

Inundaciones costeras en el Malecón de La Habana: Huracanes Wilma (2005) e Irma (2017).

Bryan Pérez León

E-MAIL: perezleonbryan856@gmail.com

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de La Habana

DANIELA CÓRDOVA DE HORTA

E-MAIL: danielitach096@gmail.com

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de La Habana

LUIS F. CÓRDOVA LÓPEZ

E-MAIL: cordovalopez1962@gmail.com

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de La Habana

RESUMEN

El litoral de La Habana sufre severas inundaciones costeras causadas por huracanes, debido a la posición geográfica de Cuba. Para mitigar estos impactos, se utilizaron herramientas numéricas avanzadas. En este estudio, se aplicó el Sistema de Ingeniería Costera y Marítima (SICOM), que combina modelos numéricos acoplados (Delft3D FLOW+WAVE, XBeach No Hidrostático e Iber). Los resultados identificaron áreas de mayor peligro, analizaron el comportamiento del calado en puntos críticos y detallaron el impacto espacial y temporal de las inundaciones. Esta investigación confirma que el Malecón de La Habana es altamente vulnerable a eventos extremos, lo que incrementa los riesgos de pérdidas humanas y económicas. Los hallazgos proporcionan información clave para la planificación de medidas que reduzcan los efectos de las inundaciones costeras.

PALABRAS CLAVES:

huracanes, Iber, inundaciones costeras, modelación numérica

Coastal Flooding in the Malecón of Havana: Hurricanes Wilma (2005) and Irma (2017)

ABSTRACT

The Havana coastline experiences severe coastal flooding caused by hurricanes due to Cuba's geographical location. To mitigate these impacts, advanced numerical tools were used. In this study, the Coastal and Maritime Engineering System (SICOM) was applied, integrating coupled numerical models (Delft3D FLOW+WAVE, XBeach Non-Hydrostatic, and Iber). The results identified high-risk areas, analyzed flood depth behavior in critical points, and detailed the spatial and temporal impact of the floods. This research confirms that the Malecón of Havana is highly vulnerable to extreme events, increasing the risks of human and economic losses. The findings provide key information for planning measures to reduce the effects of coastal flooding.

KEYWORDS: hurricanes, Iber, coastal flooding, numerical modeling.

01 INTRODUCCIÓN

Los huracanes son potentes fenómenos que desencadenan impactos devastadores en las zonas urbanas costeras. Estos vienen acompañados de intensas lluvias y vientos destructivos. Debido a los efectos del cambio climático en los últimos años ha aumentado la intensidad de estos fenómenos, poniendo en riesgo la seguridad de las comunidades costeras y la integridad de las infraestructuras. Las inundaciones causadas por los ciclones tropicales no solo representan una amenaza inmediata para vidas y bienes, sino que también tiene repercusiones económicas, ambientales y desplazamiento de las poblaciones.

Las inundaciones se pueden clasificar de acuerdo a su origen como:

Inundaciones pluviales: la precipitación intensa o prolongada puede inducir la escorrentía superficial. La escorrentía se mueve de las áreas terrestres a un arroyo, lo que aumenta la tasa de flujo del arroyo hasta un punto que excede la capacidad del canal y produce un flujo fuera del banco (es decir, flujo sobre el banco) que inunda la llanura aluvial (Mendiondo,2023).

Inundaciones fluviales: se tienen cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. Las inundaciones fluviales más importantes se pueden dar en los ríos con mayores desarrollos urbanos o que lleguen hasta las planicies costeras. La causa de los desbordamientos de los ríos y los arroyos se puede atribuir en primera instancia a un excedente de agua. Una avenida es el paso por tramos de un río de caudales superiores a los normales, que dan lugar a elevaciones de los niveles de agua causado alteraciones a la morfología de los ríos. (Cruz,2009) (CENAPRED,2004)

Inundaciones costeras: tienen presencia cuando el nivel medio del mar asciende a la marea y permite que éste penetre tierra adentro en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terrenos. Los vientos de los ciclones tropicales sobre la superficie del mar y las bajas presiones son los causantes de la marejada ciclónica. Unido con el nivel de la marea se encuentra el oleaje que, en función de sus características y de la batimetría de la playa, se propaga hacia la costa. Al alcanzar la costa, el oleaje rompe, produciéndose un movimiento de ascenso de la masa de agua a lo largo del perfil de la costa. (Vellón,2023)

Los principales fenómenos peligrosos que acompañan a un huracán y generan inundaciones costeras son:

Surgencia: es onda de longitud larga, que como promedio puede afectar de 150 a 200 km de costas, durabilidad de algunas horas, alcanza su mayor altura a la derecha de la trayectoria del organismo, en la región de los vientos máximos y es provocada por la tensión de los vientos fuertes y la caída de la presión atmosférica al encontrarse este organismo tropical sobre una región de plataforma insular o continental de poca profundidad, pudiendo alcanzar alturas superiores a los 6 m.

Marea de tormenta: se define como el nivel del mar que se alcanza ante el efecto de eventos meteorológicos extremos y está constituida por diferentes componentes de nivel del mar: marea astronómica, surgencia de tormenta y sobre elevación por viento (wind setup) y por rotura del oleaje (wave setup). (Morejón,2020)

Oleaje: se define como los movimientos de la superficie libre del agua con períodos entre 2 – 20 segundos, denominadas ondas de gravedad, las cuales son generadas por el viento y se propagan desde el área de generación hasta llegar a las costas, donde disipan su energía mediante turbulencia, procesos de rotura e interacción con el fondo. Las grandes alturas de olas y los cortos intervalos en

las que estas se replican hacen que este sea uno de los elementos más peligrosos de un huracán. (Córdova de Horta,2023)

El aumento de áreas impermeables en las ciudades debido a la urbanización ha incrementado la ocurrencia de inundaciones y sus consecuencias durante eventos de lluvias extremas. Para mitigar los impactos de las inundaciones es fundamental que las ciudades cuenten con una red de drenaje adecuadamente planificada y diseñada. Los sistemas de drenaje urbano están compuestos por dos subsistemas claramente diferenciados: la red de alcantarillado (menor) y la red de superficie (mayor). (Sañudo et al. 2020)

El objetivo de este trabajo es simular el comportamiento de las inundaciones debido al rebase del oleaje de tormenta en la zona del Malecón de La Habana provocadas por los huracanes Wilma (2005) e Irma (2017) mediante la aplicación del modelo numérico Iber-SWMM.

02 MATERIALES Y MÉTODOS.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El Malecón de La Habana tiene una longitud total de 7,23 kilómetros desde La Chorrera hasta Muelle de Cruceros (entrada de la Bahía de La Habana), con presencia de arrecifes en 5,3 kilómetros, la altura media del muro con respecto al nivel del mar es 3,9 m; su ejecución comenzó en el año 1901 y se dilató hasta el 1959, esta obra fue construida ganando terreno al mar. Al Malecón vierten 33 drenes pluviales, de ellos 17 grandes drenes, en su mayoría semisumergidos debido a los efectos del cambio climático con el incremento del nivel medio del mar desde que el muro fue construido hasta la actualidad. Por los años de explotación y por ser un muro costero expuesto constantemente al oleaje se han detectado puntos de socavaciones tanto en el muro como en el vial del Malecón a lo largo de su extensión; aparte de su alto valor patrimonial, existe un creciente desarrollo de la infraestructura hotelera y turística en el área, con presencia de edificios multifamiliares y viviendas. (Pérez,2024)

DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.

Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron huracanes Wilma (2005) e Irma (2017), en la tabla 1 se muestra las características más relevantes de estos.

Tabla 1. Características de los huracanes.

Huracán	Fecha	Duración (días)	Categoría (E.S.S.)	Presión mínima (mbar)	Velocidad máxima de los vientos (km/h)
Wilma (2005)	15/10/2005 al 25/10/2005	10	5	882	295
Irma (2017)	30/08/2017 al 12/09/2017	13	5	914	285

MODELO DIGITAL DEL TERRENO.

Un modelo digital del terreno (MDT) proporciona una representación precisa de la superficie terrestre, incluyendo detalles como elevaciones, pendientes y características del terreno. Esto es crucial para predecir cómo y dónde se moverá el agua durante una inundación, ayudando a identificar las áreas de alto riesgo y a planificar las medidas de mitigación adecuadas. Se cuenta con un MDT (figura 1) con una resolución espacial de 1 metro, el cual abarca toda la zona que históricamente se ha inundado.



Figura 1. Vista superior del MDT.

ORTOFOTO.

Una ortofoto es una fotografía aérea corregida geométricamente, lo que significa que es precisa en términos de representación del área. Esto es crucial para identificar características del terreno y estructuras que pueden influir en el patrón de inundación, proporcionando una representación visual realista del terreno permitiendo entender mejor la zona de estudio. Se cuenta con una ortofoto (figura 2) con resolución de 6 cm.



Figura 2. Ortofoto utilizada en la investigación.

SISTEMA DE INGENIERÍA COSTERA Y MARÍTIMA. MODELO NUMÉRICO UTILIZADO.

El Sistema de Ingeniería Costera y Marítima (SICOM) está compuesto de tres módulos, un primer módulo dirigido al preproceso de la información de campos de vientos, presión y precipitación para forzar los diferentes modelos que componen el segundo módulo en el cual se encuentran los modelos acoplados oceánico-costeros, y un tercer módulo donde se encuentran los modelos bases del sistema de acuerdo con la actividad principal que se realiza (Pérez,2024). La figura 3 muestra la interacción de los módulos.

El tercer módulo conformado por los modelos bases del sistema de acuerdo con el fenómeno a estudiar, los cuales recibirán como condición de frontera los hidrogramas obtenidos a partir de las ecuaciones empíricas que obtenidos de la modelación física o de manuales de rebase o los resultados del modelo XBeach No Hidrostático (NH) y los niveles del mar en las descargas del sistema de tuberías del drenaje pluvial. En el caso del estudio de las inundaciones en la zona urbana se propone la aplicación de los modelos hidrológicos-hidráulicos IBER, SWMM, o el acoplado entre estos dos modelos para el estudio del drenaje dual urbano.

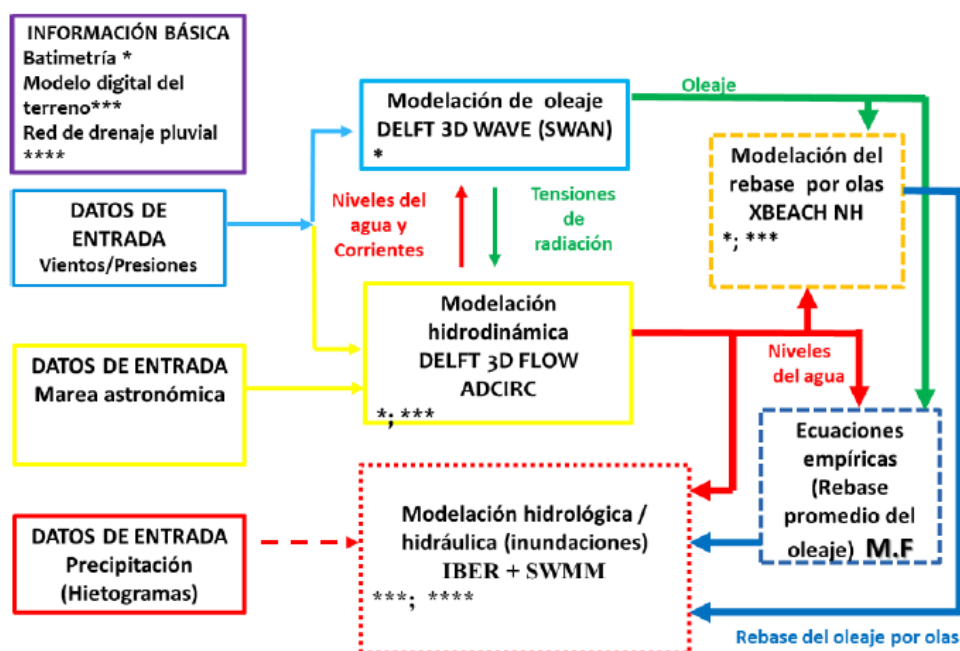


Figura 3. Interacción de los módulos del SICOM.

MODELO NUMÉRICO.

Iber es un modelo numérico bidimensional para la simulación del flujo superficial libre en ríos y estuarios. Iber resuelve las ecuaciones completas de aguas poco profundas promediadas para calcular la profundidad del agua y los dos componentes horizontales de la velocidad promediada en profundidad. Estas ecuaciones se resuelven con un solucionador de volúmenes finitos no estructurado y explícito en el tiempo. Cuenta con varios módulos como: el hidrodinámico, transporte de sedimentos, turbulencia, calidad del agua, procesos hidrológicos y hábitat. (Iber,2024)

El módulo de hidrodinámica de Iber resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad en 2D, también conocidas como ecuaciones dinámicas de onda para distinguirlas de los modelos de onda difusivos y cinemáticos más simples (Córdova de Horta,2023) (Sañudo et al. 2020). El módulo de procesos hidrológicos de Iber permite calcular la transformación lluvia-escorrentía en toda una cuenca, haciendo posible su utilización como modelo hidrológico distribuido en cuencas de pequeño y mediano tamaño. Es completamente bidimensional y distribuido en el espacio, y trabaja sobre la misma malla de cálculo que el módulo hidrodinámico (Sanz-Ramos et al. 2022). Para el desarrollo de esta investigación se empleará este dicho módulo.

Iber-SWMM.

Este plug-in es la vinculación de los modelos Iber y Storm Water Management Model (SWMM), que son un modelo de flujo terrestre 2D y un modelo de red de alcantarillado 1D, respectivamente. (Sañudo et al. 2020)

MALLA DE CÁMPUTO.

La malla creada para desarrollar la investigación cuenta con resolución variada (2 m y 4 m) con el objetivo de obtener resultados con una mayor exactitud en las calles que históricamente se inundan y para los tejados la resolución empleada es de 20 m con un total de 635 624 nodos (figura 4).



Figura 4. Malla de cómputo

03 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO.

ESTABLECIMIENTO DEL MODELO IBER-SWMM.

El modelo Iber-SWMM se establece teniendo en cuenta las experiencias previas del Grupo de Ingeniería Costera y Marítima del Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) en el estudio de inundaciones costeras en el Malecón de La Habana donde se ha aplicado este (Vellón,2023) (Córdova de Horta,2023).

Se utiliza como condición de frontera del modelo Iber los hidrogramas generados aplicando el modelo XBeach NH el cual arroja los resultados segundos a segundo, se decide promediar estos con intervalos de tiempo de diez minutos ya que se realizaron múltiples pruebas con distintos intervalos y el seleccionado no influye en el comportamiento de la inundación y permite una mayor velocidad de simulación.

En el caso particular de este estudio al utilizarse por primera vez los hidrogramas generados por el modelo XBeach NH se realizaron múltiples pruebas para la validación del modelo utilizando para las mismas el informe generado por el Instituto de Meteorología de Cuba el cual describe el comportamiento del huracán Irma (2017). En este informe se presenta información de estimaciones de calados máximos de inundación en puntos del área de estudio. Como resultado de estas pruebas se determina incrementar la magnitud de los hidrogramas de los tramos 4 y 5 en un 20 por ciento para el huracán Irma (2017) y en el caso del huracán Wilma (2005) se incrementó entre un 45 y 60 por ciento. En el caso de los sumideros se asume que los mismos tienen un por ciento de eficiencia entre 0 y 10, en dependencia de la zona de estudio.

En la tabla 2 se encuentran los parámetros físicos y numéricos utilizados para las modelaciones. La tabla 3 muestra el tiempo de duración para generar la inundación.

Tabla 2. Parámetros utilizados en las modelaciones.

Parámetro	Valor	Unidad de medida
Courant Friedrichs Levy (CFL)	0,45	Adimensional
Límite seco-mojado	0,01	M
Rugosidad de Manning	0,018	Adimensional

Tabla 3. Tiempo de modelación.

Huracán	Duración (s)	Duración (h)	Día de inicio	Hora de inicio (horario local)	Día de cierre	Hora de cierre (horario local)
Wilma (2005)	64800	18	24/10/2005	19:10	25/10/2005	13:10
Irma (2017)	158400	44	09/09/2017	5:30	11/09/2017	5:30

Para estudiar los niveles de inundación o calado se colocaron once puntos de observación, en la tabla 4 se presenta su localización y en la figura 5 se observa una vista de ellos.

Tabla 4. Localización de los puntos de observación.

Municipio	Punto	Localización
Habana Vieja	P1	calle Prado y calle Malecón
Centro Habana	P2	calle Ánimas y calle Blanco
	P3	calle Blanco y calle Trocadero
	P4	calle San Lázaro y calle Belascoaín
	P5	calle San Lázaro y calle Marina
	P6	calle Jovellar y calle Marina
Plaza de la Revolución	P7	calle Infanta y calle 23
	P8	calle 17 y calle O
	P9	calle 3ra y calle G
	P10	calle 3ra y calle Paseo
	P11	calle 3ra y calle 12

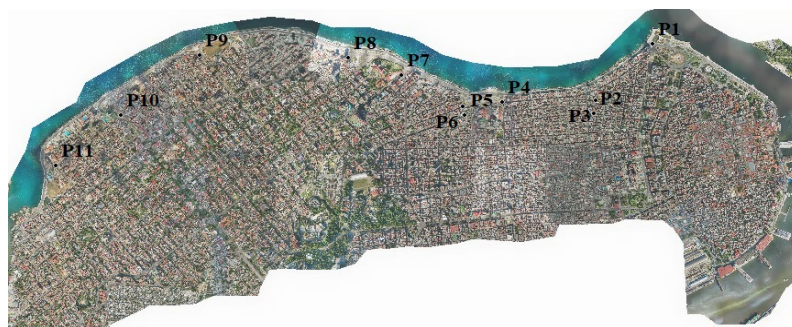


Figura 5. Vista aérea de los puntos de observación.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL HURACÁN WILMA (2005).

En la figura 6 se muestra el comportamiento del calado en el tiempo obtenidos para el huracán Wilma (2005) en los puntos de observación, de la misma podemos destacar que:

- Los máximos calados ocurren entre las 7 y 10 horas de comenzada la simulación.
- El máximo calado obtenido es para el P11 (calle 3ra y calle 12) con 1,96 m.
- Los puntos P5 (calle San Lázaro y calle Marina) y P6 (calle Jovellar y calle Marina) presentan calados máximos de 1,41 m y 1,79 m respectivamente.
- El menor de los máximos calados se encuentra en P8 (calle 17 y Calle O) con 0,26 m.
- El punto P7 (calle Infanta y calle 23) no cuenta con registro.

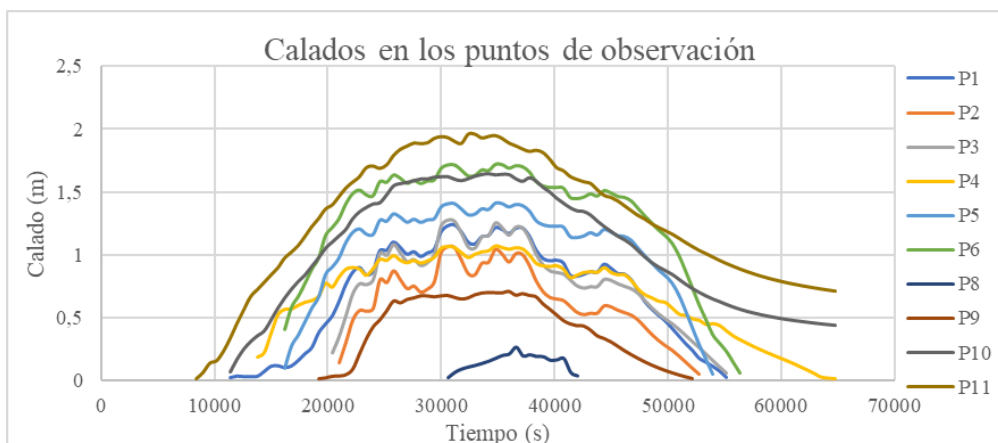


Figura 6. Comportamiento de los calados en los puntos de observación para el huracán Wilma (2005).

La figura 7 y figura 8 presentan los mapas de máximos calados donde se observan zonas críticas de inundación costera obtenidas para el huracán Wilma (2005). La zona A se encuentra ubicada en Marina entre Jovellar y San Lázaro, la misma es uno de los puntos más deprimidos de la ciudad, aquí se encuentran los puntos de observación P5 y P6. La zona B se encuentra entre la calle Galeano y la calle Pasea del Prado con límite norte la calle San Lázaro y límite sur la calle Ánimas, en la misma se encuentran los puntos de observación P2 y P3. Además, en el municipio Plaza de la Revolución se observan otras dos zonas críticas, la zona C que se encuentra desde la calle 12 hasta la calle 4 con límite norte la calle 1ra y límite sur la calle Calzada (7ma); la zona D se ubica desde la calle Paseo hasta calle E teniendo como límite norte la calle 1ra y al sur la calle Calzada.



Figura 7. Mapa de máximos calados para el huracán Wilma (2005) en la zona del Malecón Tradicional.

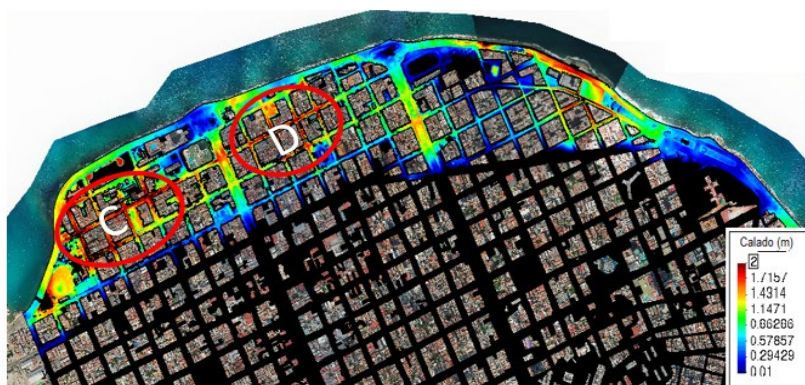


Figura 8. Mapa de máximos calados para el huracán Wilma (2005) en la zona del Malecón del Vedado.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL HURACÁN IRMA (2017).

En la figura 9 se observa el comportamiento de los calados en el tiempo obtenido para la simulación del huracán Irma (2017) en los puntos de observación, de esta podemos destacar que:

- Los máximos registros de calado ocurren entre las 12 y las 22 horas de comenzada la simulación.
- El máximo calado se obtuvo para P6 (Jovellar y Marina) con 2,46 m.
- Se destacan P3 (calle Blanco y calle Trocadero), P5 (calle San Lázaro y calle Marina), P10 (calle 3ra y calle Paseo) y P11 (calle 3ra y calle 12) con calados máximos superiores a 2 m.
- El menor de los calados máximos fue registrado en P7 (calle Infanta y calle 23) con 0,31 m.

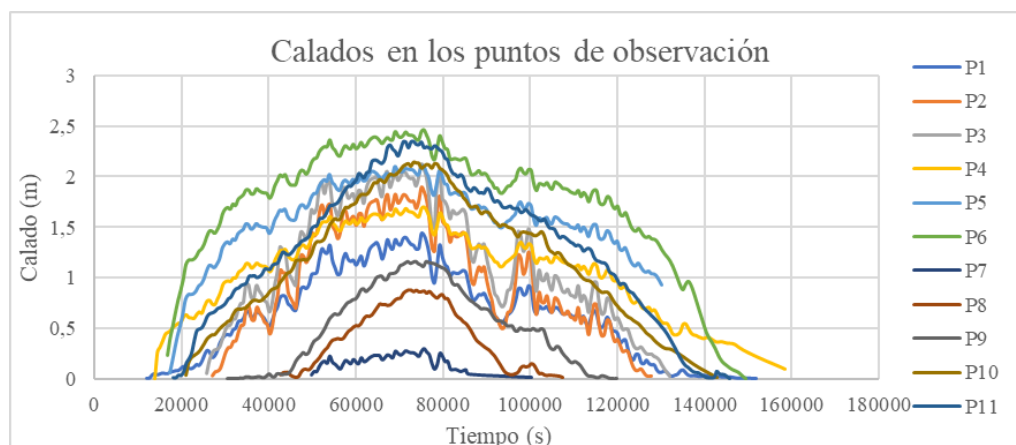


Figura 9. Comportamiento de los calados en los puntos de observación para el huracán Irma (2017).

La figura 10 y figura 11 presentan los mapas de máximos calados donde se observan zonas críticas de inundación costera obtenidas para el huracán Irma. La zona A se encuentra ubicada en Marina entre Jovellar y San Lázaro, la misma es uno de los puntos más deprimidos de la ciudad, aquí se encuentran los puntos de observación P5 y P6. La zona B se encuentra entre la calle San Nicolás y la calle Pasea del Prado con límite norte la calle San Lázaro y límite sur la calle Ánimas, en la misma se encuentran los puntos de observación P2 y P3. Además, en el municipio Plaza de la Revolución se observan otras dos zonas críticas, la zona C que se encuentra desde la calle 12 hasta la calle 4 con límite norte la calle 1ra y límite sur la calle Calzada (7ma); la zona D se ubica desde la calle Paseo hasta calle E teniendo como límite norte la calle 1ra y al sur la calle Calzada; la zona E que comprende la calle G desde 3ra hasta 9na.



Figura 10. Mapa de máximos calados para el huracán Irma (2017) en la zona del Malecón Tradicional.

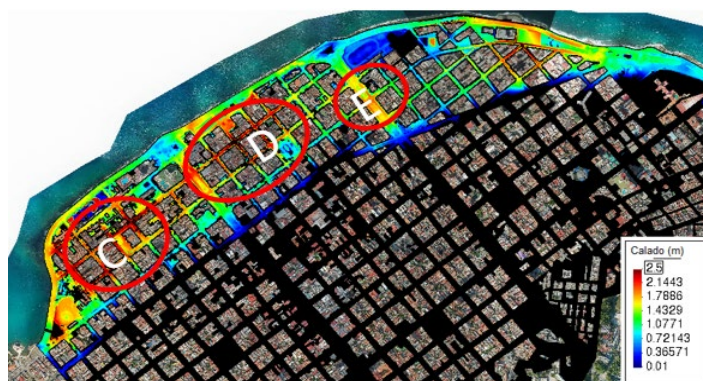


Figura 11. Mapa de máximos calados para el huracán Irma (2017) en la zona del Malecón del Vedado.

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Se compararán los resultados obtenidos para cada huracán en los puntos de observación, la tabla 5 presenta el calado máximo obtenido en cada uno de ellos donde se puede destacar que P7 y P8 son los puntos de menor calado máximo para todos los huracanes. También se puede señalar que P6 y P11 comparten los máximos registros.

Tabla 5. Calado máximo en los puntos de observación.

Punto	Localización	Calado (m)	
		Wilma (2005)	Irma (2017)
P1	calle Prado y calle Malecón	1,24	1,44
P2	calle Ánimas y calle Blanco	1,06	1,89
P3	calle Blanco y calle Trocadero	1,27	2,12
P4	calle San Lázaro y calle Belascoaín	1,07	1,70
P5	San Lázaro y Marina	1,41	2,10
P6	calle Jovellar y calle Marina	1,72	2,46
P7	calle Infanta y calle 23	-	0,31
P8	calle 17 y calle O	0,26	0,88
P9	calle 3ra y calle G	0,71	1,16
P10	calle 3ra y calle Paseo	1,64	2,14
P11	calle 3ra y calle 12	1,96	2,35

Debido a que los puntos P6 y P11 son los más críticos las figuras 12 y 13 muestran una comparación del comportamiento del calado en el tiempo donde se puede apreciar que el huracán Irma (2017) presenta una mayor duración de la inundación que el huracán Wilma (2005), esto se debe a la diferencia de la intensidad de estos eventos.

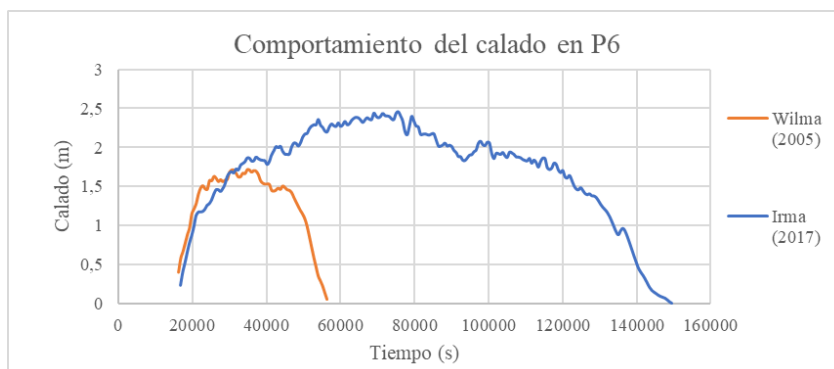


Figura 12. Comparación del comportamiento del calado en el tiempo para el punto P6.

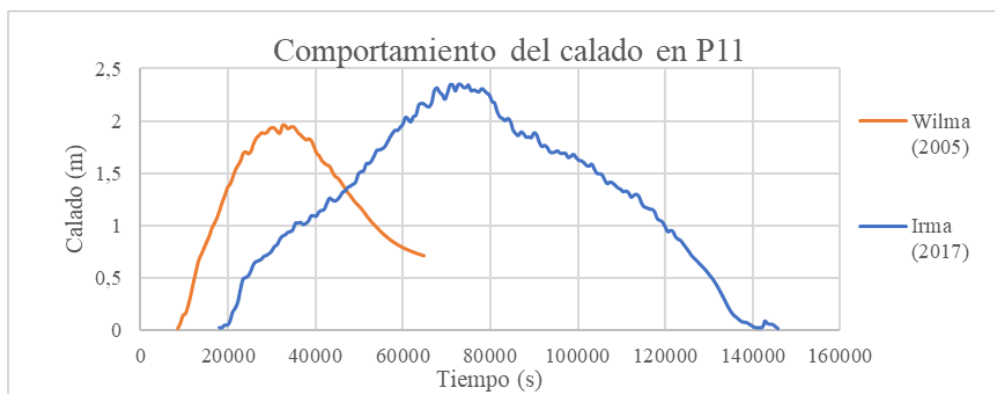


Figura 13. Comparación del comportamiento del calado en el tiempo para el punto P11.

04 CONCLUSIONES

El Sistema de Ingeniería Costera y Marítima (SICOM) demuestra ser herramienta efectiva para simular las inundaciones costeras en el Malecón de La Habana.

Los resultados obtenidos demuestran que la zona del Malecón de La Habana está expuesta a un alto nivel de peligro durante la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos.

Las zonas de mayor inundación son las mismas para todos los eventos simulados, destacándose que incrementan su área a medida que aumenta la intensidad del evento.

Se identificaron cinco zonas de inundación dos en el municipio Centro Habana y tres en el municipio Plaza de la Revolución.

Se obtuvieron los puntos más críticos desde el punto de vista de las cotas de inundación, siendo estos la intersección de Jovellar y Marina en el municipio Centro Habana y la intersección calle 3ra y calle 12 en el municipio Plaza de La Revolución.

05 REFERENCIAS

- Mendiondo Afá I.** (2023). Simulación de inundaciones compuestas en zonas urbanas costeras, huracán Irma 2017. Malecón Tradicional de La Habana. [Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero)]. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
- Cruz B.** (2009). Formulación del riesgo conjunto, inundación-sequia, bajo un esquema probabilístico, aplicado en la región hidrológica nazas-aguanaval (RH-36) [Tesis de maestría en ingeniería hidráulica.]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- CENAPRED.** (2004). Fascículo de inundaciones. Distrito Federal México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Vellón Ferrer R.** (2023). Modelación de inundaciones compuestas generadas por el huracán Wilma (2005) en el malecón Tradicional de La Habana. [Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero)]. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
- Generalidades de los Ciclones Tropicales.** (s. f.). Recuperado 5 de febrero de 2024, de <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=OPTION&TB2=/contenidos/ciclones%20tropicales/generalidades/generalidades.htm>

- Morejón Mier B. I.** (2020). Estudio del sobrepaso del oleaje en el malecón de La Habana durante la ocurrencia del huracán Irma 2017 aplicando el modelo Delft3D. [Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero)]. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
- Córdova de Horta D.** (2023). Simulación dinámica de inundaciones compuestas. Caso de estudio Malecón Tradicional de La Habana. [Trabajo de Diploma (en opción al grado científico de Master en Ciencias Técnicas)]. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
- Sañudo E., Cea L. and Puertas J.** (2020). Modelling Pluvial Flooding in Urban Areas Coupling the Models Iber and SWMM. <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/9/2647>
- Pérez León B.** (2024). Estudio de las inundaciones costeras en la zona del Malecón de La Habana aplicando el Sistema de Ingeniería Costera y Marítima. SICOM. [Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero)]. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
- Iber.** (s. f.). Recuperado 22 de marzo de 2024, de <https://iberaula.es/>
- Sanz-Ramos M., Cea L., Bladé E., López-Gómez D., Sañudo E., Corestein G., García-Alén G. y Aragón-Hernández J. L.** (2022). Iber v3. Manual e referencia e interfaz de usuario de las nuevas implementaciones. <https://doi.org/10.23967/iber.2022.01>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Bryan Pérez León <https://orcid.org/0009-0000-5820-5234>

Apoyo en la implementación del modelo numérico, procesamiento y análisis de datos, validación de resultados, contribución en la revisión y edición del manuscrito.

Daniela Córdova de Horta <https://orcid.org/0000-0002-7284-9682>

Conceptualización y diseño del estudio, formulación del problema de investigación, desarrollo de la metodología, implementación y calibración del modelo numérico, análisis e interpretación de resultados, elaboración de figuras y tablas, redacción del manuscrito y revisión final.

Luis Fermín Córdova López <https://orcid.org/0000-0001-8175-6819>

Supervisión general del estudio, orientación en la selección y aplicación de metodologías, validación de los resultados obtenidos, discusión crítica del trabajo, revisión sustantiva del manuscrito y garantía del rigor científico.