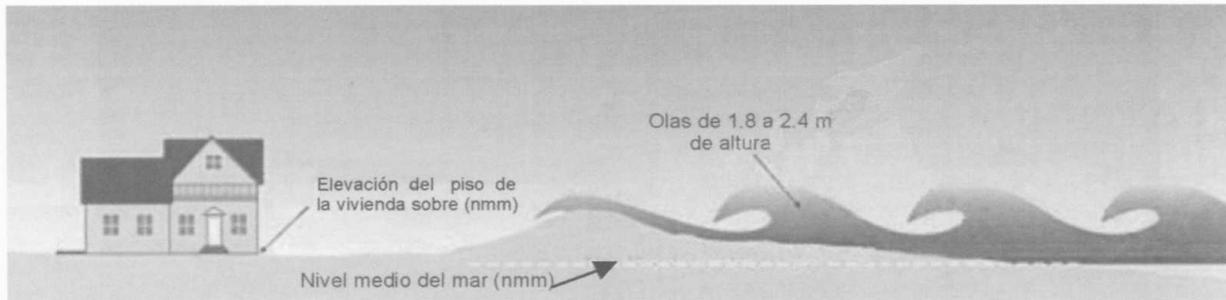


Marea de tormenta

La disminución de la presión atmosférica del centro del ciclón tropical y los vientos de este fenómeno sobre la superficie del mar originan un ascenso del nivel medio del mar que es conocido como marea de tormenta. Ella puede provocar inundaciones en las zonas bajas continentales cercanas al mar y que las olas impacten sobre estructuras costeras (figura 24).

a) Condición normal



b) Con marea de tormenta

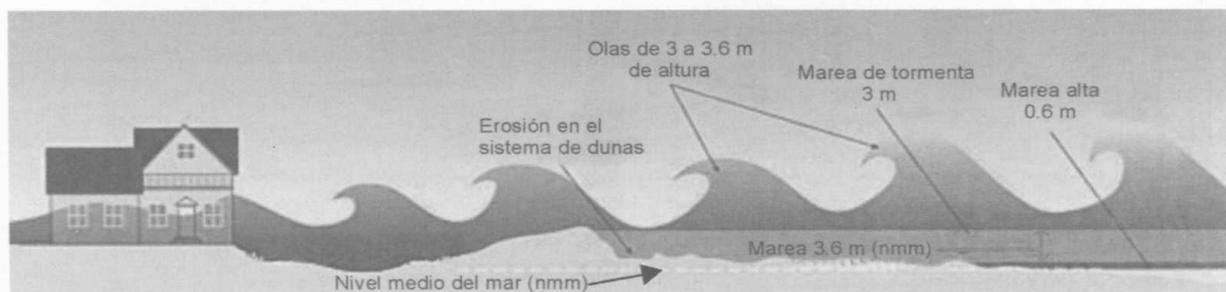


Figura 24 Efecto de incremento del nivel medio del mar

Cuando al ascenso y descenso diario del nivel del mar, producto de la marea ordinaria (astronómica), se combina con la de tormenta, es mayor la sobre elevación del nivel medio del mar. Cuando el ciclón se ha alejado, el nivel del mar desciende y se restablecen las condiciones normales en el océano. La marea de tormenta es más intensa cuando los vientos se dirigen hacia la costa (figura 25) y los vientos del ciclón tropical que tienen dirección de tierra al océano producen un descenso del nivel medio del mar.

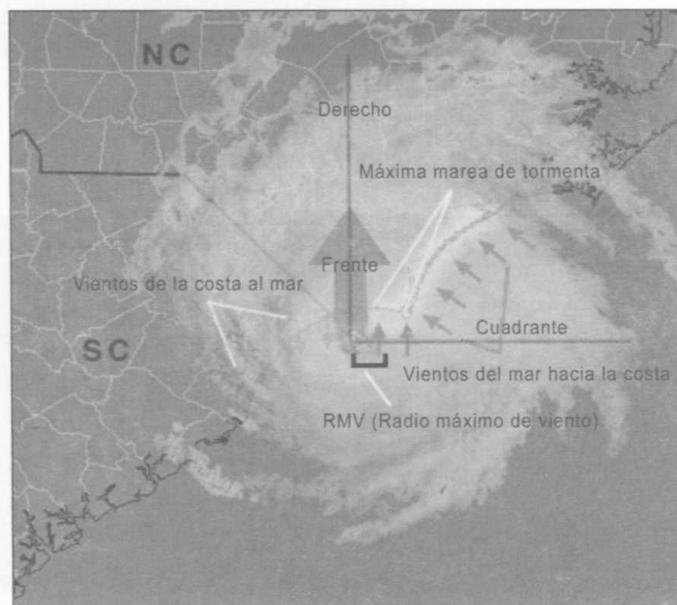


Figura 25 Condición que genera la más alta marea de tormenta

La marea de tormenta se puede calcular a partir de la magnitud y dirección de los vientos que actúan en la superficie del mar. Estos vientos son casi nulos en el centro, luego aumentan radialmente hasta alcanzar un máximo (a una distancia del orden de los 50 km del ojo), para que, posteriormente, disminuyan gradualmente a medida que se alejan de dicho centro.

Los vientos se dirigen hacia el centro del ciclón en dirección contraria al movimiento de las manecillas del reloj. Ellos forman un ángulo de aproximadamente 30° respecto a la dirección tangente de círculos concéntricos del ciclón tropical que señalen su distancia al ojo de este meteoro (figura 26). Cuando la dirección de los vientos es hacia la costa y ésta tiene la forma de una bahía, es mayor la sobreelevación del nivel medio del mar.

Los vientos son más fuertes mientras la presión del ciclón tropical es menor. Así, en igualdad de ubicación, los huracanes categoría 5 producen una marea de tormenta mayor que los de categoría 1. Con el desplazamiento del ciclón tropical se modifican los vientos que soplan sobre la superficie del mar, por lo que el efecto de la marea de tormenta cambia a lo largo del tiempo; se estima que tienen una duración de 1 a 2 días.

Para calcular la marea de tormenta es necesario conocer los vientos que genera el ciclón en el mar sobre un área



Figura 26 Campo de vientos de un ciclón tropical (las líneas punteadas son circunferencias perfectas para acentuar la asimetría del campo de viento)

extensa, así como la configuración del fondo marino y del litoral. Con base en esta información se resuelven, con la ayuda de una computadora, las ecuaciones que describen la transferencia de la energía de los vientos del ciclón al mar y del movimiento del agua. Los resultados permiten conocer la sobreelevación del nivel medio del mar de una zona cercana a la costa y las corrientes marinas que genera.



Figura 27 Efectos de la marea de tormenta y oleaje generado por el huracán Kenna en Puerto Vallarta, Jalisco, 2002

Los daños por la marea de tormenta que se presentan cerca de la línea de costa se deben principalmente a la inundación y al impacto del oleaje. Ellos pueden reducirse, si se predice la marea de tormenta que causaría un ciclón de acuerdo con su trayectoria de desplazamiento y si se toman las medidas de protección pertinentes.

En algunos ciclones tropicales la marea de tormenta puede ser su efecto más destructivo. Entre las mayores devastaciones que ha causado en el continente americano están la de Galveston, Texas (6,000 muertes) del año 1900, la del huracán de 1932 que provocó en Cuba la muerte de 2,700 habitantes y el huracán Audrey en Louisiana de 1957 que originó una inundación en una franja costera de 40 km, en la que fallecieron 390 personas.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de marea de tormenta para varios ciclones tropicales y el número de pérdida de vidas humanas que causaron.

Tabla 6 Valores históricos de marea de tormenta y decesos generados (Longshore, 1998)

Huracán	Año	Altura de la marea de tormenta (m)	Decesos
H. Galveston	1900	2.4-4.6	6000
H. No. 27	1906	3	134
Huracán	1915	3.6	275
Huracán	1947	3.6	85
H. Audrey	1957	3.6	390
H. Carla	1961	No hay dato	46
H. Hilda	1964	No hay dato	22
H. Beulah	1967	5.5	15
H. Camille	1969	7.6	No hay dato
Ciclón de Bangaldesh	1970		300,000
H. Eloise	1975	3.6-4.8	No hay dato
H. Frederic	1979	2.4-3.6	5
H. Allen	1980	3.6	No hay dato
H. Gilbert	1988	7	No hay dato
(Bangaldesh)	1991	7	140,000
H. Andrew	1992	2.4	No hay dato
H. Roxanne	1995	4.5-6.1	No hay dato
H. Isidore	2002	3.1	Ninguna



Figura 28 Marea de tormenta del huracán Carla, 1996 (Longshore, 1998)



Figura 29 Marea de tormenta en Galveston, Texas, septiembre de 1900

Beneficios

A pesar de que los ciclones tropicales pueden causar muchos daños por efecto del viento, oleaje, lluvia y marea de tormenta, gracias a la precipitación producida, es factible que las presas se llenen y los acuíferos se recarguen, facilitando con ello el suministro de agua para el consumo humano, la agricultura y la generación hidroeléctrica. Los beneficios obtenidos pueden durar varios años. Por ejemplo, una sequía grave en Texas terminó por las lluvias del Huracán Allen y la Tempestad Tropical Danielle en el verano de 1980. Otros ejemplos son que los ciclones tropicales pueden desalojar contaminantes de bahías y también que en ocasiones, la arena pueda ser llevada de la plataforma continental a las playas.

En México, el huracán Gilbert de 1988 ayudó a incrementar el almacenamiento de algunas presas del noreste del país, de modo que se mitigaron los riesgos por falta de abastecimiento de agua potable en años posteriores, principalmente a la ciudad de Monterrey. De manera parecida, Juliette, del 2001, ayudó a la recarga de acuíferos tales como los de Baja California Sur y de Sonora.



Figuras 30 y 31 Otro de los beneficios de los ciclones tropicales es el almacenamiento de agua en las presas