

Anexo II

FUENTES DE PELIGRO EN ISLA DEL CARMEN

ÍNDICE

II.1. Análisis del clima marítimo	1
II.1.1. Bases de datos	1
II.1.2. Análisis de tormentas	4
II.1.3. Regimen extremal de oleaje, viento y marea de tormenta	8
II.2. Probabilidad asociada a las fuentes de peligro	10
II.2.1. Altura de ola significativa	10
II.2.2. Marea de tormenta	13
II.2.3. Resultados de simulación Monte Carlo	16

II.1. Análisis del clima marítimo

Yáñez-Arancibia & Day, 2005 definen tres estaciones principales en el año: “Lluvias”, de Junio a Septiembre; “Nortes” (o frentes fríos), de Octubre a Febrero; y “Secas”, de Marzo a Mayo. Las tormentas que afectan el área normalmente tienen lugar en épocas de Lluvias, por generación de ciclones tropicales, y en época de Nortes. Varios estudios informan de los problemas de erosión en la zona costera de Isla del Carmen durante estas dos estaciones (Palacio-Aponte, 2010; Torres et al., 2010). Es por ello que el análisis se centra en el análisis de las condiciones de tormenta.

II.1.1. Bases de datos

Oleaje y viento

La base de datos de oleaje y viento se compone de 552,264 estados de mar horarios en el periodo de 1948 a 2010 (62 años), obtenidos de la aplicación de los modelos numéricos de predicción de segundo (Hurac) y tercer orden (WAM) (Silva et al., 2007). El punto de reanálisis seleccionado se encuentra a una profundidad de 28 m (68 km de la línea de costa).

Nivel del mar

Se obtuvieron datos procedentes de dos mareógrafos: mareógrafo *Eco*, situado frente a la costa de Isla del Carmen (Márquez et al., 2008); mareógrafo localizado en la boca del Carmen de Laguna de Términos (<http://www.mareografico.unam.mx>). El análisis de ambos mareógrafos mostró una marea astronómica de tipo mixta diurna, con carrera de marea de 0.2 a 1 m.

Por otro lado, se encontraron varios estudios que confirman que las variaciones del nivel del mar más importantes se producen en condiciones de tormenta por marea de tormenta (Sedesol, 2011); y la posible contribución fluvial en el incremento del nivel del mar es despreciable comparada con la magnitud de los valores de marea de tormenta (PMOET, 2009). Por estas razones, únicamente se atendieron los efectos de la marea de tormenta en el análisis de la variación del nivel del mar. A continuación se describe el método que se utilizó para su obtención.

- Marea de tormenta

A falta de datos reales registrados en condiciones de tormenta, la marea de tormenta fue estimada numéricamente mediante la aplicación del modelo hidrodinámico MATO (Posada, 2007; Durán, 2010), utilizando como parámetros de entrada la velocidad y dirección del viento. Los valores fueron obtenidos en varias celdas a profundidad de 6.5-7.5 m (Fig. II.1) para la combinación de seis velocidades del viento uniformes (de 18 a 43 m/s) y ocho direcciones posibles de viento más desfavorables. La Fig. II.2a muestra los resultados del modelo para velocidades procedentes del Norte en función del tiempo de simulación, de los

cuales el valor de tormenta finalmente seleccionado es aquél alcanzado cuando se alcanza la estabilidad de los resultados del modelo y los parámetros de forzamiento. Una vez extraída la marea de tormenta para cada una de las seis velocidades de viento consideradas, se realizó un ajuste por regresión para obtener el valor de marea en función de la velocidad del viento, en cada dirección (Fig. II.2b). La combinación de los coeficientes A y B de las ocho expresiones de ajuste por regresión de la marea de tormenta (en función de la velocidad del viento) para las ocho direcciones de viento analizadas y el posterior ajuste de los parámetros A y B en función de la dirección del viento (Fig. II.2c y Fig. II.2d) permitió obtener una expresión simple de la marea de tormenta dependiente de la velocidad y dirección del viento, Ec. (II.1).

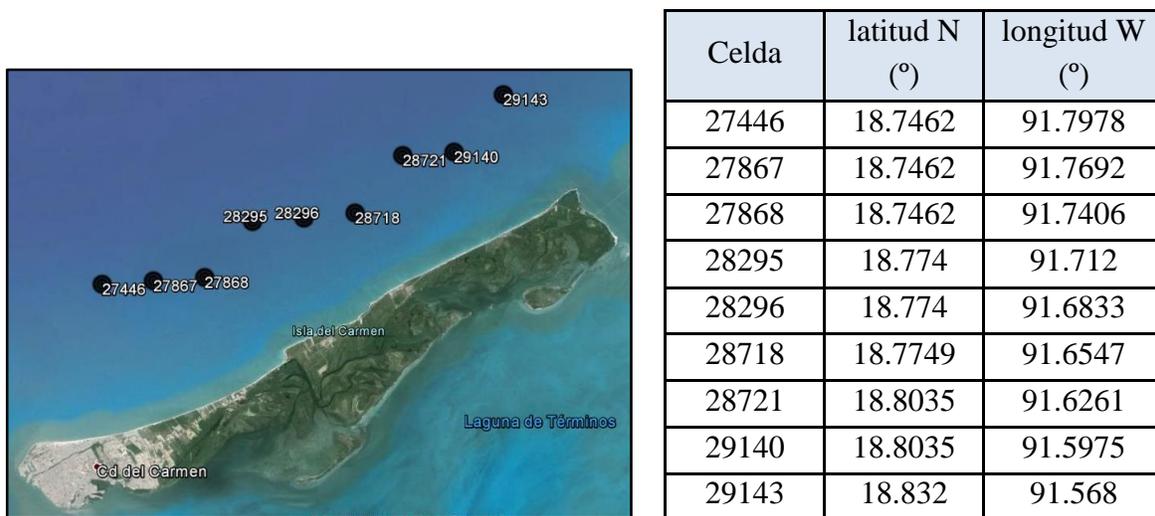


Fig. II.1. Ubicación de celdas frente a la costa de Isla del Carmen para análisis de marea de tormenta.

Los valores de marea que se obtuvieron fueron similares en las distintas celdas (diferencias de tan sólo unos centímetros), de entre los que se seleccionó el máximo de todas ellas como la marea de tormenta representativa para introducir en los diferentes escenarios de simulación.

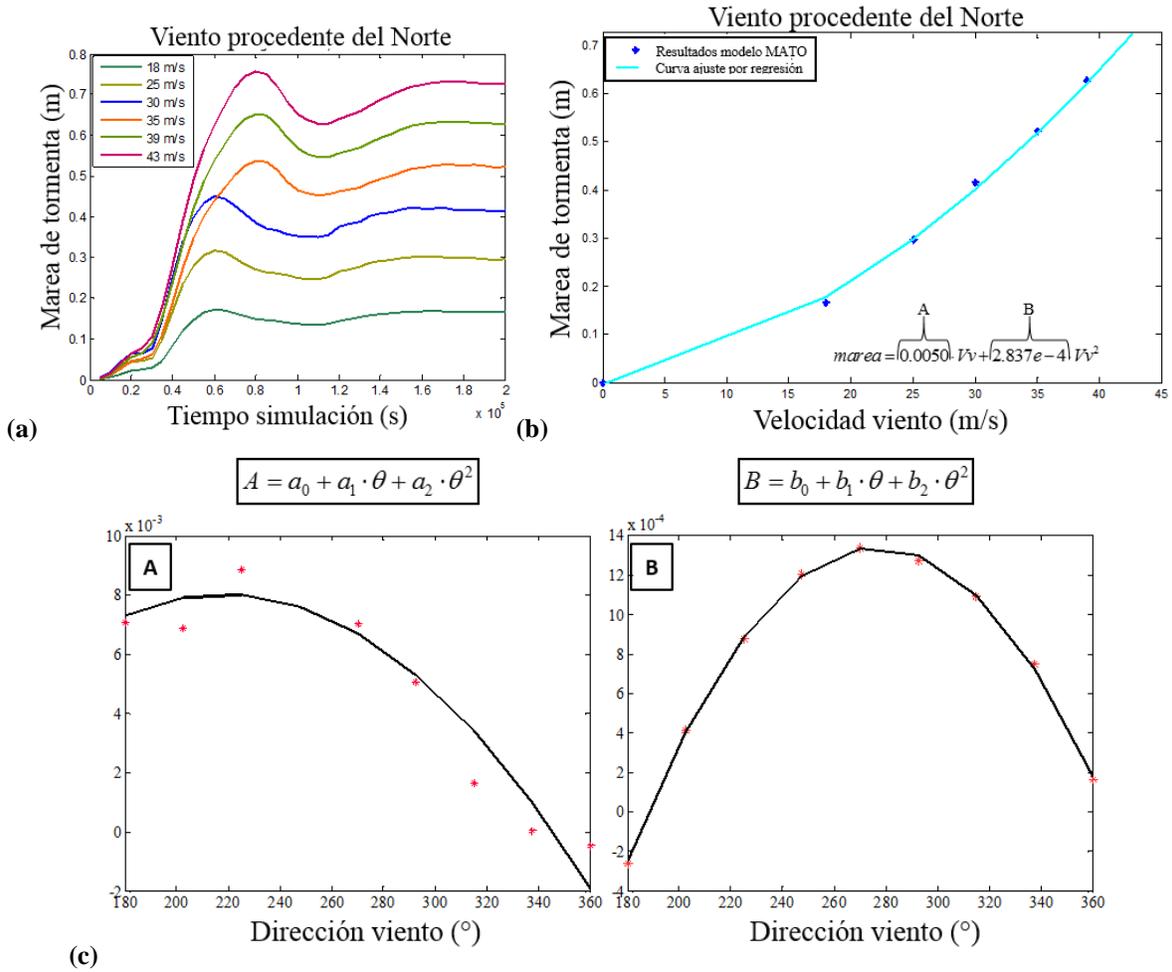


Fig II.2. Estimación de la marea de tormenta en función de la velocidad y dirección del viento: (a) marea en función del tiempo de simulación, (b) marea en función de la velocidad del viento V_v , (c) Ajuste de coeficientes A y B en función de la dirección del viento θ .

$$Marea_Tormenta = A \cdot V_v + B \cdot V_v^2 \quad (II.1)$$

donde: $A = a_1 + a_2 \cdot \theta + a_3 \cdot \theta^2 \rightarrow a_1 = -4.45e-2 \mid a_2 = 4.24e-4 \mid a_3 = -8.41e-007$

$B = b_1 + b_2 \cdot \theta + b_3 \cdot \theta^2 \rightarrow b_1 = -1.1e-2 \mid b_2 = 8.76e-5 \mid b_3 = -1.54e-007$

II.1.2. Análisis de tormentas

Se atendieron a tres criterios principales para definir las tormentas en el periodo de 1948 a 2010. Éstos son:

1. Altura de ola significativa de 2 m, definida como el umbral de altura de ola extrema (González, 2014).
2. Duración mínima de la excedencia sobre el umbral de 2 horas.
3. Discontinuidad de alturas de ola significativa superior o igual a 12 horas entre dos tormentas independientes.

Atendiendo a estos criterios se extrajeron y analizaron las tormentas de la base de datos de oleaje, resultando un total de 198 tormentas en el periodo de 1948 a 2010. A continuación se presentan las características de las tormentas identificadas en periodo de Nortes y de los huracanes que alcanzaron el área con mayor intensidad.

Nortes

Un total de 170 Nortes fueron identificados en el periodo de 1948 a 2010, con un número medio de 3 y máximo de hasta 8 Nortes por año (Fig. II.3).

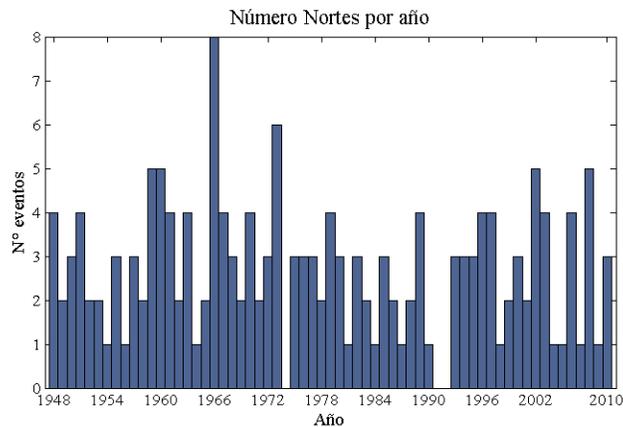
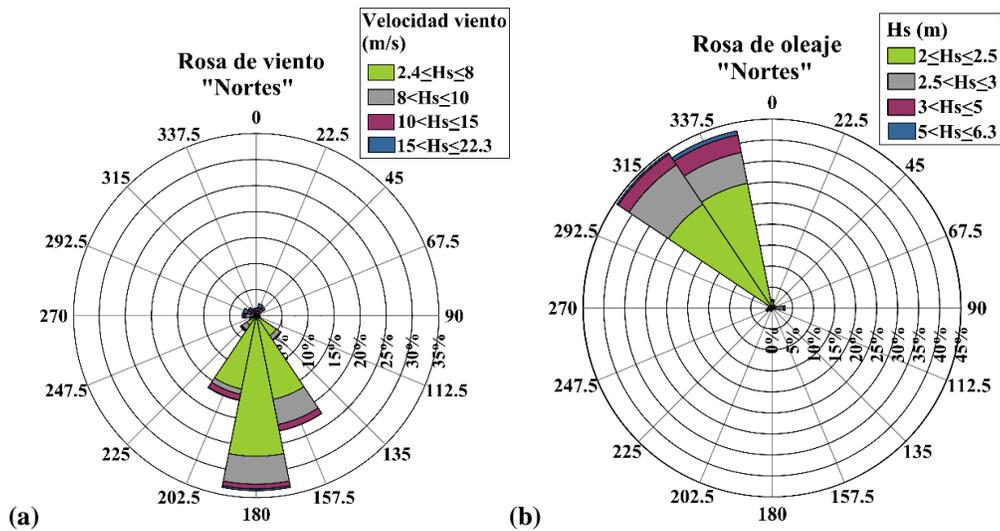


Figura II.3. Número de “Nortes” por año.

Las rosas de viento indican una velocidad del viento dominante de 2 a 8 m/s y máxima de 22 m/s, en direcciones procedentes del Norte, Norte-Noroeste y Norte-Nordeste. El oleaje predominante viene de direcciones Noroeste y Norte-Noroeste; con una altura de ola significativa más frecuente de 2 a 3 m, y máxima de 6 m.



*Nota: la dirección del viento indica hacia dónde se dirige; y la dirección del oleaje de dónde viene.

Figura II.4. Rosas de oleaje y viento en época de “Nortes”.

La altura de ola cuadrática media de los eventos oscila entre 2 y 5 m, con una duración mínima de 2 h (H_{rms} inferior a 2.5 m) y máxima de 6 días durante los eventos más persistentes (H_{rms} en torno a 4 m) (Fig. II.5). Los eventos más frecuentes muestran una duración de 5 a 24 h y una H_{rms} de 2 a 3 m.

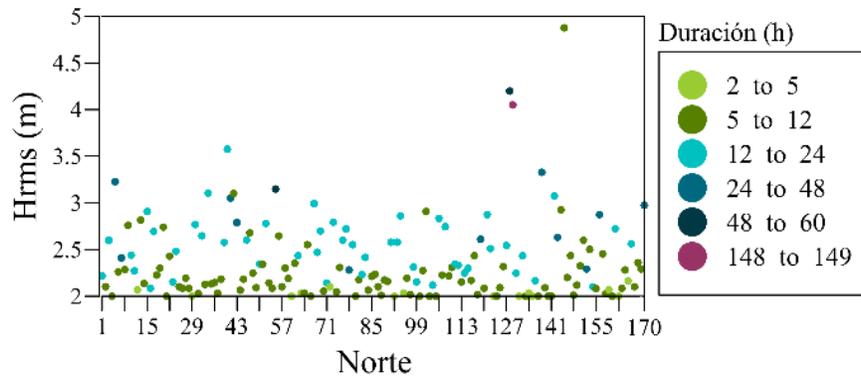


Figura II.5. Duración de los “Nortes” en función de la H_{rms} de cada evento.

Por otro lado, del análisis de probabilidad conjunta (Fig. II.6) se observa una dominancia de las tormentas con altura de ola significativa de 2 a 3 m, periodo de pico asociado de 5.5-6.5 s y de 10.5-11.5 s, y dirección procedente del sector entre Noroeste y Norte-Noroeste.

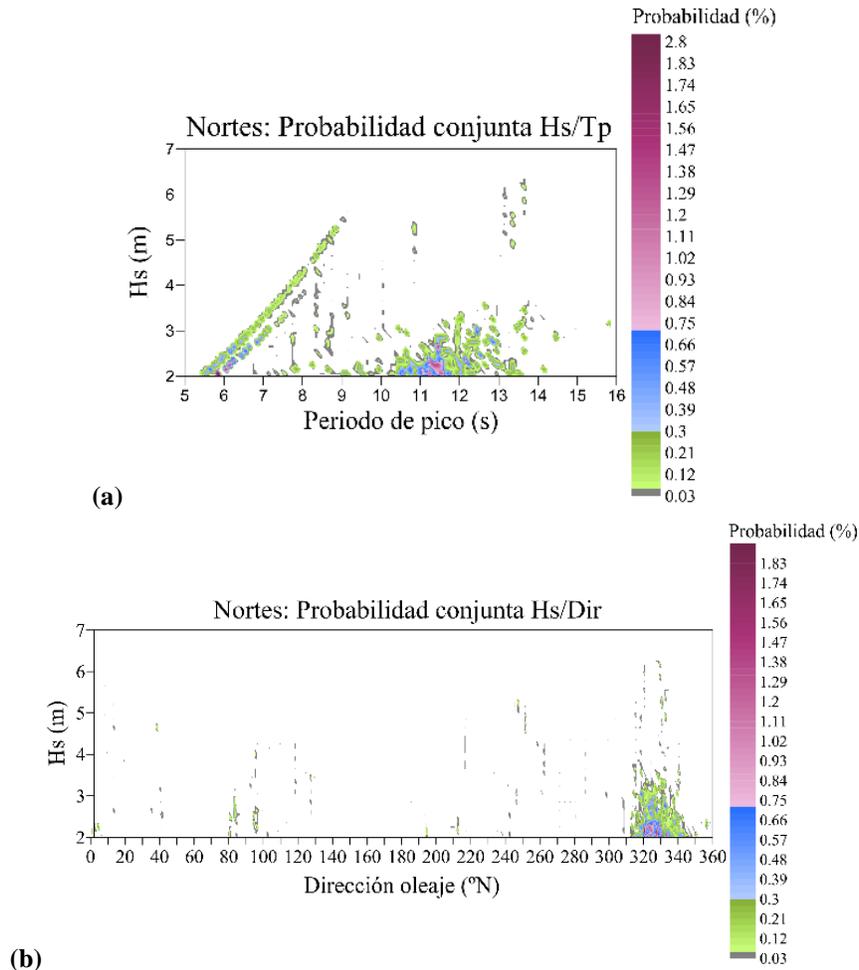


Figura II.6. Probabilidad conjunta altura de ola significativa Hs, periodo pico Tp y dirección de oleaje Dir: (a) Probabilidad conjunta Hs/Tp; (b) Probabilidad conjunta Hs/Dir.

En cuanto a la marea de tormenta, el valor máximo estimado es de 0.7 m y corresponde a una altura de ola significativa de 5 a 6.5 m y dirección de oleaje procedente del Noroeste a Norte-Noroeste (Fig. II.7).

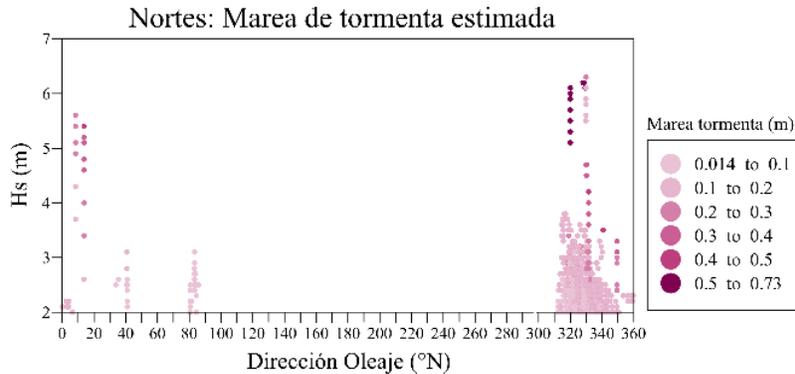


Figura II.7. Marea de tormenta estimada en los “Nortes”.

Como resumen de la caracterización del periodo de “Nortes”, se extrajeron los parámetros de oleaje y nivel del mar representativos de los eventos de “Norte” típico (más frecuente) y dos “Nortes” desfavorables, en cuanto a energía del oleaje se refiere (Tabla II.1).

Norte	Duraciónn (h)	H _{rms} (m)	T _{pmedio} (s)	Dir _{media} (°N)	MT _{media} (m)	MT _{max} (m)
Típico	25	2.3	11.5	325	0.3	0.3
Desfavorable 1	39	4.8	10.4	327	0.4	0.8
Desfavorable 2	6	4.9	8.5	8.4	0.2	0.3

Tabla II.1. Parámetros de oleaje y marea de tormenta del “Norte” típico y de los dos “Nortes” más desfavorables identificados en el periodo de 1948 a 2010.

Huracanes

Varios ciclones tropicales procedentes del Atlántico se aproximaron a la zona de estudio en el periodo de análisis. Las características de los que se consideraron más relevantes por la llegada de olas de mayor energía a la costa fueron extraídas e incluidas en la Tabla II.2.

Ciclón tropical	Inicio de tormenta	Duración (h)	H _{rms} (m)	H _{smax} (m)	T _{pmedio} (s)	T _{pmax} (s)	Dir _{media} (°N)	V _{vmedia} (m/s)	V _{vmax} (m/s)	Dir _{vmedia} (°N)	MT _{media} (m)	MT _{max} (m)
Hilda	16 Sep 1955	56	3.7	5	7.4	8.6	335	8.7	18.6	92	0.2	0.3
Janet	28 Sep 1955	34	6.7	10.3	9.8	12.4	60	23	35.7	86	0.5	0.7
Inez	7 Oct 1966	56	3.1	5.2	8.2	8.8	316	11.8	18.9	153.7	0.1	0.2
Brenda	20 Ago 1973	30	5.4	7.8	8.6	10.8	357	21	29.3	72	0.3	0.5
Opal	2 Oct 1995	60	4.0	5.4	7.7	8.9	64	14.5	18.6	200	0.03	0.06
Roxanne	11 Oct 1995	149	3.6	6.3	8.6	13.6	283	13.6	22.3	293	0.3	0.8
Mitch	3 Nov 1998	30	3.1	4.9	6.8	8.5	337	12.7	19.0	305	0.04	0.08
Keith	2 Oct 2000	73	2.0	3.7	5.5	7.5	337	8.3	14.8	319	0.08	0.2
Isidore	22 Sep 2002	83	3.2	6.6	9.7	11.5	299	11.3	20.5	258	0.16	0.23
Stan	3 Oct 2005	28	2.8	3.5	6.5	7.2	58	11.8	14.9	123	0.02	0.04
Dean	21 Ago 2007	28	4.9	8.6	8.6	11.3	65	18.3	31.2	112	0.07	0.4
Richard	25 Oct 2010	33	2.8	4.0	6.5	7.8	86	10.3	15.2	91	0.03	0.07

Tabla II.2. Parámetros de oleaje, viento y marea de tormenta (a 28 m de profundidad) de los ciclones tropicales que con mayor energía alcanzaron la costa de Isla del Carmen en el periodo de 1948 a 2010.

Duración de los eventos extremos

La Fig. II.8 muestra la duración media y máxima de los episodios de oleaje que se identificaron con una altura de ola significativa superior o igual a 2 m.

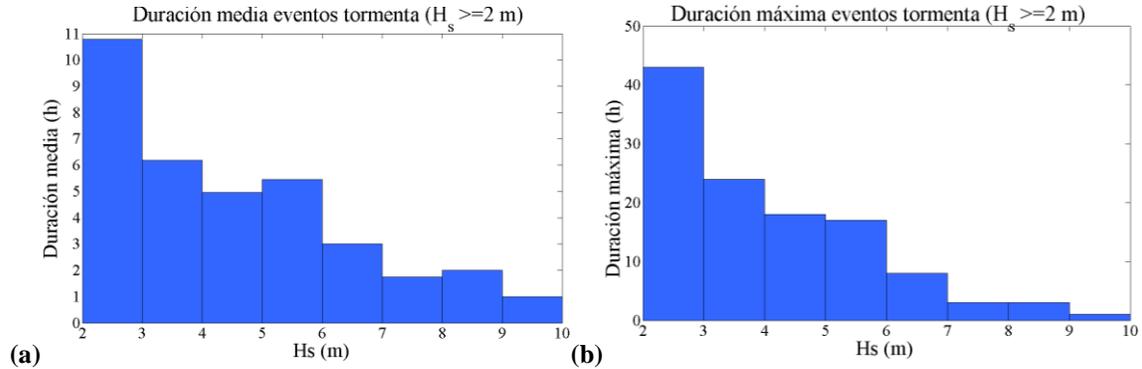


Figura II.8. Duración media y máxima de eventos de tormenta en función de la altura de ola significativa.

II.1.3. Régimen extremal de oleaje, viento y marea de tormenta

En la Fig. II.9 se muestran los resultados del análisis de distribución estadística de los valores extremos de intensidad de oleaje, representados por una altura de ola significativa igual o superior a 2 m; y de velocidad del viento, seleccionados a partir de un umbral de velocidad de viento de 8 m/s (González, 2014).

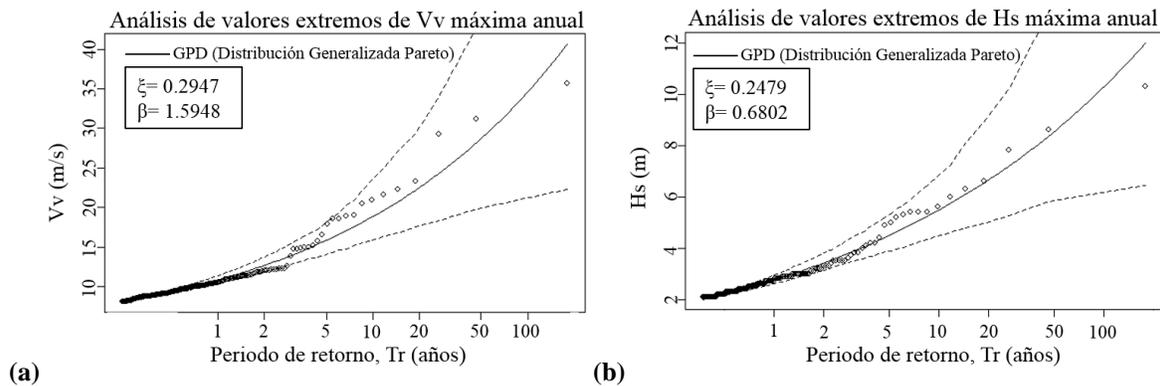


Figura II.9. Análisis de máximos anuales: (a) Velocidad del Viento; (b) Altura de ola significativa (González I., 2014).

A partir de las funciones de distribución teóricas ajustadas se extrajeron los valores de altura de ola significativa asociados a los periodos de retorno de interés (2, 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años (Tabla II.3).

Tr (años)	Hs (m)	Vv (m/s)
2	3.4	12.7
5	4.5	15.8
10	5.4	18.8
20	6.6	22.5
30	7.4	25.0
50	8.5	28.7
100	10.2	34.6

Tabla II.3. Altura de ola significativa Hs y velocidad de viento Vv para periodos de retorno Tr de 2, 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años.

A partir de la Ec. II.1, velocidad de viento extraída para cada periodo de retorno y dirección del viento más frecuente, se obtiene una aproximación de la marea de tormenta asociada a cada uno de ellos.

Tr (años)	Hs (m)	Vv (m/s)	ENE	NE	NNE	N	NNW	NW	WNW
2	3.4	12.7	0.13	0.22	0.28	0.31	0.30	0.25	0.17
5	4.5	15.8	0.17	0.31	0.41	0.45	0.43	0.37	0.25
10	5.4	18.8	0.22	0.42	0.55	0.60	0.59	0.50	0.35
20	6.6	22.5	0.28	0.56	0.74	0.83	0.81	0.70	-
30	7.4	25.0	0.33	0.67	0.89	1.00	0.98	0.85	-
50	8.5	28.7	0.41	0.85	1.14	1.28	1.26	1.10	-
100	10.2	34.6	0.55	-	-	1.80	1.79	-	-

Tabla II.4. Marea de tormenta estimada para Tr de 2, 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años.

Se observa la importancia de los vientos procedentes del Norte en el incremento del nivel del mar por marea de tormenta.

Del análisis de clima marítimo se obtiene que el oleaje, viento y marea de tormenta son las fuentes de peligro a considerar en la evaluación de riesgo en la costa de Isla del Carmen. La probabilidad de ocurrencia de estas fuentes de peligro en los escenarios de los próximos 10, 20, 30 y 50 años es analizada en el siguiente apartado.

II.2. Probabilidad asociada a las fuentes de peligro

El método de simulación Monte Carlo (Fox, 2009) se aplicó para obtener la probabilidad de ocurrencia de un determinado valor de altura de ola significativa y marea de tormenta en los próximos 10, 20, 30 y 50 años. El método fue programado en lenguaje Fortran a partir de los resultados del análisis de los datos de oleaje y viento (en el periodo de 1948 a 2010) y la expresión propuesta para estimar la sobreelevación de marea de tormenta para determinadas condiciones de velocidad y dirección de viento (Ec. II.1).

II.2.1. Altura de ola significativa

En cuanto al análisis de la altura de ola significativa, el proceso consistió en la obtención aleatoria de los siguientes parámetros:

- (a) Número de tormentas por año.
- (b) Duración promedio de las tormentas de cada año.
- (c) Duración individual de cada tormenta.
- (d) Altura de ola significativa que compone la serie de estados de mar de cada tormenta.

A continuación se especifican las condiciones que se impusieron al modelo y los datos de entrada que se utilizaron para la obtención de cada uno de los parámetros definidos anteriormente.

- (a) Número de tormentas por año

El método consistió en la generación de números aleatorios que variaban de 0 a 1, y la introducción de éstos en la inversa de la función de distribución teórica ajustada a los valores de probabilidad de no excedencia acumulada del número de tormentas al año (Fig. II.10). Para la base de datos utilizada, la función de distribución teórica de ajuste corresponde a la función de distribución de Poisson. En el escenario de los próximos 10 años se estimó el número de tormentas en cada uno de los 10 años que contienen la serie; y, mediante un proceso similar, el número de tormentas en un periodo de 20, 30 y 50 años para el resto de escenarios analizados.

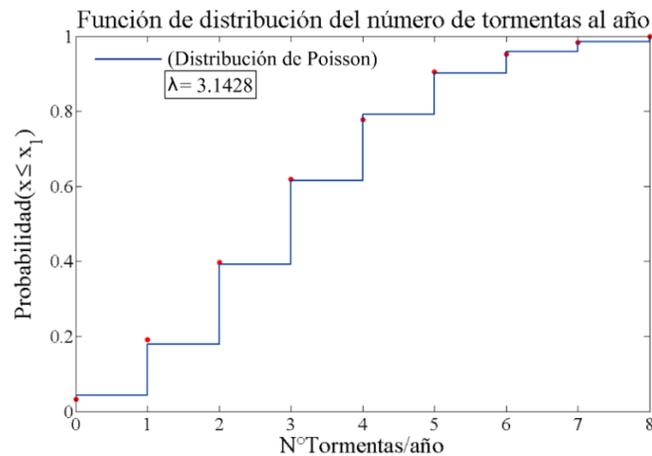


Figura II.10. Función de distribución empírica (en rojo) y teórica ajustada (en azul) de la serie de número de tormentas ocurridas al año.

Además, el número de tormentas en cada año fue forzado a que se encontrara en el rango definido por el valor mínimo y máximo del número de tormentas al año identificado en la base de datos histórica; y que además permitiera mantener el número medio de tormentas obtenido en el periodo de 1948 a 2010.

En resumen, el proceso de generación de número aleatorios se repitió hasta que el número de tormentas en cada año cumpliera las siguientes condiciones:

1. Función de distribución teórica inversa (Poisson).
2. Número máximo de tormentas por año: 8 tormentas.
3. Número mínimo de tormentas por año: 0 tormentas.
4. Número medio de tormentas en todos los años: 3 tormentas.

Un total de 400 iteraciones independientes (series de números aleatorios independientes entre iteraciones) fueron utilizadas (las series de números aleatorios son independientes entre iteraciones) para garantizar la validez estadística de los resultados.

(b) Duración promedio de las tormentas de cada año

De forma similar al procedimiento seguido para la obtención del número de tormentas por año, la duración media de las tormentas en cada año se obtuvo tras someter la simulación a las siguientes condiciones:

1. Función de distribución teórica inversa. La función de distribución teórica de ajuste de la serie de duración promedio de las tormentas al año corresponde a la función generalizada de valores extremos (GEV) mostrada en la Fig. II.11.

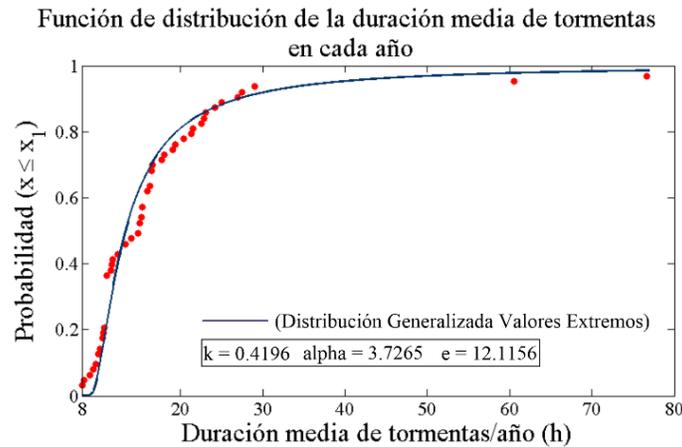


Figura II.11. Función de distribución empírica y teórica ajustada de la duración media de las tormentas al año.

2. Duración promedio de las tormentas de cada año mínima: 8 horas.
3. Duración promedio de las tormentas de cada año máxima: 76.6 horas.
4. Duración media en todos los años: 16.7 horas.

En este caso, el procedimiento también fue repetido hasta obtener 400 iteraciones.

(c) Duración individual de cada tormenta

Conocido el número de tormentas por año y la duración media de éstas, se asignó la duración de cada tormenta bajo las siguientes condiciones:

1. Función de distribución teórica inversa. La función de distribución de la duración de todas las tormentas identificadas en el registro se presenta en la Fig. II.12, con función de distribución teórica de ajuste la función generalizada de valores extremos (GEV).

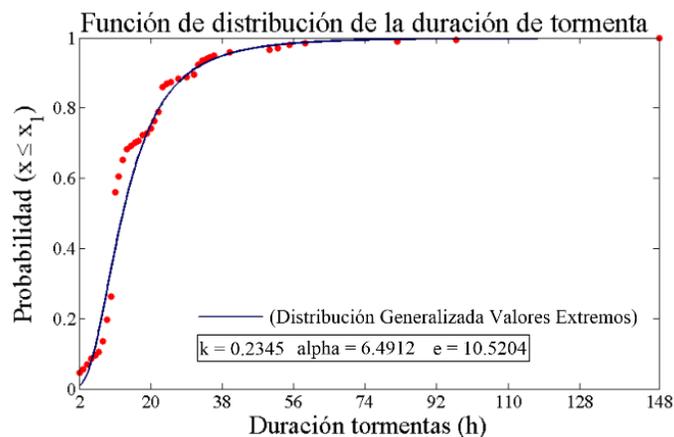


Figura II.12. Función de distribución empírica y teórica ajustada de la duración de las tormentas.

2. Duración mínima: 2 horas.
3. Duración máxima: 148 horas.

4. Duración media de las tormentas en cada año: dato de salida de la simulación anterior.

El procedimiento también fue repetido hasta obtener 400 iteraciones.

(d) Asignación de valores de altura de ola significativa

Conocida la duración de cada tormenta se asignaron valores aleatorios de altura de ola bajo las siguientes condiciones:

1. Función de distribución teórica inversa. La función de distribución que se utilizó es la función teórica de ajuste de los valores extremos de oleaje: función de distribución inversa de Pareto, presentada anteriormente en la Fig. II.9b.

2. Altura de ola mínima: 2 m (umbral seleccionado en la definición de las tormentas).

3. Altura de ola máxima: 10.3 m (altura de ola máxima del registro histórico).

4. Duración media de las tormentas en cada año: dato de salida de la simulación.

La independencia entre eventos se garantizó mediante la generación de series de números aleatorios independientes entre las tormentas.

II.2.2. Marea de tormenta

La obtención de los valores de marea de tormenta, y su probabilidad asociada en escenario de los próximos 10, 20, 30 y 50 años se realizó mediante la aplicación de la Ec. II.1 tras la generación de series de valores aleatorios de velocidad y dirección del viento. El procedimiento consistió en la obtención de los siguientes parámetros:

(a) Velocidad del viento, condicionada a los valores de altura de ola de tormenta.

(b) Dirección del viento.

(c) Marea de tormenta, como combinación de la velocidad y dirección del viento.

A continuación se especifican las condiciones y datos de entrada que se utilizaron en la aplicación del modelo de simulación.

(a) Velocidad del viento

De la base de datos de oleaje y viento se extrajeron los valores de velocidad del viento asociados a la altura de ola significativa definida en determinados intervalos de variación, y se ajustó una función teórica a la función de distribución de la velocidad del viento correspondiente a la altura de ola de cada intervalo. Se utilizaron intervalos de variación de la altura de ola de 0.5 m, desde una altura de ola 2 m a 6.5 m, y se ajustó una misma función de distribución para los datos de velocidad de viento correspondientes a una altura de ola superior (entre 6.5 m y 10.3 m) debido al número reducido de datos en este intervalo.

En la Fig. II.13 se observa una dependencia prácticamente lineal de la altura de ola significativa en función de la velocidad del viento.

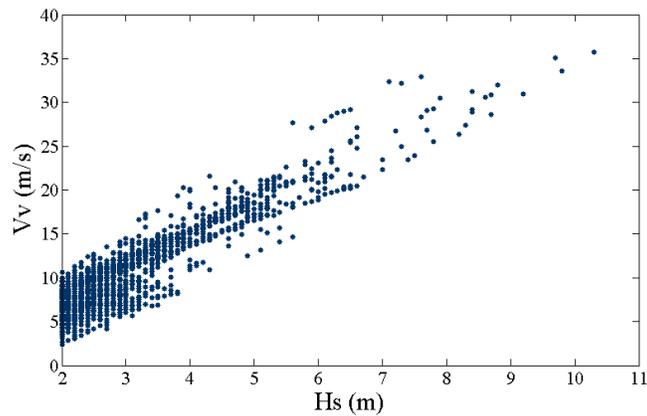


Figura II.13. Relación entre velocidad del viento y altura de ola significativa.

La Fig. II.14 muestra las funciones de distribución empíricas y teóricas ajustadas de velocidad del viento. Para la mayoría la función de distribución que mejor ajuste proporcionó fue la función generalizada de valores extremos (GEV); a excepción del correspondiente a los valores de velocidad asociados a altura de ola entre 4 y 4.5 m, donde se encontró un mejor ajuste por la función log-logística. En la Tabla II.5 se incluyen los parámetros de cada una de estas funciones de distribución teóricas.

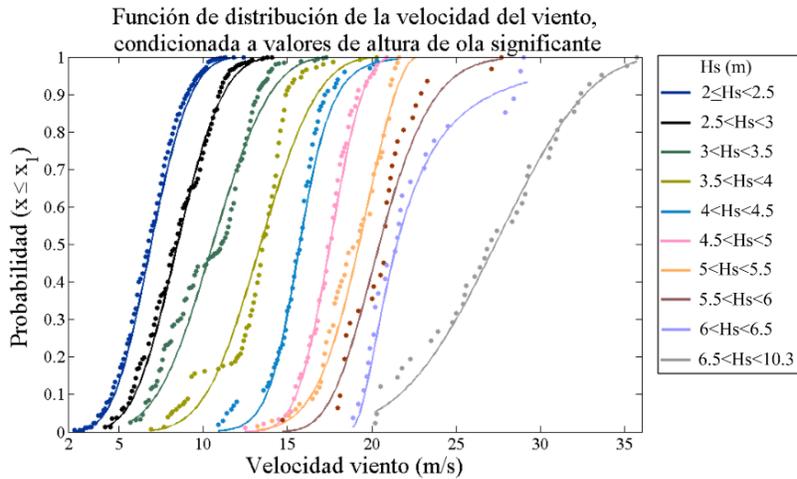


Figura II.14. Función de distribución empírica y teórica ajustada de la velocidad del viento asociada a determinados valores de altura de ola significativa.

Hs (m)	Distribución de distribución teórica	Parámetros
2-2.5	GEV	K=-0.238531 σ =1.70663 μ =6.32824
2.5-3	GEV	K=-0.255357 σ =1.98286 μ =7.79538
3-3.5	GEV	K=-0.283062 σ =2.56447 μ =9.68193
3.5-4	GEV	K=-0.279731 σ =2.52753 μ =12.5329
4-4.5	Log-logística	σ =0.0607819 μ =2.75583
4.5-5	GEV	K=-0.330819 σ =1.53052 μ =17.0007
5-5.5	GEV	K=-0.484757 σ =2.05315 μ =18.558
5.5-6	GEV	K=-0.144308 σ =2.21353 μ =19.6655
6-6.5	GEV	K=0.417516 σ =1.7223 μ =20.8007
6.5-10.3	GEV	K=-0.336889 σ =4.32178 μ =25.8212

Tabla II.5. Parámetros de las funciones de distribución teóricas de velocidad del viento.

Los valores aleatorios de velocidad de viento se asignaron teniendo en cuenta:

1. Función inversa de distribución teórica de velocidad de viento.
2. Velocidad mínima en cada rango de altura de ola significativa.
3. Velocidad máxima en cada rango de altura de ola significativa.

(a) Dirección del viento

Para cada velocidad de viento se asignó una dirección aleatoria que cumpliera:

1. Función inversa de distribución teórica de dirección del viento.

La Fig. II.15 muestra la función de distribución empírica (en rojo) y teórica ajustada (en azul) de la dirección del viento.

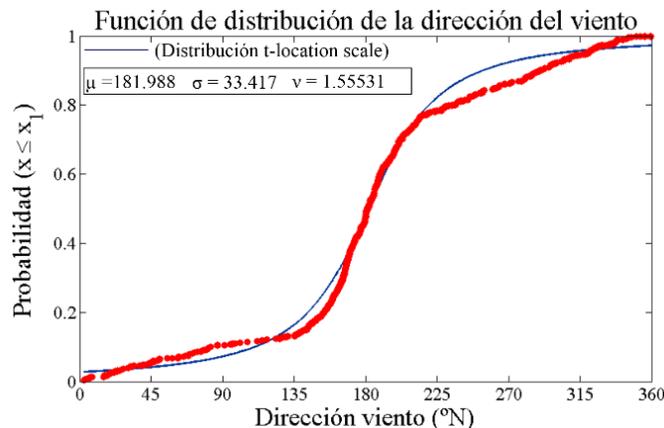


Figura II.15. Función de distribución empírica (en rojo) y teórica ajusta (en azul) de la dirección del viento.

2. Dirección de viento mínima: 2.6°

3. Dirección de viento máxima: 359.5°

(b) Marea de tormenta

La combinación de la velocidad y dirección del viento mediante la utilización de la Ec. II.1 permitió obtener valores aleatorios asociados de marea de tormenta. De éstos se extrajeron los valores positivos de marea, y se calculó su probabilidad asociada.

II.2.3. Resultados de simulación Monte Carlo

Los resultados que se obtuvieron del proceso de simulación Monte Carlo se muestran en las Fig. II.16a y Fig. II.16b para la altura de ola significativa y la marea de tormenta, respectivamente.

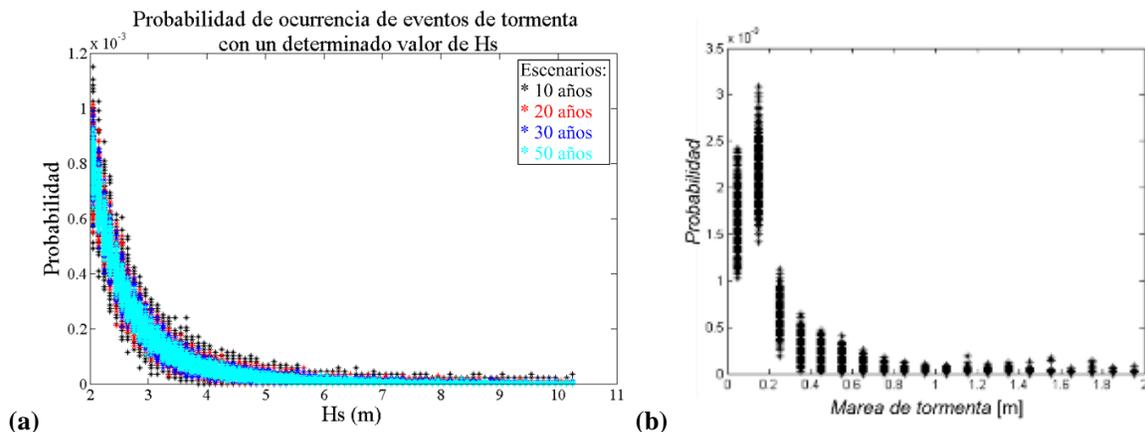


Figura II.16. Resultados de simulación Monte Carlo: (a) Altura de ola significativa; (b) Marea de tormenta.

BIBLIOGRAFÍA

Durán, G., 2010, Análisis del peligro por marea de tormenta en el Golfo de México, *Tesis de maestría*, UNAM, México, 136p.

Fox, J.P., 2009. A Monte carlo Approach to joint probability of wave, tide and surge in extreme water level calculations, Health and Safety Executive, *Research Report RR740*.

González, I., 2014. Aplicación de la Teoría de Valores Extremos para el Análisis de Eventos Hidrometeorológicos, *Tesis de licenciatura*, UNAM, México, 101p.

Márquez, A., Torres, V., Bolongaro, A., 2008. Estudio de la dinámica costera del litoral norte del municipio del Carmen, Campeche, *Universidad Autónoma del estado de Morelos*, 522p.

Palacio-Aponte, G., 2010. La morfología costera posthuracán como indicador de la intensidad de la amenaza por huracanes, *Interciencia*, 35(6), 400-406.

PMOET., 2009. Programa Municipal de Ordenamiento Ecológico y Territorial de Carmen; Campeche, Caracterización, 266p.

Posada, G., 2007. Modelo Numérico Hidrodinámico Tridimensional para la Predicción de la Evolución de una Descarga de una Substancia Conservativa de un Emisor Submarino, *Tesis de doctorado*, UNAM, México, 126p.

Sedesol, 2011. Atlas de Peligros Naturales del Municipio de Carmen, *Secretaría de Desarrollo Social, entrega final*, 139p.

Silva, R., Ruiz, G., Posada, G., Pérez, D., Rivillas, G., Espinal, J., Mendoza, E., 2007. Atlas de clima marítimo de la vertiente Pacífica Mexicana, *Instituto de Ingeniería*, UNAM, México.

Torres, V., Márquez, A., Bolongaro, A., Chavarría, J., Expósito, G., Márquez, E., 2010. Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debidos a efectos del cambio climático, In: *Botello, A.V., Villanueva-Fragoso, S., Gutiérrez, J., Rojas, J.I. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*, Semarnat-INE, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche, 414p, pp. 325-344.

Yañez-Arancibia, A., Day, J.W., Lara-Domínguez, A.L., Sánchez-Gil, P., Villalobos, G.J. & Herrera-Silveira, J.A., 2005. Ecosystem functioning: the basis for sustainable management of Terminos Lagoon, Campeche, Mexico, Xalapa, Veracruz, Mexico: *Instituto de Ecología, AC*.

<http://www.mareografico.unam.mx>