

Trayectoria más desfavorable de un huracán con intensa penetración del mar en el Malecón de la Habana mediante el modelo matemático SWAN

INTRODUCCIÓN

Como es conocido todos los años Cuba es atacada por intensos huracanes los cuales causan fuertes daños a la economía nacional y es necesario realizar grandes movimientos de evacuación de la población con los respectivos altos costos.

Otro elemento importante a destacar es el aumento en intensidad y frecuencia de estos fenómenos debido al Cambio Climático.

Los huracanes desarrollan fuertes vientos y lluvias capaces de destruir estructuras y producir intensas inundaciones, los intensos vientos generan olas de altura considerable cercanos a la zona de máximos vientos que provocan penetraciones del mar en las zonas costeras³.

Por tanto es de suma importancia predecir a través de modelos especiales la trayectoria del fenómeno para realizar diseños de obras de defensa más eficientes desde los puntos de vista funcional y económico, así como para desarrollar los planes de evacuación de las zonas de riesgo y utilizar los medios de comunicación para alertar a la población.

Es necesario continuar trabajando para la prevención de los daños creado por las inundaciones costeras (figura 1), ejemplo de ello fue las pérdidas provocadas por el huracán Wilma en octubre del 2005 en la Ciudad de La Habana, debido a las severas condiciones de oleaje el Hospital Hermanos Ameijeiras, perdiéndose equipos de alta tecnología médica y alto valor.

OBJETIVOS DEL TRABAJO

1. El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de los huracanes que han pasado por Cuba y han provocado inundaciones en el litoral norte de la Ciudad de La Habana

Resumen / Abstract

Huracanes de alta intensidad regularmente atacan la isla de Cuba con grandes daños y altos costos de evacuación de la población que habita en zonas vulnerables. Se presenta un análisis de los huracanes que han afectado la región para asistir en el diseño y construcción de soluciones que eviten fuertes penetraciones del mar, mediante el uso del modelo matemático SWAN. Estudios precedentes demuestran que no existe una relación simple entre intensidad del huracán y sus alturas de olas asociadas en un punto de la costa. Se muestran resultados de una investigación aplicando el modelo SWAN de la Universidad Tecnológica de Delft que se aplica en su forma no estacionaria para simular trayectorias posibles más desfavorables para la región de estudio.

Palabras clave: huracanes, inundación, oleaje, modelos matemáticos.

High intensity hurricanes attack frequently the Cuban island with great damages and high costs in the evacuation of people living in vulnerable areas. This paper presents an analysis of hurricanes that have affected the region to assist in the design and construction of solutions to prevent strong sea penetrations, by means of the SWAN mathematical model. Precedent studies have shown that a simple relationship between hurricane intensity and wave heights associated to it does not exist for a given point in the coastline. The paper shows the results of an investigation applying the SWAN model, developed by the Technological University of Delft. It is applied in its non stationary form to simulate the most unfavorable possible trajectories in the study region.

Keywords: hurricanes, flooding, waves, mathematical model.



Figura 1. Oleaje intenso

para brindar una información de mayor precisión que permitan ayudar al mejor desarrollo de los estudios y proyectos de las obras de protección contra penetraciones del mar en la Ciudad de la Habana, definiendo dos huracanes sintéticos que produzcan máximas inundaciones.

2. Presentar una herramienta matemática, el modelo matemático SWAN² para la generación y propagación del oleaje debido a huracanes en su forma no estacionaria.

METODOLOGÍA

Después de un estudio preliminar de los huracanes que han pasado por la Ciudad de La Habana, se concluyó que no existe una simple relación entre las características de los huracanes y las olas que ellos generan a lo largo de la costa de la Habana.

Ejemplo de ello es que el huracán Michelle su punto más cercano a las costas de la Habana no fue menor a 200 Km., causando intensa inundación, sin embargo el huracán Charley de igual intensidad pasó en un radio de 15 a.m. y produjo moderada inundación, finalmente el huracán Juan causó fuerte inundación siendo de menor intensidad que el Charley y nunca estuvo más cerca de la Habana que de 1000 Km.

- Para determinar las condiciones de oleaje más severas en las costas habaneras producto de huracanes se realiza un estudio estadístico de los datos históricos de estos eventos severos, también se realizan estudios comparativos entre trayectorias de los huracanes y otras variables de importancia en la generación del oleaje, esta etapa es necesaria para la confección de las trayectorias sintéticas de los huracanes que provoquen los efectos más desfavorables en las costas del Litoral Habanero.

- En primera aproximación se modela el huracán a través de un modelo empírico simple propuesto por Ochi (2003)⁴, el objetivo es conocer el nivel de precisión de estos modelos en la predicción de las alturas de olas significativas, esta comprobación se realiza comparando los resultados del modelo con los datos medidos por las bo-

yas de la NOAA en el Golfo de México.

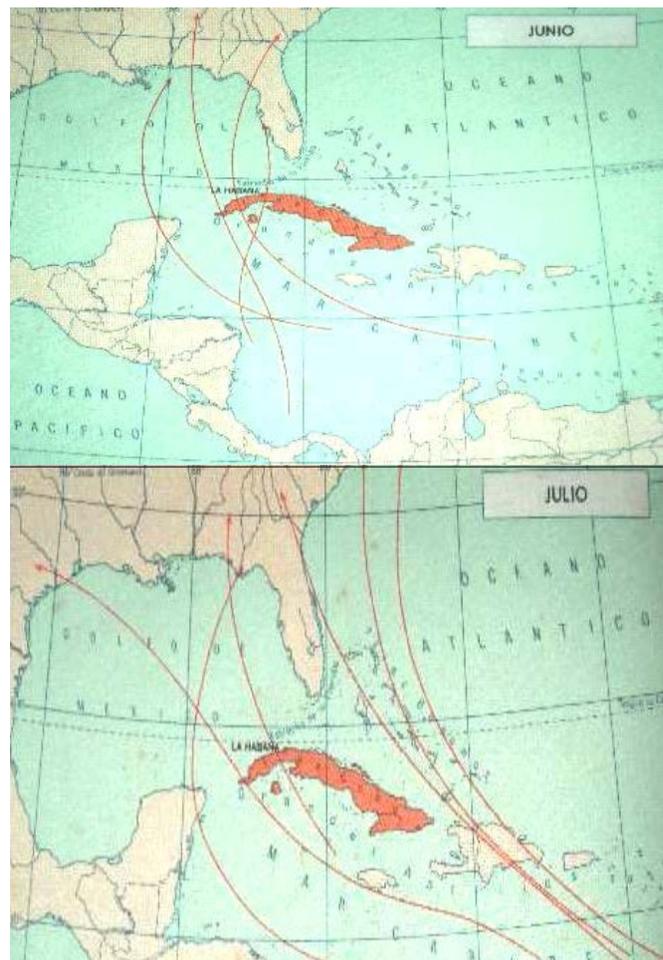
- Se definen las trayectorias más desfavorables creando huracanes sintéticos.

- Validación y calibración del modelo numérico SWAN en su forma no estacionaria aplicándose a un huracán real, en este caso se modela el huracán Wilma (2005), se realizan las corridas del modelo aplicando dos distribuciones de vientos producidos por el huracán y se comparan con datos medidos por los boyas de la NOAA en el área de estudio.

- Aplicación del modelo SWAN en su forma no estacionaria a los huracanes sintéticos, esta última etapa de la metodología no se reporta en este trabajo porque se encuentra en desarrollo actualmente.

ESTUDIO DE LAS TRAYECTORIAS DE LOS HURACANES

A continuación se presentan un conjunto de dibujos (figura 2) que muestran las trayectorias mensuales de ciclones y huracanes durante la temporada ciclónica obtenidos de la NOAA y Atlas Nacional de Cuba.



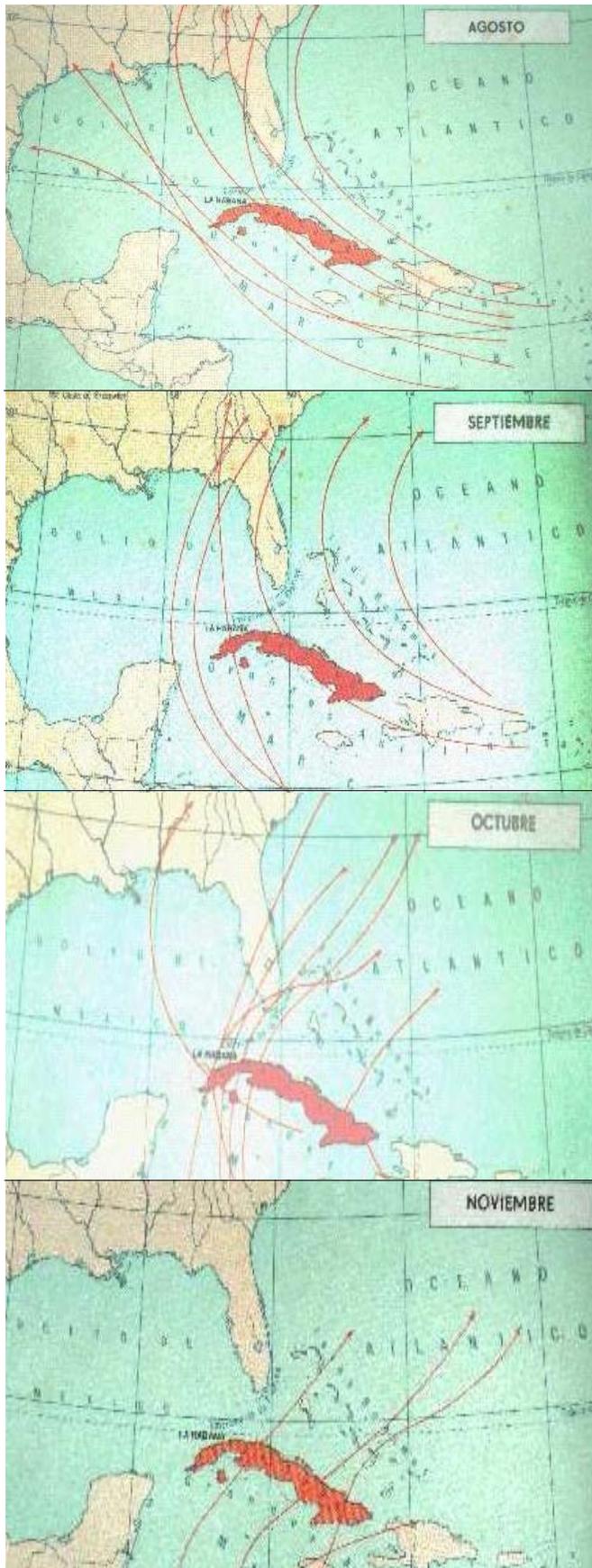


Figura 2. Trayectorias mensuales

Como resultado del análisis de la información mostrada se puede resumir que las trayectorias de los ciclones y huracanes esta regido por las áreas de altas presiones en el territorio de los Estados Unidos de Norteamérica y el régimen de vientos a altos niveles de la atmósfera que rigen el movimiento de los huracanes. Los meses donde la trayectoria del los ciclones y huracanes han afectado mayormente a la Ciudad de La Habana son agosto, septiembre y octubre. Sin embargo no se puede concluir que se hayan producido en estos meses las penetraciones del mar que hayan causado las inundaciones en el litoral norte de la Ciudad de La Habana. Por tal motivo se hace necesario un estudio estadístico que interrelaciones penetraciones del mar dígase inundación costera y características de fenómenos severos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La probabilidad de un huracán que afecte La Habana cambia cada mes, tomando una serie histórica desde 1785 hasta 1984 de información obtenida del Atlas Nacional de Cuba se concluye que el mes de Octubre es el de mayor probabilidad de que los huracanes afecten el litoral habanero. En este período de 200 años, 108 huracanes han afectado a Cuba, de ellos 55 han afectado la Ciudad de la Habana. A continuación se presenta un gráfico (figura 3) que representa por mes el número de huracanes que han afectado Cuba y La Habana.

Los que han afectado La Habana puede ser por intensas lluvias, intensos vientos o inundaciones costeras. Para analizar los que han producido penetraciones del mar se utiliza una serie de datos donde aparecen registrados el nivel de intensidad de las penetraciones del mar. Esa serie cubre un período de 30 años desde 1975 hasta 2005. A continuación se muestra la figura 4 que representa los períodos de retorno y su relación con la intensidad de las inundaciones.

A partir del análisis de la información mostrada se puede concluir que existe un incremento de la cantidad de huracanes que producen penetraciones del mar en los últimos años, esto asociado al cambio climático que ha incrementado la frecuencia e intensidad de estos fenómenos. También se señala que pueden ocurrir con frecuencias similares las diferentes categorías de inundación y con una frecuencia ligeramente menor las de categorías fuertes.

Por último se analiza el período de retorno de los huracanes por meses de la temporada ciclónica, considerando la intensidad de las inundaciones observándose una vez más que en el mes de Octubre ocurren con mayor frecuencia las afectaciones, una cada 13 años. La figura 5 siguiente muestra los resultados estadísticos.

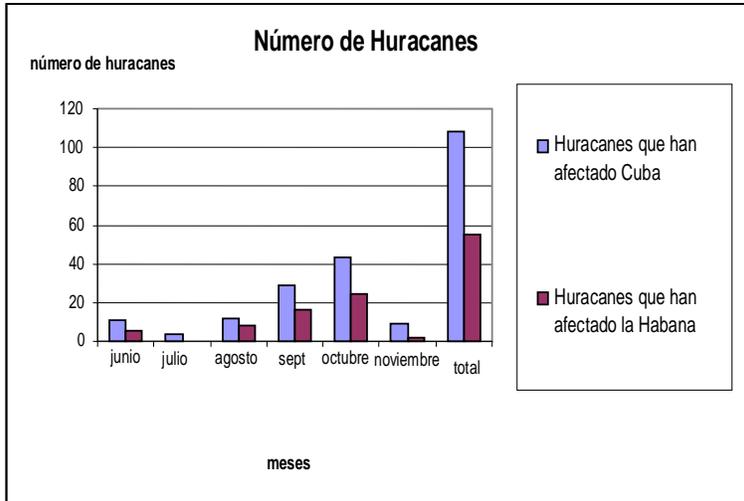


Figura 3. Huracanes en Cuba y la Habana

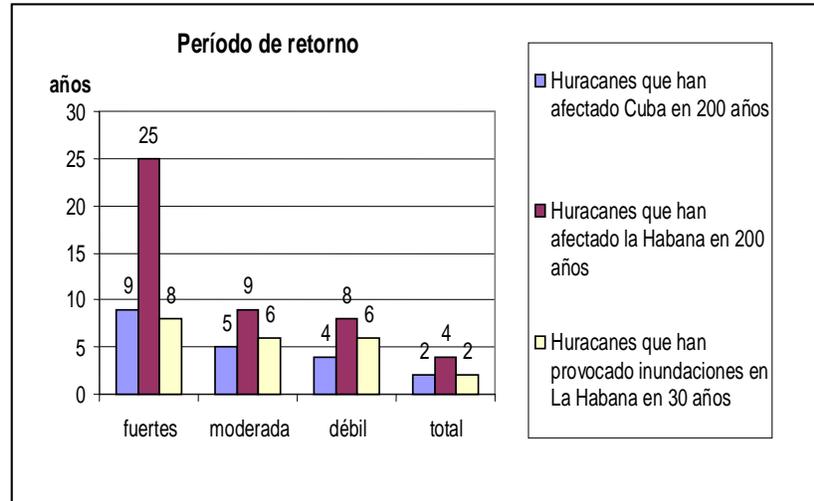


Figura 4. Periodos de retorno.

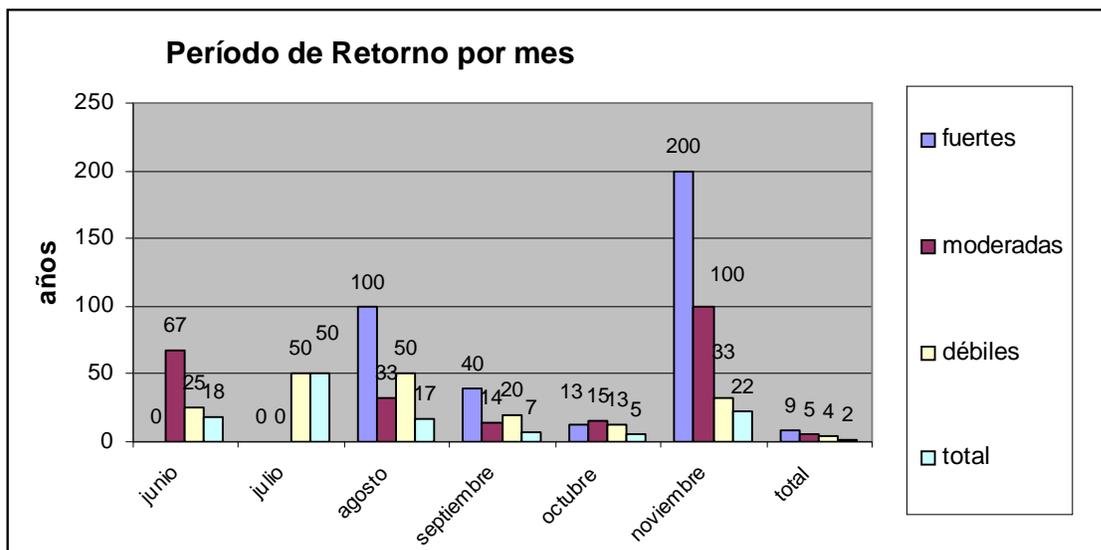


Figura 5. Periodos de retorno mensuales.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE HURACANES

El objetivo de este análisis es definir cuales son los niveles de influencia de los diferentes factores que caracterizan a un huracán y su vinculación con la posibilidad de inundar el área de estudio^{5, 6}.

Metodología de análisis.

- Se seleccionan y analizan los factores para condiciones severas sobre trayectoria reales.
- Se estudian las trayectorias de los huracanes seleccionado a partir de los datos brindados por NOAA, la posición de huracán es medida cada 6 horas y los datos de presión, velocidad máxima de los vientos, velocidad de traslación, categoría y dirección son brindadas.
- Con la Base de Datos de niveles de inundación del Instituto de Meteorología de la ACC de Cuba se obtiene información del punto de impacto y la posición que gene-

ra las peores condiciones de oleaje.

- Se realiza comparación entre trayectorias similares de los eventos meteorológicos y su influencia en los niveles de inundación.
- Se define los huracanes sintéticos que pueden producir las condiciones más desfavorables de alturas de olas en las costas de las áreas de estudio a partir de la combinación de las variables estudiadas.

Las variables que se analizan son las siguientes:

1. Intensidad de la inundación.
2. Altura de ola significativa.
3. Surgencia
4. Categoría
5. fetch.
6. Angulo de desplazamiento.
7. Velocidad de desplazamiento.

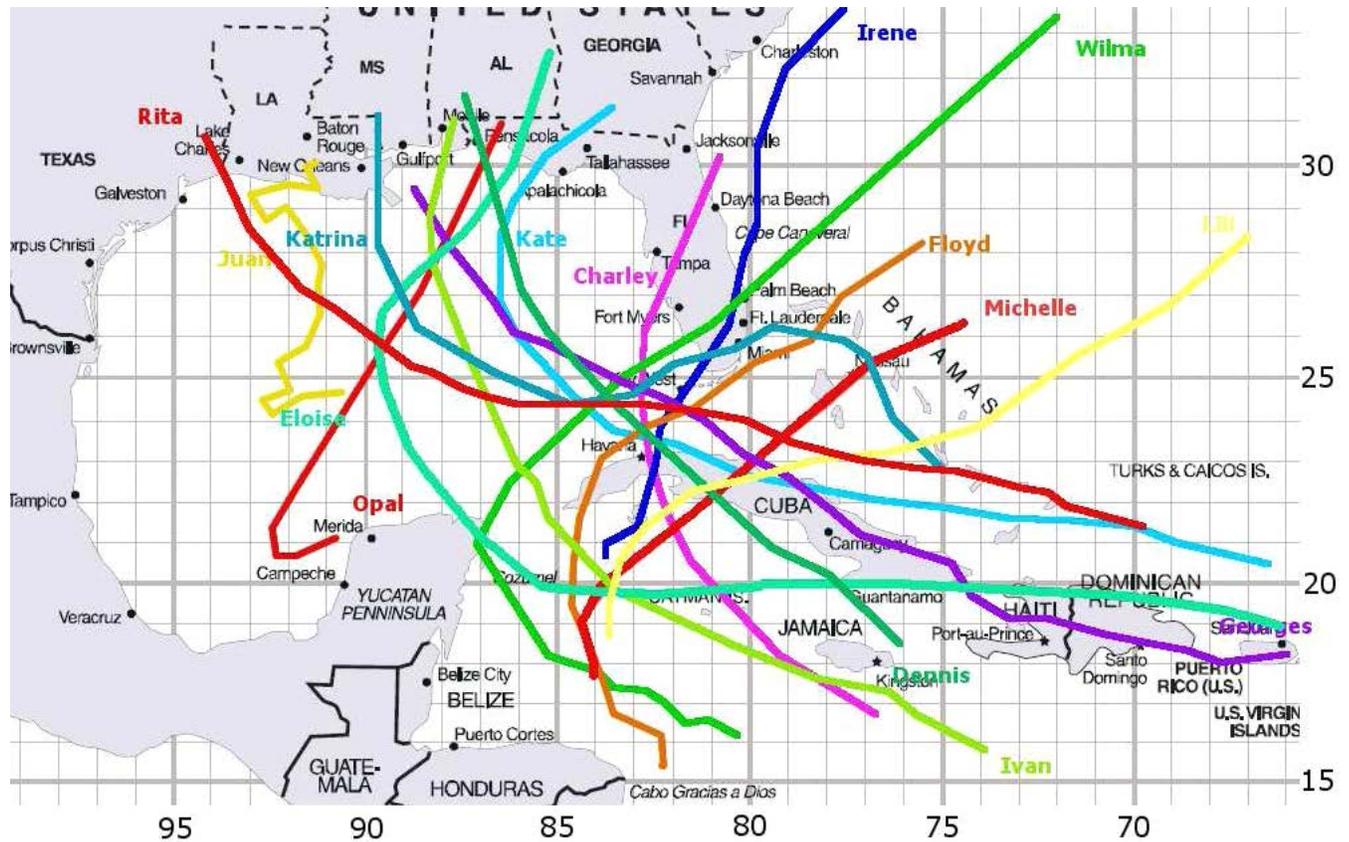


Figura 6. Imagen de las trayectorias.

- 8. Situación del estado del mar antes que se produzcan las peores condiciones de oleaje.
- 9. Radio del huracán.

Para realizar el análisis 14 trayectorias de huracanes fueron seleccionados desde 1975 hasta 2005, de acuerdo con el Instituto de Meteorología de la ACC de Cuba. Cada huracán se analiza individualmente a continuación se presenta un gráfico (figura 6) y la tabla 1 que resumen todas las trayectorias y variables para los 14 huracanes seleccionados.

Análisis comparativo de trayectorias similares.

Este análisis es necesario ya que existen huracanes con trayectorias similares sin embargo producen inundaciones de diferente magnitud. A continuación se presenta la figura 7 que muestra las combinaciones de eventos con similares trayectorias y posteriormente se realizan los comentarios para cada figura en la tabla 2.

A partir del análisis de las tablas anteriores se puede concluir:

- 1. La persistencia o duración del evento a cierta distancia, fundamentalmente en los fetch más largos es importante en la generación de altas olas y fuertes inundaciones, esto es más determinante que la categoría del huracán.

2. Otro factor importante es el ángulo de desplazamiento del huracán respecto al punto de estudio, existe una gran diferencia cuando las olas vienen del cuadrante 1 que cuando avanzan del cuadrante 3.

3. Cuando el huracán se desplaza a baja velocidad y esta cercano a la costa se produce elevada surgencia que favorece las inundaciones de moderada a intensa.

4. Los sectores de desplazamiento del huracán que producen mayor inundación, tomado como referencia el norte (0 grados) son los siguientes:

- Los que avanzan desde este entre 315 grados y 360 grados.
- Los que avanzan desde el oeste entre 0 grados y 50 grados

5. Los eventos que no tocan tierra son los que producen mayor inundación ya que no se debilitan.

6. Los huracanes de mayor categoría en la escala Saffir-Simpson que cumplen con los elementos antes señalados producen las mayores inundaciones.

7. El tipo de trayectoria que produce las mayores penetraciones del mar son típica de los meses de Octubre y Septiembre.

DEFINICIÓN DE LAS TRAYECTORIAS SINTÉTICAS MÁS DESFAVORABLES

A partir de los resultados de los análisis realizados en los epígrafes anteriores existe una mejor claridad de la

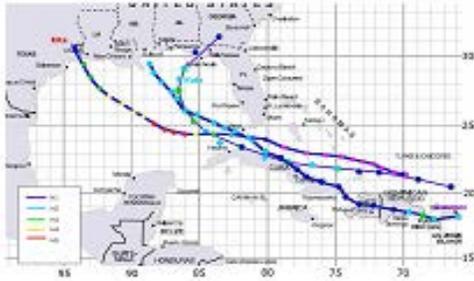
Tormenta	Hs (m)	Intensidad de la inundación	fecha	Duración (h)	Surgencia (m)	Categoría	Distancia De la costa	Feich (km.)	Ángulo (grados)	Cuadrante que afectala Habana	Veloc. Desplazamiento (km/h)	Estado del mar previo
Eloise	5,4	Fuerte	23-9-75	6	1,21	1	700	700	360	4	4	Calma
Kate	5	Moderada	19-11-85	-	1,23	1-2	40	40	290	2-3	8	Calma
Juan	5,8	Fuerte	29-10-85	6	1,44	1	1000	1000	335	4	4	-
Floyd	5,2	Fuerte	12-10-87	3	1,07	1	80	100	50	1-4	7	-
Opal	3,2	Débil	4-10-95	-	-	2	200	200	35	4	6	-
Irene	4	Débil	15-10-99	-	-	1	20	50	30	3	3	-
Lili	-	No inundación	10-1996	-	-	1	250	300	60	3	7	-
George	4	Débil	25-9-98	-	-	2	200	200	285	2-3	6	-
Michelle	7	Moderada	11-2001	-	-	1	200	200	30	2-3	3	-
Charley	-	Moderada	8-2004	-	-	2-3	19	100	340	3-4	7	-
Iván	-	Moderado	9-2004	-	-	4	200	200	330	1-4	3,5	-
Dennis	-	Moderada	7-2005	-	-	1	50	100	340	2-3	7	-
Rita	-	Moderada	9-2005	-	-	2-3	200	200	270	2	4	-
Wilma	6	Fuerte	10-2005	9	1,53	2	200	200	45	1	4	-

Tabla 1. Datos de las trayectorias

Irene y Floyd



Kate, Georges y Rita



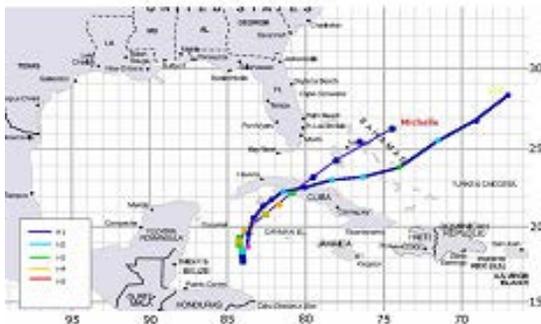
Opal y Eloise



Michelle, Floyd y Wilma



Michelle y Lili



Georges y Wilma

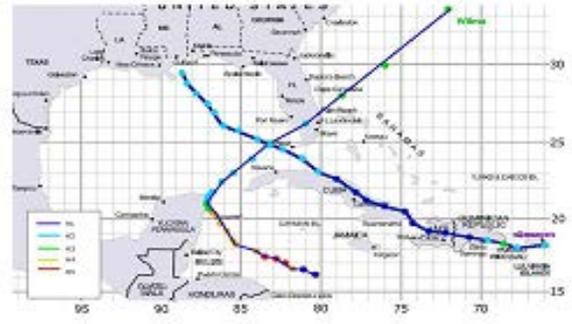


Figura 7. Combinaciones de trayectorias similares

influencia de los diferentes factores y su interacción con la categoría de la inundación costera, por lo que se presentan dos trayectorias más desfavorables trayectorias los siguientes aspectos:

1. Se define que la categoría del huracán es 4 en la escala Saffir-Simpson.
2. La velocidad de traslación del huracán es baja, en el orden de 4 km/h.
3. El evento se desarrolla principalmente en el mar, es decir no ha tenido previamente contacto con tierra.
4. El fetch simulado será medio, lo cual permita la existencia de importantes niveles de surgencia.
5. El ángulo respecto a la Ciudad de La Habana estará en los rangos antes mencionado para que los cuadrantes 1-2 sean los que afecten la zona de estudio.

Trayectoria I

Se toma como punto de partida las trayectorias de los huracanes Wilma y Floyd, ambos produjeron fuertes inundaciones, para incrementar sus efectos se aumentará el

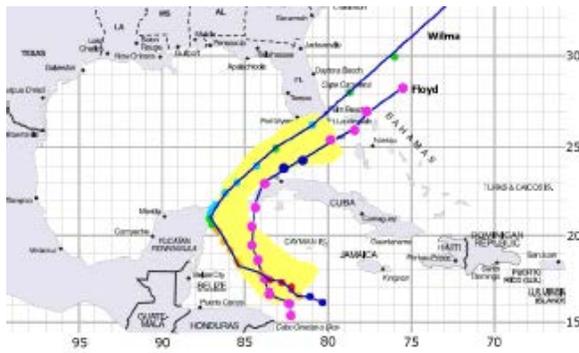
fetch y la categoría del huracán sintético (figura 8 y tabla 3).

Trayectoria II

Se toma como punto de partida las trayectorias de los huracanes Kate y Rita, cuales ocasionaron moderadas inundaciones, para incrementar su efecto se incrementará la categoría y fetch del sintético, estas trayectorias son similares a las que ocurren en el mes de septiembre (figura 9 y tabla 4).

Tabla 2. Observaciones sobre las combinaciones

Eventos comparados	Análisis realizado
Irene y Floyd	Este es un caso interesante, ambos tiene similar categoría y trayectoria, Floyd causó fuerte inundación e Irene débil, se explica ya que Floyd pasó por la parte oeste de la Habana y más tiempo en el mar afectando con el cuadrante 2 de mayor intensidad.
Kate, Georges y Rita	Los tres de mueven cerca de La Habana y su categoría es similar, la diferencia radica en su distancia de la zona de estudio, velocidad de traslación, diferentes ángulos y no todos tocan tierra. Kate pasa más cerca produciendo mayor surgencia, Rita mejor ángulo cuadrante 2 y 3
Opal y Eloise	Pasan a larga distancia de La Habana, Opal es más fuerte sin embargo ocasiona menor inundación ya que tiene mayor velocidad de traslación que Eloise.
Michelle, Floyd y Wilma	Todos causan fuerte y moderada intensidad, tiene igual dirección. Los huracanes que pasan desde el oeste por La Habana los ángulos son favorables, siendo afectado por los cuadrantes 1 y 4. Los vientos son fuertes también por la categoría de los mismo y corto fetch.
Michelle y Lili	Tienen igual dirección sin embargo Michelle causo inundación y Lili no. La trayectoria cambió después de salir de tierra, Lili giró al este e incremento su velocidad de movimiento, mientras Wilma continuó al noreste con menor velocidad.
Georges y Wilma	Esta comparación se realiza entre dos eventos con dirección diferentes, Wilma produce fuerte inundación Georges débil, categorías similares y similar distancia del área de estudio, la variable que influye es el ángulo de dirección que muestra el cuadrante que afecta. Wilma esta afectando cuadrante 1 – 4, Georges cuadrantes 2 – 3.



Trayectorias del Wilma y Floyd

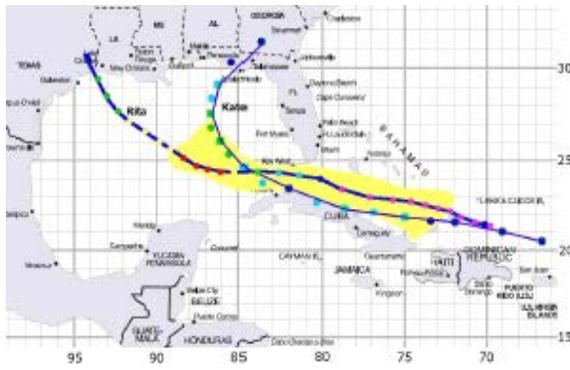


Trayectoria del huracán sintético I

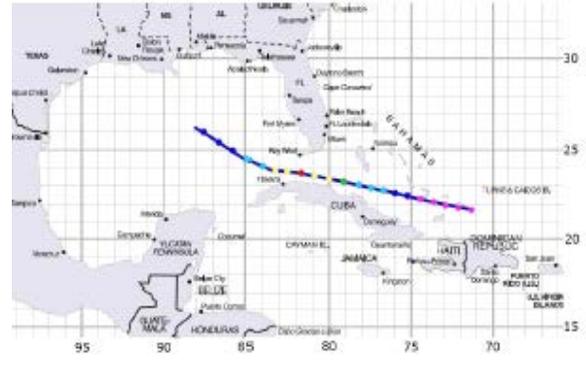
Figura 8. Trayectorias de Wilma y Floyd y sintética I

Tabla #3. Trayectoria del huracán sintético I

Day	Hour	Latitude N	Longitude W	Wind speed (m/s)	Pressure (mb)	Category
1	0:00	20	86	33	989	1
1	6:00	20,8	86,6	35	985	1
1	12:00	21,2	86,8	40	981	1
1	18:00	21,8	86,7	55	950	3
2	0:00	22,3	86,4	60	940	4
2	6:00	22,8	86	64	933	4
2	12:00	23,2	85,6	70	917	5
2	18:00	23,8	84,8	75	910	5
3	0:00	24,2	83,9	71	915	5
3	6:00	24,8	83	60	937	4
3	12:00	25,2	81,8	55	954	3
3	18:00	26	80	35	990	1



Trayectorias del Kate y Rita



Trayectoria del huracán sintético II

Figura 9. Trayectorias de Kate y Rita y sintética II

Tabla 4. Trayectoria del huracán sintético II

Day	Hour	Latitude N	Longitude W	Windspeed (m/s)	Pressure (mb)	Category
1	0:00	20	86	33	989	1
1	6:00	20,8	86,6	35	985	1
1	12:00	21,2	86,8	40	981	1
1	18:00	21,8	86,7	55	950	3
2	0:00	22,3	86,4	60	940	4
2	6:00	22,8	86	64	933	4
2	12:00	23,2	85,6	70	917	5
2	18:00	23,8	84,8	75	910	5
3	0:00	24,2	83,9	71	915	5
3	6:00	24,8	83	60	937	4
3	12:00	25,2	81,8	55	954	3
3	18:00	26	80	35	990	1

Modelación de la trayectoria de los Huracanes

En este epígrafe se presenta la modelación en primera aproximación de huracanes reales a través de modelos empíricos sencillos Ochi (2003) y posteriormente los resultados de la modelación en forma no estacionaria aplicando el modelo numérico SWAN.

Se aplica el siguiente modelo empírico:

No se tiene en cuenta fetch

$$H_s = 0,24\bar{U}_{10} \quad \text{mar en calma}$$

$$H_s = 0,078\bar{U}_{10}^{1,57} \quad \text{mar agitado}$$

Se tiene en cuenta fetch

$$H_s = 0,0048U^{1,68} X^{0,162} \quad \text{mar en calma}$$

$$H_s = 0,0072U^{1,68} X^{0,162} \quad \text{mar agitado}$$

Frecuencia modal

$$f_m = 5,89U^{-0,58} X^{-0,21} \quad \text{mar en calma}$$

$$f_m = 5,10U^{-0,58} X^{-0,21} \quad \text{mar agitado}$$

Donde H_s es altura de ola significativa (m), U es velocidad del viento (m/s), X es longitud de fetch (m) y f_m frecuencia modal en seg^{-1}

Se realizan los cálculos de altura de ola durante 24 horas a intervalos de 3 horas cuando la posición de los huracanes Wilma y Kate estuvo cercana a las boyas de la NOAA 42001; 42002 y 42003 en el Golfo de México, la velocidad del viento utilizada es la brindada por la propia boya, se realiza los cálculos del error relativo, así como se realiza la comparación entre los valores medidos y calculados por el modelo empírico. A continuación se presentan las tablas 5, 6, 7 y 8 que muestran el resultado del error relativo para ambos huracanes.

Tabla 5. Huracán Kate

	Datos no filtrados	Datos filtrados
Error relativo promedio Hs	0,32	0,22
Máximo error relativo Hs	0,64	0,52

Tabla 6. Huracán Wilma

	Datos no filtrados	Datos filtrados
Error relativo promedio Hs	0,29	0,17
Máximo error relativo Hs	0,53	0,16

Tabla 7. Huracán Kate

	Datos no filtrados	Datos filtrados
Error relativo promedio Tp	0,37	0,33
Máximo error relativo Tp	1,27	1,26

Tabla 8. Huracán Wilma

	Datos no filtrados	Datos filtrados
Error relativo promedio Tp	0,28	0,39
Máximo error relativo Tp	0,58	0,58

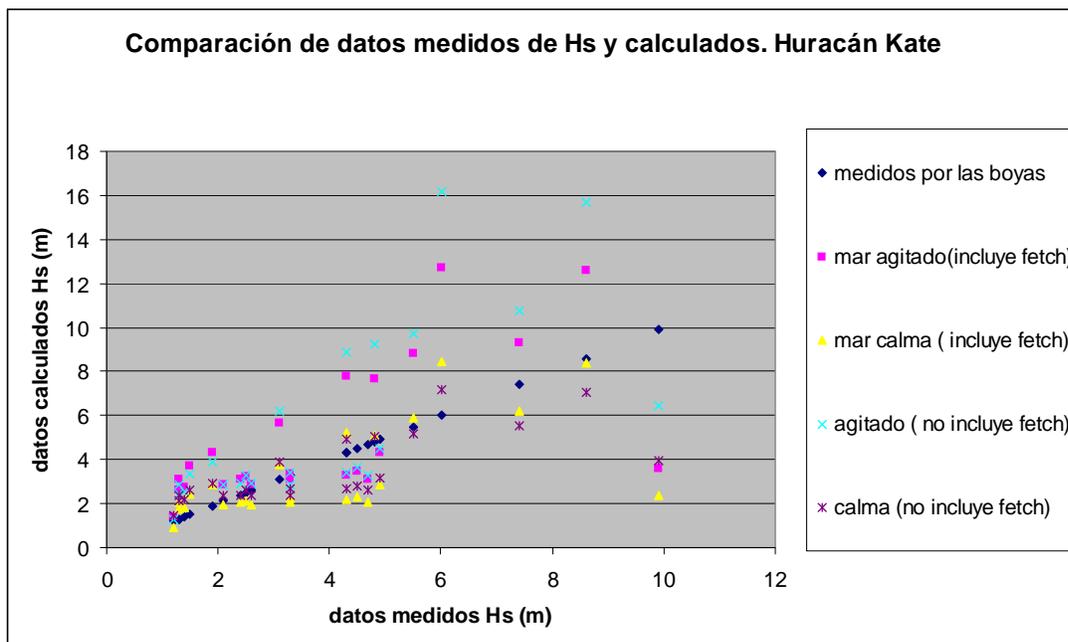


Figura 10. Comparación entre los datos medidos y los calculados por el método empírico.

Como resultado de la aplicación del modelo empírico se concluye que el mismo no representa con precisión los datos medidos tanto para las alturas de ola significativa como los períodos picos del oleaje que se observa en la magnitud del error relativo y en la dispersión de los valores calculados con relación a los medidos (figura 10). Por lo que no se recomienda el uso del método empírico para calcular condiciones de oleaje de diseño para obras de defensa de costas.

APLICACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO SWAN EN SU FORMA NO ESTACIONARIA

El segundo modelo que se aplica es el modelo SWAN, software desarrollado por la Universidad Tecnológica de Delft, Holanda, diseñado para el cálculo de propagación del oleaje hasta la línea de costa en su versión 40.75. Los campos de viento que se utilizan como datos de entrada a SWAN para la generación del oleaje son la relación de Dube et al. y las presentadas por Heredia y Sato1.

Primera Prueba

Se realiza una primera prueba sencilla para explorar si SWAN puede reproducir la complejidad de la generación de un huracán, se simula un huracán hipotético viajando de este a oeste en aguas profundas con velocidad de traslación, máximos vientos, radio máximo constantes en 17 horas. Como se observa en las figuras 11 y 12 la simulación es correcta, las mayores alturas de ola se producen en el cuadrante 1, el modelo muestra también la dispersión direccional con las olas circundando el centro del huracán a corta distancia del ojo y dispersándose en forma radial a cierta distancia del ojo.

Aplicación del modelo SWAN a un caso real

Se aplica en esta fase el modelo SWAN al huracán Wilma en su forma no estacionaria, para verificar la hipótesis, los datos del huracán son obtenidos de NOAA que incluyen posición geográfica, máximos vientos y velocidad de desplazamiento cada 6 horas.

El campo de viento es calculado para ambas formulaciones Dube et al. y Herida-Sato por hora mediante interpolación a partir de los datos brindados cada 6 horas. Las condiciones de frontera del modelo se seleccionan lo suficientemente amplias para que comprendan La Habana y las tres boyas de la NOAA en el Golfo de México para la verificación de las alturas de ola.

La aplicación de la formulación del campo de viento usando la relación de Debe et al. brinda resultados extremadamente altos reproduciendo alturas H_s en la costa de La Habana de 15 metros lo cual es irreal y muy lejos de un valor razonable. En el caso de la aplicación de las fórmulas propuestas por Heredia y Sato, las cuales han sido utilizadas con éxito en Japón para la simulación de Tifones y se basa fundamentalmente en la presión en el centro del huracán y menos en la velocidad máxima de los vientos.

En esta prueba se puede constatar que las alturas de ola son más bajas brindando valores aceptables y en el rango de los valores medidos por las boyas de la NOAA, la figura 13, que se muestra a continuación, permite observar los resultados de la modelación del huracán Wilma.

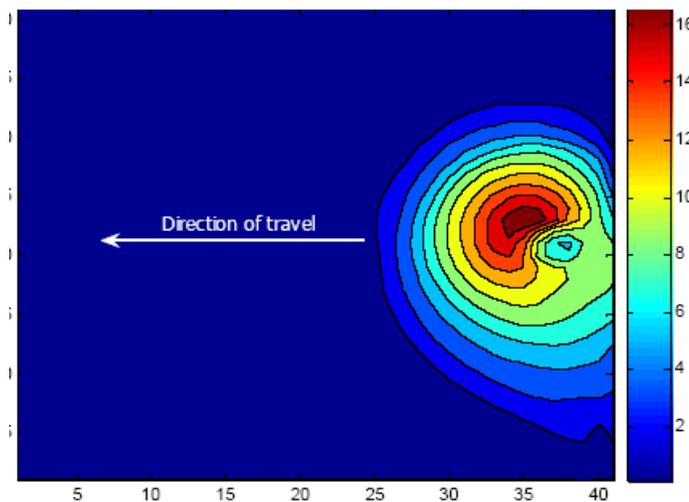


Figura 11. Altura de ola sig. H_s

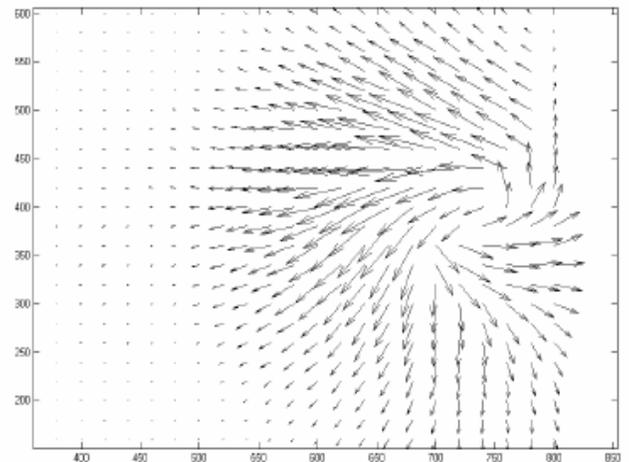


Figura 12. Altura de ola sig. H_s (Vectores).

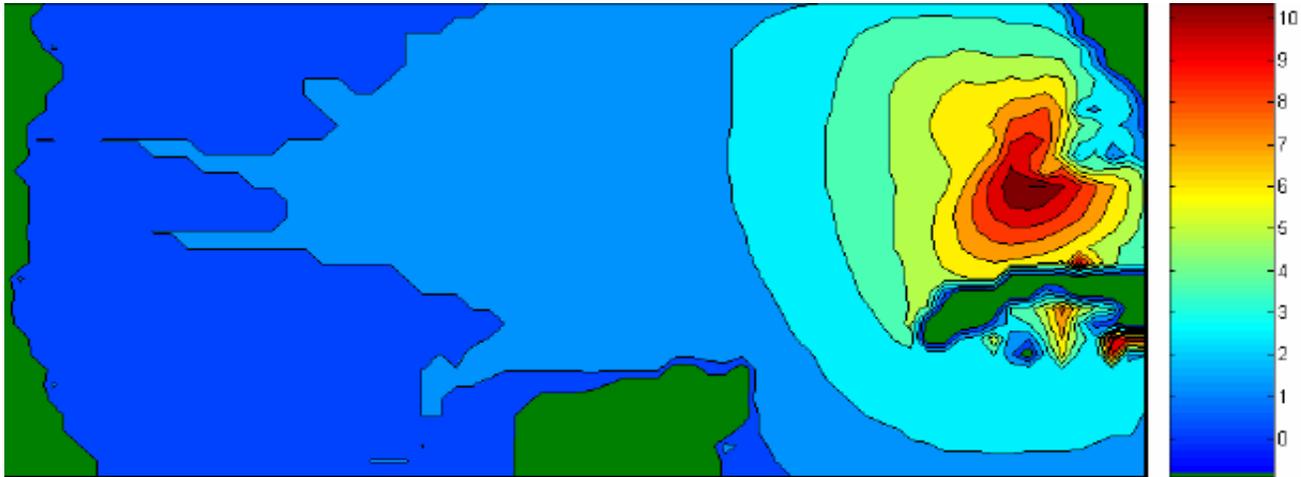


Figura 13. Altura de ola H_s del huracán Wilma en progreso el 23 de noviembre las 03:00 UTC.

CONCLUSIONES

1. Se demuestra que es posible utilizar el modelo SWAN en su forma no estacionaria para la simulación de las características del oleaje debido a huracanes.
2. Se realizó un estudio estadístico analizando de forma conjunta datos históricos de los huracanes y datos de las inundaciones costeras en el litoral de la Ciudad de La Habana, definiendo dos trayectorias más desfavorables.
3. Se estudiaron dos distribuciones de vientos dentro del huracán, concluyendo parcialmente que la distribución propuesta por Heredia y Sato muestra resultados más cercanos a la realidad comparando con mediciones de las boyas de la NOAA en el Golfo de México.
4. Se recomienda aplicar el SWAN a las trayectorias de los huracanes sintéticos definidos en este trabajo.
5. Se recomienda continuar profundizando en la calibración y validación del modelo SWAN para diferentes distribuciones de viento en su forma no estacionaria, ya que no se ha aplicado en el país en régimen no estacionario.
6. Estudiar la posibilidad de aplicar SWAN en forma

operativa para la alerta temprana en caso de eventos meteorológicos extremos y determinar los valores de sobrepaso y por tanto volúmenes de inundación.

REFERENCIAS

1. Heredia, J.I. y Sato, S.. "Pronóstico del oleaje causado por ciclón sobre algún punto de la costa". México, 1994.
2. Booij, N. y otros. "SWAN user manual", Delft University of Technology, 2004.
3. Mitrani, I. y Pérez, R.; "Informe del Instituto de Meteorología sobre las características hidrometeorológicas del litoral", La Habana, 1994.
4. Ochi, M. K. "Hurricane generated seas", Amsterdam, Elsevier 2003.
5. Hogben, N. , Dacunha, N.M.C., Olliver, G.F. "Global Wave Statistics", Old Woking, 1985.
6. Córdova, L.. "Estudio del Fenómeno de Rebase en Obras de Defensa de Costas para las Condiciones de Cuba", 1999.

Recibido: Octubre del 2010
Aprobado: Noviembre del 2010