necesidad de proteger a los residentes que viven en zonas donde los vientos pueden haber dañado los edificios altos.

TORNADOS

Los tornados son uno de los peligros que pueden tomar desprevenidos a los residentes que se enfrentan a un ciclón tropical, especialmente porque en esta situación no suelen ir acompañados de granizo o muchas descargas eléctricas, que son las indicaciones que normalmente alertan a la población de la posible formación de un tornado. Aunque estos tornados tienden a ser menos intensos y a causar menos daños que los que se pueden engendrar en otros tipos de tormentas severas, es importante que el público esté consciente de esta amenaza. Alrededor del 4 por ciento de las muertes que ocurren en los ciclones tropicales son causadas por tornados.

Casi todos los ciclones tropicales que afectan los Estados Unidos engendran por lo menos un tornado y en algunos casos varios de ellos. Por ejemplo, en el curso de varios días, huracán Ivan (2004) engendró 127 tornados, un brote que continuó después de que el ciclón atravesara la costa de Alabama. En el pasado, mucho otros huracanes han generado gran cantidad de tornados.

Los tornados pueden formarse casi sin aviso y en la actualidad no existe manera alguna de predecir con exactitud si un ciclón tropical puede generar tornados, ni dónde aparecerán. Los sistemas de radar doppler constituyen la herramienta más importante para advertir al público, pero normalmente esta tecnología sólo permite emitir avisos con unos pocos minutos a una media hora de anticipación. Además, los tornados pueden formarse a cientos de kilómetros del centro de un ciclón tropical. Por consiguiente, es esencial preparar e informar al público antes de que pase una tormenta.

Características

Los tornados están **inmersos o embebidos en las bandas de lluvia del ciclón tropical**, a veces muy lejos de su centro. Aunque son más comunes sobre tierra firme, los tornados pueden formarse sobre el mar (y en ese caso se denominan "mangas" o "trombas marinas"), muy por delante y a cientos de kilómetros del ojo del ciclón tropical. Además, pueden formarse tornados a medida que los vestigios de un ciclón tropical penetran en el interior e interactúan con otras estructuras atmosféricas, como un frente frío.

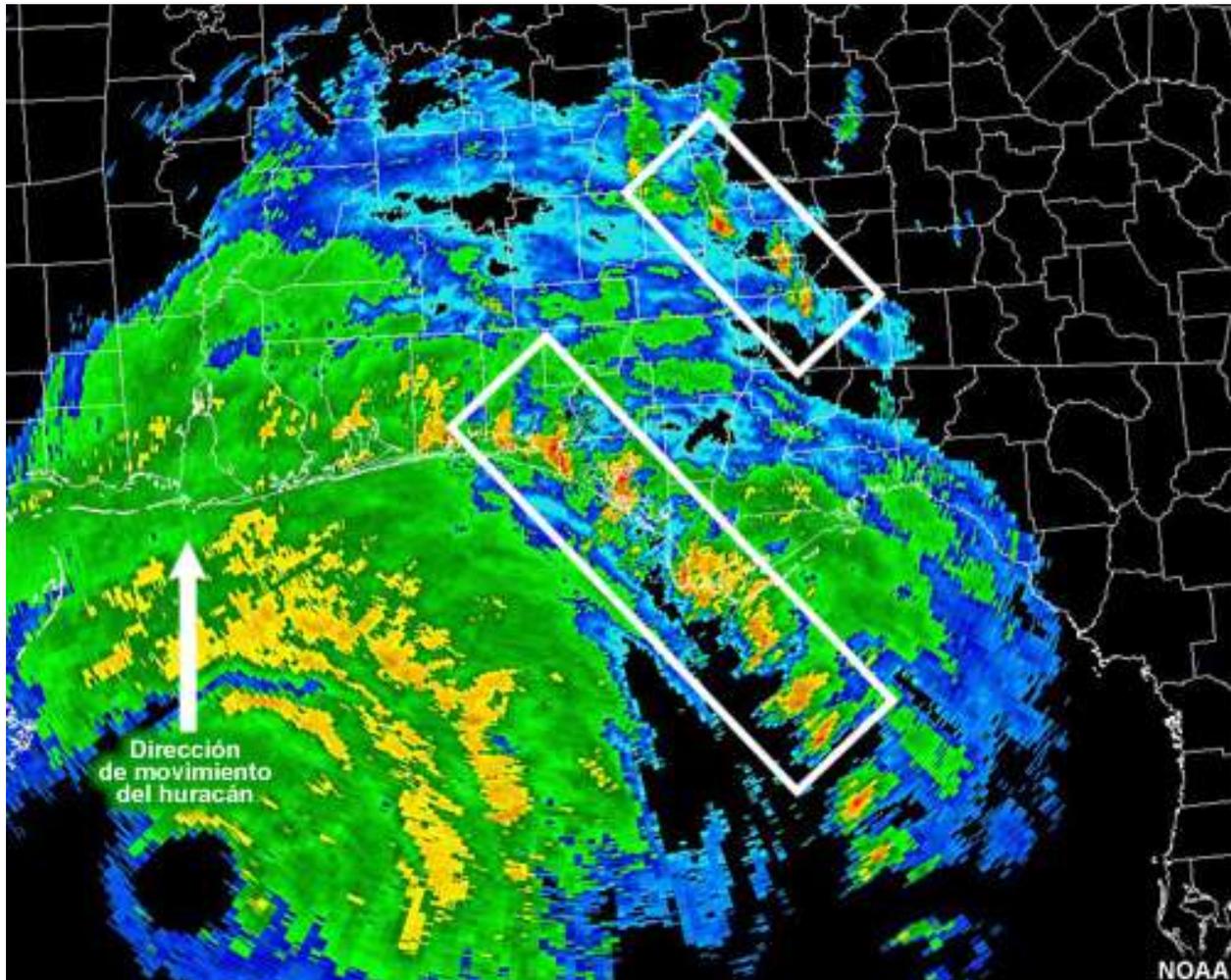


Figura 12. Varias supercélulas (un tipo de tormenta que a menudo forma tornados) embebidas en las bandas de lluvia de huracán Iván. Cuando se capturó esta imagen [2104 UTC (16:04 CDT) del 15 de septiembre de 2004], las tormentas marcadas en el rectángulo al norte estaban disipándose, pero las supercélulas maduras al sur siguieron engendrando tornados durante varias horas. Fuente: NOAA/NWS/NHC.

En términos generales, cuanto más amplios y más intensos los campos de vientos de un ciclón tropical, **tanto más grande la zona propicia** para el desarrollo de supercélulas y tornados. Como recordará de la explicación de estructuras de la sección Conceptos básicos, los tornados suelen formarse en el **cuadrante delantero derecho** del huracán. Aunque los tornados pueden formarse en cualquier momento, tanto de día como de noche, una vez transcurridas 12 horas de que el huracán tocó tierra, los tornados suelen aparecer mayormente de día.

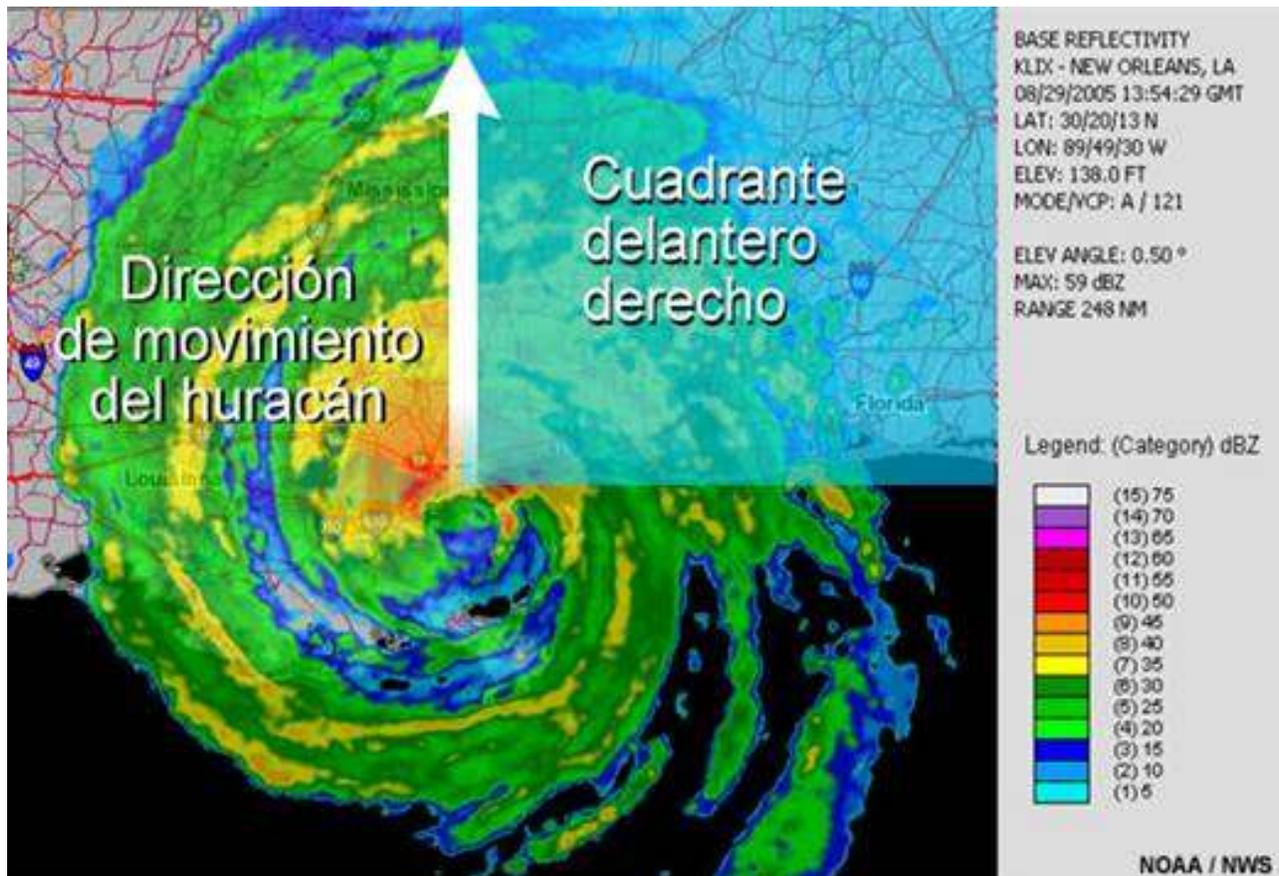


Figura 13. Los tornados se forman con mayor frecuencia en el cuadrante delantero derecho del huracán. Fuente: NOAA/NWS/NHC.

Escala de la magnitud de los daños

Al igual que los huracanes, los tornados se clasifican según la velocidad estimada del viento y los daños que suelen acompañar a cada categoría. Cuando se forma un tornado, un especialista del NWS evalúa los daños y los compara con una lista de indicaciones de daños, una tabla que describe varios tipos de daños para diversos tipos de estructuras (la tabla completa en inglés está disponible en esta página: <http://www.spc.noaa.gov/efscale/ef-scale.html>). Esta tabla ayuda a generar un cálculo estimado del rango probable de velocidades del viento producidas por el tornado.

Escala Fujita mejorada de daños de los tornados

(Nota: La escala Fujita mejorada de daños de los tornados difiere de la escala Fujita original porque contempla la calidad de construcción y los diferentes tipos de estructuras y vegetación. La velocidad de los vientos no se mide directamente, sino se calcula a partir de los daños observados. Como los daños pueden variar mucho de una calle a otra e incluso entre dos edificios vecinos, la clasificación de los tornados de acuerdo con los daños provocados es de índole subjetiva.)

Clasificación	Vientos estimados (ráfaga de 3 segundos)
EF0	105 a 137 km/h
EF1	138 a 178 km/h
EF2	179 a 218 km/h
EF3	219 a 216 km/h
EF4	267 a 322 km/h
EF5	Más de 322 km/h

Tabla 1. Escala Fujita mejorada de daños de los tornados.

Fuente: Comet Program.

La mayoría de los tornados engendrados por ciclones tropicales son relativamente débiles (EF0-EF1 en la escala Fujita mejorada), pero muchos de ellos han sido de intensidad EF2 o superior y han causado daños considerables.