

# Modelación de inundaciones costeras en la localidad de Caibarién para escenarios de cambio climático



## Modeling of coastal floods in the town of Caibarién for climate change scenary

<https://cu-id.com/2377/v30nspe02>

 Laura Marrero Malvarez<sup>1\*</sup>,  Reinaldo C. Casals Taylor<sup>1</sup>,  Bárbara I. Garea Moreda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Meteorología de Cuba, Centro de Meteorología Marina, Cuba.

<sup>2</sup>Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Cátedra UNESCO de Medio Ambiente y Desarrollo, Cuba.

**RESUMEN:** El presente trabajo tiene el propósito de simular la inundación costera generada por el huracán Irma en Caibarién para el escenario de cambio climático de 2050 con un aumento del nivel medio del mar de 29 cm y el escenario de 2100 con una sobreelevación del mar de 95 cm. Para ello se realizó la modelación acoplada de ADCIRC+SWAN en una malla de cómputo no estructurada que comprende las costas desde Villa Clara hasta Camagüey y parte del archipiélago Sabana - Camagüey. De esta corrida del modelo se obtuvo la curva hidráulica de la inundación, la cual presentó un máximo de 1.97 m a las 45 horas de corrida. Se utilizó el modelo LISFLOOD-FP para determinar el alcance de la inundación costera en la ciudad, el cual se pudo visualizar mediante el empleo del QGIS como Sistema de Información Geográfica. La modelación dio como resultado que para el escenario de 2050 estará afectado aproximadamente el 30 % de la ciudad, mientras que para el escenario de 2100 la afectación será del 50 % aproximadamente. La zona con mayor vulnerabilidad y riesgo resultó ser donde se localiza el malecón de la ciudad además de otras edificaciones de importancia económica y social.

**Palabras claves:** inundación costera, cambio climático, ADCIRC+SWAN, curva hidráulica, LISFLOOD-FP.

**ABSTRACT:** The present work has the purpose of simulating the coastal flooding generated by Hurricane Irma in Caibarién for the 2050 climate change scenary with a mean sea level rise of 29 cm and the 2100 scenary with a sea rise of 95 cm. For this, the coupled modeling of ADCIRC+SWAN was carried out in an unstructured computation grid that includes the coasts from Villa Clara to Camagüey and part of the Sabana - Camagüey archipelago. From this model run, the hydraulic curve of the flood was obtained, which presented a maximum of 1.97 m at 45 hours of running. The LISFLOOD-FP model was used to determine the extent of the coastal flooding in the city, which could be visualized using QGIS as a Geographic Information System. The modeling gave as a result that for the 2050 scenary, approximately 30 % of the city will be affected, while for the 2100 scenary, the affectation will be approximately 50 %. The area with the greatest vulnerability and risk turned out to be that where the city's boardwalk is located, as well as other buildings of economic and social importance.

**Keywords:** coastal flooding, climate change, ADCIRC+SWAN, hydraulic curve, LISFLOOD-FP.

\*Autor para correspondencia: Laura Marrero Malvarez. E-mail: [laura.marrero@insmet.cu](mailto:laura.marrero@insmet.cu)

Recibido: 03/10/2023

Aceptado: 11/03/2024

Laura Marrero Malvarez. Instituto de Meteorología de Cuba, Centro de Meteorología Marina

Reinaldo C. Casals Taylor. Instituto de Meteorología de Cuba, Centro de Meteorología Marina. E-mail: [reinaldo.casals@insmet.cu](mailto:reinaldo.casals@insmet.cu)

Bárbara I. Garea Moreda. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Cátedra UNESCO de Medio Ambiente y Desarrollo. E-mail: [bgarea@instec.cu](mailto:bgarea@instec.cu)

**Conflicto de Intereses:** Declaramos no tener ningún conflicto de interés.

**Contribución de Autoría:** **Análisis formal:** Laura Marrero y Reinaldo C. Casals. **Conceptualización:** Laura Marrero, Reinaldo C. Casals y Bárbara I. Garea. **Conservación de datos:** Laura Marrero y Reinaldo C. Casals. **Redacción - primera redacción:** Laura Marrero. **Redacción - revisión y edición:** Laura Marrero, Reinaldo C. Casals y Bárbara I. Garea. **Investigación:** Laura Marrero y Reinaldo C. Casals. **Metodología:** Laura Marrero y Bárbara I. Garea. **Supervisión:** Reinaldo C. Casals y Bárbara I. Garea

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Se ha planteado que la variabilidad y el cambio climático han incrementado la tendencia de los peligros naturales desde inicios del siglo XXI, destacándose las inundaciones costeras en los pequeños estados insulares, fundamentalmente al paso de ciclones tropicales (IPCC, 2013). Según lo planteado por el IPCC (2018), la temperatura del aire a escala global alcanzará el incremento de 1.5 °C aproximadamente, asegurando que bajo estas temperaturas ocurre un ascenso gradual del nivel medio del mar; por otro lado, en el marco de la Tercera Comunicación Nacional por el CITMA (2020) se plantea que el ascenso del nivel del mar debido al cambio climático es uno de los más graves problemas que debe enfrentar Cuba como estado insular. Lo anterior ha sido objeto permanente de estudio en Cuba, donde investigaciones como la de Pérez (2019) determinaron que a escala nacional el ascenso será de 29.3 cm y de 95 cm en los escenarios de 2050 y 2100 respectivamente; estos valores fueron precisados para 65 puntos de la costa cubana.

En esta situación se halla la costa norte de Cuba desde Villa Clara hasta Camagüey, donde los eventos de incrementos extremos del nivel del mar e inundaciones costeras han estado asociados al paso de ciclones tropicales de diversas intensidades (categorías 1 a 5 en la escala de Saffir - Simpson) que han provocado importantes pérdidas materiales. Una de las localidades más afectadas por estos fenómenos hidrometeorológicos es Caibarién, ubicado en la costa norte de Villa Clara, que sufrió los embates del huracán Irma con categoría 4 en septiembre de 2017. Es necesario que las zonas vulnerables cercanas a las costas sean protegidas de esos daños que puedan ocurrir. Para ello se llevan a cabo modelaciones de la evolución del nivel del mar considerando las acciones combinadas de la surgencia y la ruptura de oleaje, aplicando el acople dinámico de los modelos ADCIRC+SWAN y las simulaciones con LISFLOOD-FP, en este caso se destacan los estudios realizados en

el proyecto MACRO7, donde Pérez *et al.* (2021) obtuvieron las representaciones de inundaciones costeras en asentamientos costeros cubanos, entre ellos la localidad de Caibarién, bajo la afectación de un ciclón paramétrico de categoría 5 en esa región, con trayectoria desconocida y características no reales.

Actualmente se requieren resultados precisos del alcance y magnitud de las inundaciones provocadas por huracanes reales, que ayude a la toma de decisiones para disminuir vulnerabilidades en esos escenarios futuros. En consecuencia, el objetivo de la investigación se centra en representar la inundación costera en la localidad de Caibarién por el huracán Irma para los escenarios de cambio climático de 2050 y 2100 como herramienta para la toma de decisiones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Caracterización del área y caso de estudio

El territorio objeto de estudio es la localidad de Caibarién, esta ciudad se encuentra localizada en la parte noreste de la provincia de Villa Clara (Figura 1); a los 22°30'57'' N y los 79°28'20'' W. Limita al norte con el Océano Atlántico, al sur con Remedios y Camajuani, al este con la provincia de Sancti Spiritus y al oeste con Camajuani.

Según datos de la ONEI (2021), Caibarién al realizarse el último censo poblacional, contaba con una población total de 40,848 habitantes, para una densidad poblacional de 105.9 hab/km<sup>2</sup>. Presenta como principal actividad económica el desarrollo del turismo, con la presencia de uno de los principales polos turísticos de Cuba en Cayo Santa María. La localidad de Caibarién es la seleccionada para el estudio debido a que la misma se encuentra fuertemente expuesta al impacto de inundaciones costeras dada su ubicación geográfica. Esta localidad es considerada la antesala del archipiélago Sabana - Camagüey, siendo la comunicación entre el polo



Figura 1. Localización geográfica de Caibarién en mapa político - administrativo de la provincia Villa Clara

turístico allí presente con la isla de Cuba, razón que le confiere de cierta manera gran significación. Caibarién es además una de las zonas priorizadas en las Proyecciones de la Tarea Vida como enfrentamiento al Cambio Climático en Cuba, según lo planteado por CITMA (2021), teniéndose también en cuenta en las investigaciones del Macroproyecto sobre peligros y vulnerabilidad costera.

Es seleccionado como caso de estudio el huracán Irma, pues este sistema tropical afectó fuertemente la localidad de Caibarién como un huracán de gran intensidad de categoría 4. Además, su trayectoria estuvo localizada en la malla no estructurada de elementos finitos confeccionada por Casals y Marrero (2022), que será la utilizada en esta investigación. El huracán Irma desarrolló una trayectoria de máximo peligro para la costa norte de Cuba entre los días 8 y 10 de septiembre de 2017 (Figura 2), con rumbo oeste noroeste desde los mares al norte de Guantánamo y Holguín que lo llevó a tocar tierra en Cayo Romano, al norte de la provincia Camagüey, y continuar por la costa norte de las provincias Ciego de Ávila, Sancti Spiritus y Villa Clara. El impacto del oleaje fue el más marcado durante la trayectoria de Irma por el norte de Cuba. Se presentó una marea de tormenta, o sobreelevación del nivel del mar por la baja presión atmosférica del ojo, así como la acumulación ocasionada por el viento, entre 2 y 4 m de altura por encima de lo normal.

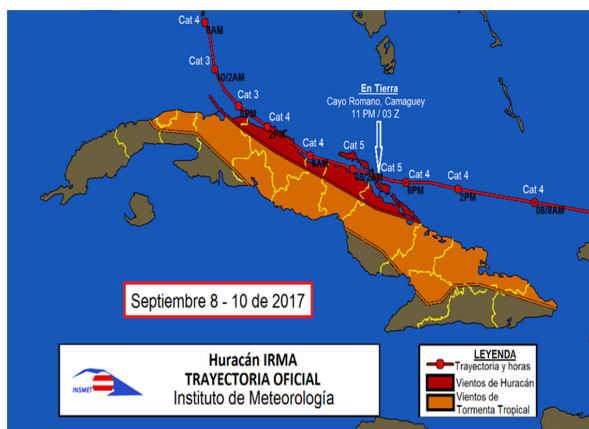


Figura 2. Trayectoria del huracán Irma

## B. Modelación numérica en el acople ADCIRC+SWAN

En la investigación se realizó una corrida del acople ADCIRC+SWAN para 72 horas de pronóstico con el huracán Irma. La corrida se realizó en una malla no estructurada de elementos finitos que tiene la particularidad de estar constituida por elementos triangulares de tamaño variable, lo que permite reproducir con gran detalle los cambios de profundidad de la región e importantes rasgos de la

línea de costa con triángulos pequeños (alta resolución) mientras que en aguas abiertas las dimensiones de los triángulos se incrementan gradualmente (baja resolución). Esto permite que el modelo realice la corrida con más énfasis en las costas obteniendo en estas los mejores resultados. En este caso se empleó la malla confeccionada por Casals y Marrero (2022), la misma comprende el territorio de la costa norte central de Cuba, incluyendo parte del archipiélago Sabana - Camagüey (Figura 3). Esta consta de 60,331 nodos y 107,064 elementos (triángulos), con los lados de menor tamaño a 100 m en la costa y aguas poco profundas, que varían hasta una longitud máxima de hasta 25,000 m en aguas profundas del Canal Viejo de Bahamas. Los datos de presión atmosférica y componentes u y v del viento fueron obtenidos de la página de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés), donde se encuentran los datos de trayectorias e intensidades corregidas (best tracks) para ejecutar acciones de retroanálisis o estudios de casos.

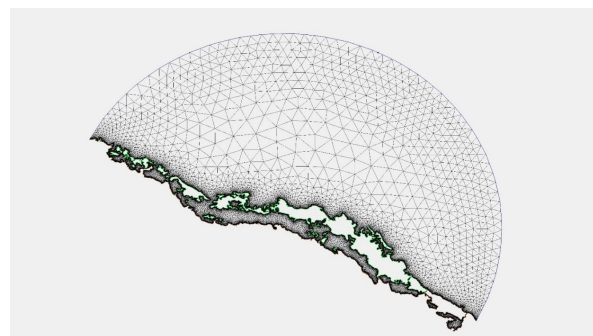


Figura 3. Malla de cálculo a utilizar en la corrida ADCIRC+SWAN

Los resultados de la corrida del acople ADCIRC+SWAN fueron empleados para crear la curva hidráulica, esta no es más que una expresión de la evolución periódica del nivel del mar, tanto en simulaciones de régimen normal como en condiciones extremas del estado del mar. Para su creación se empleó el fichero de salida fort.61, una de las opciones que se establecen en el fichero de configuración fort.15, donde quedan reflejados en frecuencia horaria la evolución del nivel del mar de los puntos elegidos en la malla de cálculo, en este caso la localidad de Caibarién.

La obtención de estas curvas requiere preliminarmente de la aplicación Microsoft Excel para ordenar los bloques horarios de datos en filas o columnas de valores para la localidad seleccionada, lo que permitirá crear los gráficos más convenientes para el análisis temporal de las series de valores. La obtención de esta curva hidráulica será fundamental para poder realizar la simulación de la inundación costera mediante el modelo LISFLOOD-FP.

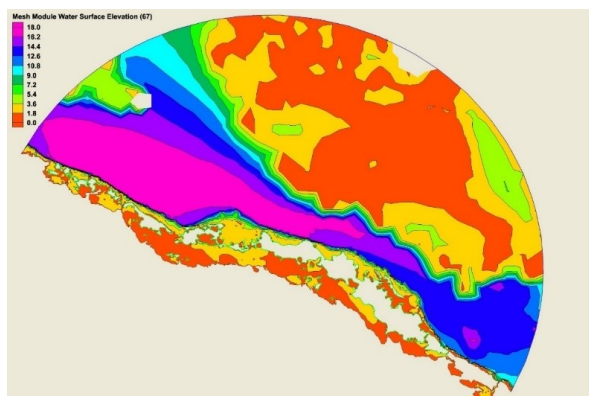
### C. Modelación de la inundación con LISFLOOD-FP

Para simular la inundación costera se utilizó LISFLOOD-FP, al basar su principio físico en la conservación de la masa y la conectividad hidráulica. Este programa produce una eficiente predicción de la máxima inundación costera al acoplar un modelo hidráulico 1D y 2D basado en una rejilla raster que permite una interacción inmediata con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Pérez *et al.*, 2021).

Las corridas del modelo LISFLOOD-FP se realizaron para los escenarios de cambio climático obtenidos por Pérez (2019), de 2050 para un estimado de sobreelevación del nivel medio del mar de 29 cm, así como para los escenarios de 2100 con un aumento del nivel del mar de 95 cm. Una vez realizadas las corridas, se procesaron mediante el SIG QGIS, permitiendo obtener los mapas correspondientes para cada escenario estudiado.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

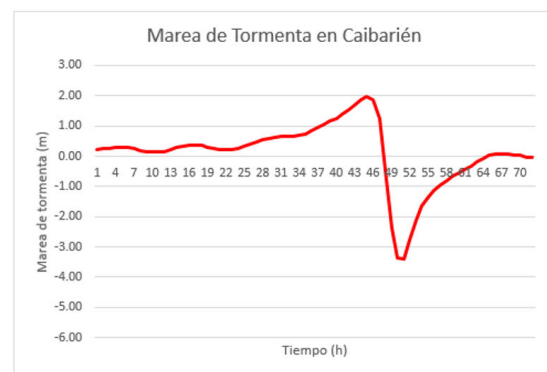
Una vez obtenida la corrida del acople ADCIRC+SWAN se obtuvo la Figura 4, donde se muestra la distribución de la altura significativa de las olas a lo largo de la trayectoria del huracán Irma. Los valores máximos de altura de ola significativa se obtuvieron sobre el Canal Viejo de Bahamas con valores entre 16.0 y 18.0 m. En la costa norte de Cuba entre las provincias de Villa Clara hasta Camagüey la altura de ola significativa se limitó entre los 1.8 y 3.6 m, dado a que los cayos del subarchipiélago Sabana - Camagüey constituyen una barrera protectora. De forma similar, las condiciones de profundidades reducidas en el Gran Banco de Bahamas, afectaron el desarrollo del oleaje, donde las olas mantuvieron alturas entre 1.8 y 3.6 m.



**Figura 4.** Distribución del campo de altura significativa de la ola asociada al huracán Irma en aguas profundas el 9 de septiembre de 2017 a las 1100Z

Para determinar la marea de tormenta en Caibarién se ubicó un punto de cálculo en la costa de la isla de Cuba (frontera principal) que coincide con esta localidad, teniendo como coordenadas específicas

22.52 LN y 79.46 LW. La marea de tormenta se obtuvo como resultado de la sumatoria de la componente de la surgencia y la altura de ola significativa, obteniéndose la curva hidráulica que se observa en la Figura 5. En este gráfico se observa que el pico máximo de la marea de tormenta tuvo lugar de forma gradual a las 45 horas de corrida del modelo, que corresponde a las 2100 UTC del día 9 de septiembre de 2017. En ese momento la surgencia provocada por el huracán Irma alcanzó los 0.82 m y la altura de ola significativa fue de 1.15 m para una marea de tormenta de 1.97 m. Este valor de marea de tormenta se encuentra muy próximo a los valores reportados por el Centro Nacional de Pronósticos del Instituto de Meteorología en el Resumen de Temporada Ciclónica, donde reportan valores entre los 2 y 4 m en la costa norte de Cuba, lo cual corresponde de manera general a una buena confiabilidad del acople ADCIRC+SWAN. El modelo de cierta manera subestimó los valores, pudiéndose asociar a que la localidad de Caibarién se encuentra algo protegida por los cayos del norte de la provincia de Villa Clara, los cuales amortiguan el impacto de las inundaciones costeras en Caibarién.



**Figura 5.** Curva hidráulica de la marea de tormenta en Caibarién

Entre las 48 y 64 horas de corrida del modelo se observa que la curva presenta valores negativos, esto se debe a que luego de que el huracán se va alejando del punto de interés y al localizarse al oeste de la localidad en ese momento de la trayectoria, el viento cambia su dirección y comienza a sacar agua. Esto el modelo lo interpreta de forma tal que esos valores negativos se corresponden con los valores de profundidad en el área.

La modelación con el LISFLOOD-FP se realizó con el pico máximo de la curva hidráulica, utilizando el tiempo comprendido entre las 38 y 47 horas de la corrida del ADCIRC+SWAN que representa la inundación. La región de Caibarién seleccionada para el estudio comprende una superficie emergida de 56.20 km<sup>2</sup> en el escenario actual (Figura 6), con presencia de bosques de manglar y zonas bajas en la plataforma insular, lo cual influye directamente en

zonas susceptibles a inundaciones costeras por eventos extremos.

El procesamiento espacial del ascenso del nivel medio del mar para el año 2050 de 29 cm obtenido por Pérez (2019), aportó el hundimiento de 8.44 km<sup>2</sup> (15 % del territorio actual), quedando de forma permanente para ese futuro escenario 47.76 km<sup>2</sup> de superficie (Figura 7A) y la reducción de su línea de costa a 13.41 km (35 %) así como de toda la franja de bosques de manglar y humedales costeros existentes. Se afectan 35 manzanas de forma total y 9 de manera parcial para el año 2050. Tras el paso de un huracán con condiciones y trayectoria similares a la de Irma, se produce para el escenario de 2050 con 29 cm de elevación del mar una inundación como se muestra en la Figura 7B, que estaría afectando un aproximado de 90 manzanas de la localidad. La inundación puede superar los 600 m como promedio y alcanzar un máximo de 1.2 km aproximadamente en el extremo oeste del área de estudio. El pueblo se visualiza con una afectación aproximada de un 30 % de su estructura urbana, así como la población e infraestructura. Aquí se verán afectadas importantes instituciones como el Hospital General Docente Municipal de Caibarién, el Poder Popular, parte del parque La Libertad, la oficina de Inmigración y Extranjería, la Iglesia Buenas Nuevas Caibarién, el Joven Club Caibarién, Centro Norte Televisión, la terminal de ferrocarriles de Caibarién, las sucursales de Banco Popular de Ahorro y Banco de Créditos y Comercio, así como otros centros gastronómicos y de renta de hospedaje, principalmente en la zona del litoral norte.

Al comparar estos resultados con los obtenidos por el MACRO7, donde plantean que la inundación tiene un alcance promedio de 850 m, se obtiene un efecto inferior de la inundación al poblado, esto se puede entender en que en el Macroproyecto se analizó con un huracán paramétrico de categoría 5 que tiene vientos superiores a 250 km/h según la escala Saffir - Simpson y una trayectoria desconocida, que afectó por 12 horas la zona analizada, mientras que Irma afectó a Caibarién como huracán categoría 4 con vientos inferiores a los 210 km/h en un tiempo transcurrido de 6 horas.

El escenario de ascenso de 95 cm del nivel medio del mar para el año 2100 obtenido por Pérez (2019) fue sometido a un procesamiento del modelo digital del terreno (Figura 8A), en el cual se puede observar una reducción de la superficie emergida de 12.89 km<sup>2</sup>, quedando de forma emergida para ese escenario el 77 % (43.31 km<sup>2</sup>) de la superficie actual y un contorno de línea de costa de 25.47 km. Se produce la afectación total de 59 manzanas y 16 de forma parcial de la ciudad, debido al ascenso del nivel del mar y los

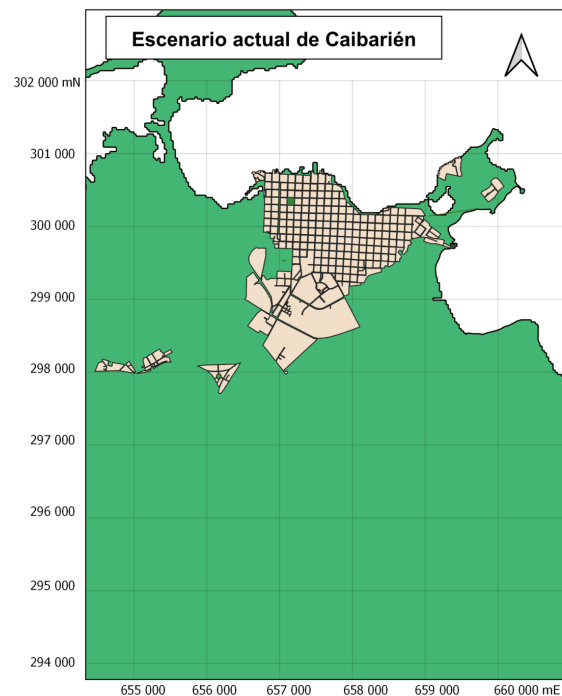
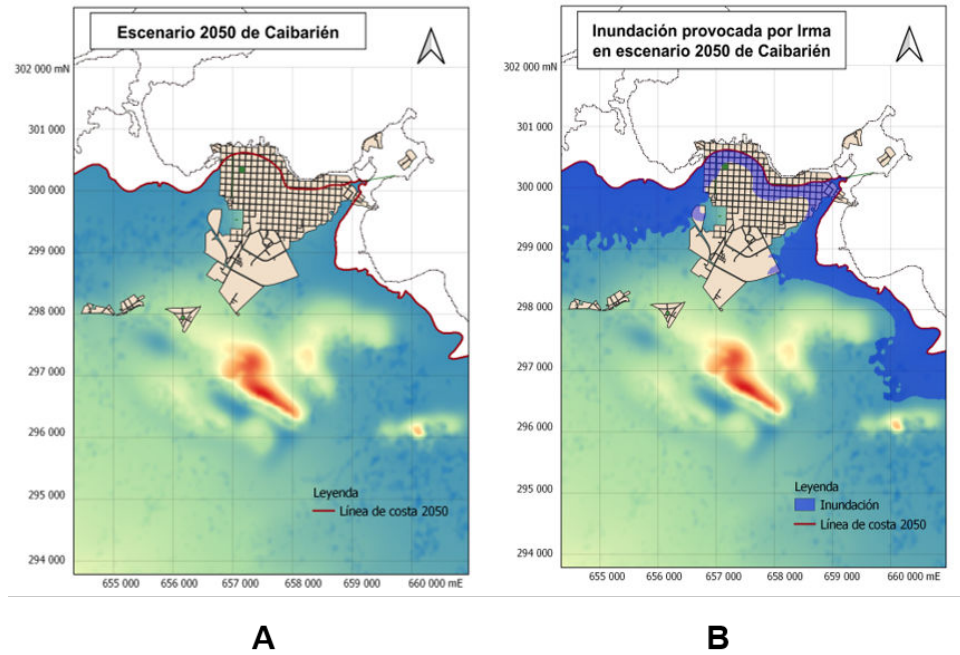


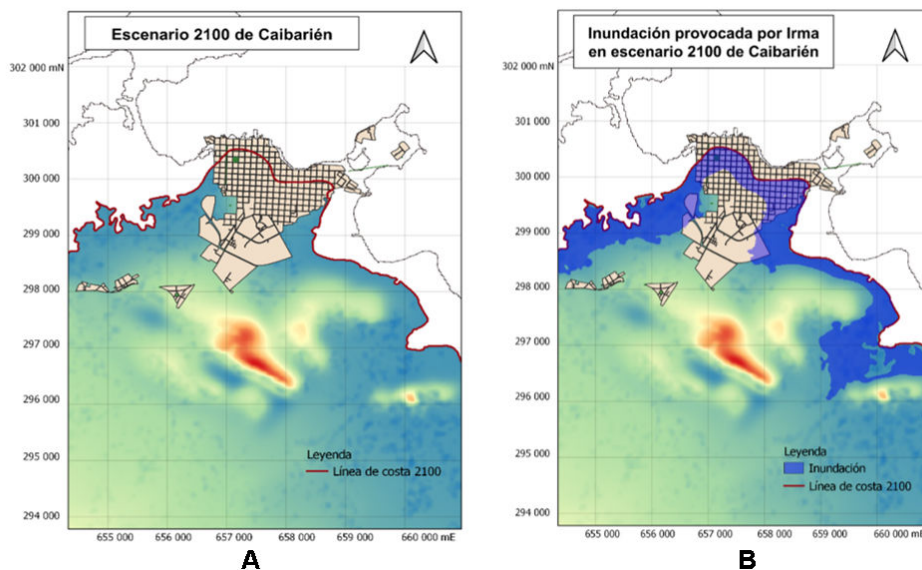
Figura 6. Superficie emergida de Caibarién en el escenario actual

cambios en la topografía y línea de costa, quedando alrededor del 30 % de la ciudad por debajo de cotas de altura de 1.5 m para ese escenario. Para el escenario de 2100 con 95 cm de elevación del mar y con la afectación directa de un huracán con magnitudes similares a las de Irma, se produce una inundación como la que se representa en la Figura 8B, donde estaría afectando un total de 105 manzanas de las emergidas en ese escenario. La inundación supera los 800 m como alcance promedio, pudiendo ser superior en el extremo este de la región de estudio. La localidad se visualiza con más del 50 % aproximadamente de su extensión afectada, provocando daños a su infraestructura. En este escenario quedarán afectadas otras instituciones como el Cine América, la Iglesia Católica, el Parque Infantil, la oficina de Correos de Cuba, la sucursal de ETECSA, el centro de ARTEX, además de las ya afectadas en el escenario de 2050.

La comparación de los resultados de la investigación con los del Macroproyecto, donde obtuvieron alcances entre 400 y 1,000 m, arrojó a que el impacto de la inundación analizada fue menor con un alcance promedio de 800 m, de igual forma esto está asociado a que la intensidad de Irma al afectar Caibarién fue menor que la analizada en el MACRO7 con un huracán paramétrico categoría 5 de trayectoria desconocida, además el período de afectación en el MACRO7 fue de 12 horas y la afectación de Irma a Caibarién fue de 6 horas.



**Figura 7. A.** Superficie emergida de Caibarién con el ascenso del nivel medio del mar de 29 cm para el año 2050. **B.** Escenario de inundación costera por huracán Irma para el año 2050 con el ascenso del nivel medio del mar de 29 cm



**Figura 8. A.** Superficie emergida de Caibarién con el ascenso del nivel medio del mar de 95 cm para el año 2100. **B.** Escenario de inundación costera por huracán Irma para el año 2100 con el ascenso del nivel medio del mar de 95 cm

### CONCLUSIONES

1. La modelación en el acople ADCIRC+SWAN de la inundación costera provocada por Irma en Caibarién presentó un máximo de marea de tormenta de 1.97 m a las 45 horas de corrida del modelo, con una surgencia de 0.82 m y la altura de ola significativa de 1.15 m.
2. El escenario de cambio climático de 2050 con 29 cm de sobre elevación provoca una pérdida del 15 % del terreno emergido y con el efecto de la inundación se produjo una pérdida del 30 % de la superficie total aproximadamente.
3. Para el escenario del 2100 con 95 cm de sobre elevación la pérdida de la superficie emergida fue del 30 % de la superficie total y tras el efecto de la inundación se perdió aproximadamente el 50 % de la ciudad de Caibarién.
4. Las zonas más vulnerables fueron el litoral norte del malecón y las primeras 5 manzanas tierra adentro en el escenario de 2050 y las primeras 10 manzanas tierra adentro en el escenario de 2100.

5. Los resultados contribuyen al perfeccionamiento del plan de adaptación al cambio climático en Caibarién para disminuir vulnerabilidades y aumentar la capacidad de adaptación ante la afectación de inundaciones costeras.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos por su contribución a Osvaldo Enrique Pérez López, Frank Ernesto Ortega Pereira y Christian Lam Cervantes, especialistas del Centro de Meteorología Marina del Instituto de Meteorología.

#### REFERENCIAS

- Casals, R., & Marrero, L. (2022). *Generación de una malla no estructurada para la simulación de niveles del mar en la costa norte de la región central de Cuba* [Informe Técnico de Resultado]. Programa Meteorología y Desarrollo Sostenible, Instituto de Meteorología.
- CITMA (Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente). (2020). *Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* [Informe Gubernamental científico, educativo y de comunicación]. CITMA. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Third%20National%20Communication.%20Cuba.pdf>
- CITMA (Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente). (2021). *Proyecciones Tarea Vida 2021-2025* [Informe de mitigación ante el Cambio Climático]. CITMA. <https://www.citma.gob.cu/download/proyecciones-tarea-vida-2021-2025-2/>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5\\_Frontmatter\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5_Frontmatter_FINAL.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2018). *Global Warming of 1.5°C. Summary for Policymakers*. IPCC. <https://www.ipcc.ch/sr15/cha/pter/spm/>
- ONEI (Oficina Nacional de Estadística e Información). (2021). *Anuario Estadístico Villa Clara Caibarién 2020* [Anuario estadístico municipal]. ONEI Municipio Caibarién. <http://www.onei.gob.cu/sites/default/files/publicaciones/2022-02/AEM%20Caibarién%20Villa%20Clara.pdf>
- Pérez, O. E., Casals, R., Pérez, R., Ortega, F. E., Pérez, P. J., Menéndez, L., Parra, L., Hernández, N., Rodríguez, N., Carracedo, D., Sánchez, B., & Deus, C. (2021). *Modelación numérica de inundaciones costeras por cambio climático en asentamientos seleccionados. Macroproyecto Escenarios de Peligro y Vulnerabilidad de la zona costera cubana ante el ascenso del nivel medio del mar para los años 2050 y 2100* [Informe Técnico de Resultado]. Instituto de Meteorología.
- Pérez, R. (2019). Ascenso del nivel del mar en Cuba por Cambio Climático. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(1), 76–83. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/455>