

Evaluación de la afectación del huracán Irma, utilizando la modelación numérica en las provincias de Artemisa y Mayabeque

Evaluation of the impact of Hurricane Irma, using numerical modeling in the provinces of Artemisa and Mayabeque

Carlos Manuel González-Ramírez[✉], Pedro González-Jardines, Jorge Félix Hernández-Capote[✉]

Centro Meteorológico Territorial Artemisa-Mayabeque, Instituto de Meteorología, Cuba.

Resumen

En el trabajo se realiza una descripción del comportamiento de las variables meteorológicas viento, presión atmosférica, lluvia, oleaje y sus impactos respectivos en las provincias de Artemisa, Mayabeque, con ayuda del modelo WRF-ARW. Con el objetivo de hacer una descripción se utilizaron los datos recopilados por el Centro nacional de Huracanes de los Estados Unidos. Mediante la ecuación de kraft se estimaron los vientos máximos sostenido en el municipio de Santa Cruz del Norte. Se exponen los resultados de una expedición realizada en el litoral norte de ambas provincias, donde se pudo comprobar la efectividad de los pronósticos marítimos emitidos. Después analizar la información meteorológica disponible se obtuvo que: en la costa norte de la provincia de Mayabeque, afectaron los vientos con fuerza de huracán y en el resto de la provincia incluyendo Artemisa, los vientos fueron con fuerza de Tormenta Tropical. El modelo WRF representó el comportamiento de la presión atmosférica, aunque subestimó los valores. Las inundaciones costeras llegaron a ser fuertes en Playa Baracoa y en el municipio de Santa Cruz del Norte, en este último el mar avanzó hasta unos 200 m, siendo las más fuertes de las que se tenga registro, en el resto de las localidades de la provincia de Artemisa, llegaron a ser ligeras a moderadas.

Palabras claves: huracán Irma, modelo WRF-ARW, variables meteorológicas

Abstract

In this investigation it is described the behavior of meteorological variables wind, atmospheric pressure and precipitation, as well as storm surge caused by hurricane Irma and their respective impacts on Cuba's provinces of Artemisa and Mayabeque, using the numerical forecast model WRF-ARW. Data compiled by National Hurricane Center of the United States of America was used. The maximum sustained winds were estimated for the municipality of Santa Cruz del Norte, through Kraft formula. The results of an expedition realized over the northern coast of both

[✉] Autor para correspondencia: *Carlos Manuel González-Ramírez*. E-mail: carlosm.gonzalez@insmet.cu

[✉] Autor para correspondencia: *Jorge Félix Hernández-Capote*. E-mail: jorge.hernandez@insmet.cu

Recibido: 1/11/2017

Aceptado: 4/12/2017

provinces are exposed, where the accuracy of marine forecasts issued was verified. After analyze the available meteorological information it was obtained that hurricane force winds affected the northern coast of Mayabeque, and tropical storm force winds were felt in the rest of this province and over Artemisa's territory. WRF model simulated correctly the atmospheric pressure behavior, but values were miscalculated. Coastal floods were strong in Playa Baracoa and Santa Cruz del Norte localities (in this last one, the sea advanced as far as 200 m), being the severest of the recorded floods; in the rest of the locations of Artemisa province, they became from light to moderate.

Keywords: Hurricane Irma, WRF-ARW model, meteorological variables

Introducción

Formación del huracán Irma

Irma se generó a partir de una activa onda tropical cerca de las Islas de Cabo Verde el 30 de agosto del 2017. Las condiciones ambientales que rodeaban al sistema eran favorables para su desarrollo, razón por la cual experimentó una rápida intensificación y el 31 de agosto se convertía en el cuarto huracán de la temporada ciclónica 2017.

Su movimiento era al oeste-noroeste y al noroeste, sin embargo un fortalecimiento de la dorsal subtropical entre los día 3 y 4 de septiembre del 2017, obligaron al sistema a cambiar su rumbo al oeste suroeste, aproximándose al grupo norte del arco de las Antillas Menores. Esta posición puso en Alerta a los meteorólogos, pues los modelos de trayectoria indicaban un movimiento al oeste noroeste cruzando el norte de las Antillas, Puerto Rico, La Española y se aproximaba peligrosamente a la región oriental de Cuba.

No obstante, Irma continuó intensificándose y el día 4 alcanzó la categoría 4 y el día 5 la categoría 5, con vientos máximos sostenidos superiores a los 295km/h, convirtiéndose en un peligroso huracán y una amenaza potencial para Cuba.

Los modelos de pronósticos continuaban insistiendo en un movimiento entre el oeste y oeste noroeste cruzando por los mares al norte del territorio nacional, manteniendo la máxima categoría, con vientos máximos sostenidos de 295km/h con rachas más fuertes. Para Cuba continuaba siendo una amenaza potencial, pues

en los mares al norte de Cuba seguiría siendo un gran huracán ya que las condiciones meteorológicas eran favorables, tenía un ambiente húmedo, los vientos en el aire superior se mantenían débiles y la temperatura superficial del mar cercana a los 30°C.

En el norte de la región oriental, la futura trayectoria de este sistema continuaba siendo una incertidumbre para un plazo de 24-48 horas, dependía del movimiento de una vaguada que se encontraba sobre el continente americano, pues sobre el Atlántico se mantenía una celda anticiclónica, que mantenía a Irma con un movimiento al oeste.

Existían dos posibilidades que iban a depender de la profundización y movimiento de la Vaguada. La primera que la vaguada se profundizara rápidamente y erosionara el anticiclón, llevando a Irma con un movimiento más al noroeste y realizando el cambio del movimiento en los mares al norte del centro del país hacia la costa oriental de la Florida. En segundo lugar que este proceso demorara, situación que llevaría a Irma a cruzar próximo a la costa norte de Cuba y girar su trayectoria hacia el norte entre Villa Clara y Matanzas.

Pero como resultado, Irma transitó por los mares al norte de la región oriental de Cuba y tocó tierra en Cayo Romano en la provincia de Camagüey [figura 1](#), luego continuo con un movimiento entre el oeste y oeste noroeste transitando por toda la cayería de la región central de Cuba y luego comenzó a moverse lentamente al noroeste y al norte alejándose de Cuba.

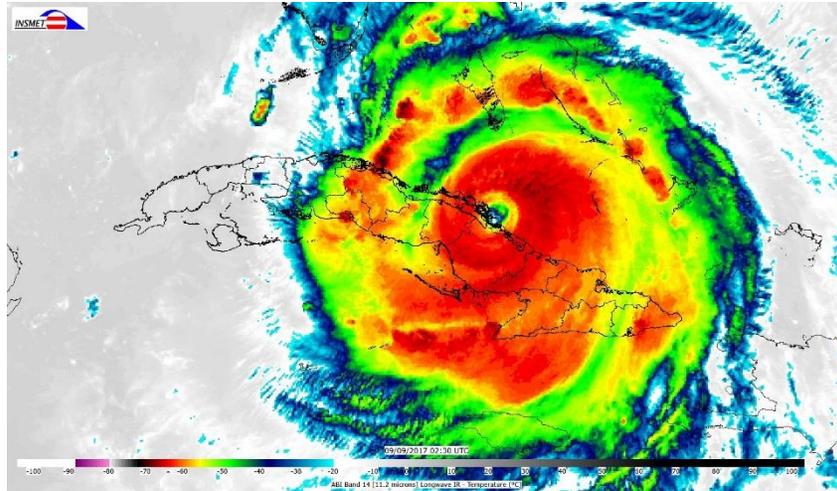


Figura 1. Imagen infrarroja del Huracán Irma sobre Cayo Romano 09 de septiembre 2017 a las 00:30 UTC

La configuración geográfica del territorio nacional, la trayectoria descrita por Irma (Figura 10) y la amplia circulación de este sistema favorecieron que prácticamente todo el país fuera afectado por este meteoro.

En este huracán su pudo contar con los valores de viento, precipitación, presión atmosférica y oleaje, que fueron calculados con el modelo WRF-ARW. Fue una de las herramientas que fueron utilizadas para realizar los pronósticos emitidos. De ahí que contar con un análisis sobre el comportamiento de la misma, es de suma importancia para su uso en estos casos. Es por ello que el objetivo general del trabajo es; Describir los efectos del huracán Irma en las provincias de Artemisa y Mayabeque, usando el modelo WRF.

Mientras que como objetivos específicos esta:

- Analizar los datos de presión mínima y lluvia calculados con el modelo.
- Evaluar el impacto del oleaje causado por el huracán, en la costa norte de Artemisa y Mayabeque.

Materiales y Métodos

Se utilizaron los datos de posición recopilados por el NHC, en el segmento de trayectoria que mayor influencia mostró sobre

las provincias, las posiciones se muestran cada tres horas.

Características usadas del modelo WRF-ARW

Actualmente está en su versión 3, disponible desde abril del 2008. La misma ha sufrido actualizaciones hasta la versión 3.8.1, que constituye la más reciente.

Las corridas se realizaron a las 00:00 y 12:00 UTC, basándonos en los datos del modelo GFS.

El sistema de ecuaciones para el modelo de WRF-ARW, es totalmente compresible, euleriano y no-hidrostático. Este modelo es conservador para las variables escalares. Además, utiliza datos de topografía y se ajusta a la misma, dispones de coordenadas hidrostáticas de presión en la vertical, con el tope del modelo comenzando en una superficie de presión constante.

El núcleo ARW está diseñado para ser un sistema de simulación atmosférica flexible y de última generación, eficiente en las plataformas de computación paralelas disponibles y adecuado, según los expertos, para su uso en una amplia gama de aplicaciones (simulaciones idealizadas sobre huracanes y clima en una región determinada, entre otras) con una resolución espacial desde metros a miles de kilómetros.

En esta investigación, se trabajó con una serie de parámetros y variables meteorológicas en cada uno de los dos dominios tratados, [tabla 1](#) destacándose la lluvia acumulada, presión atmosférica y el viento máximo que constituyen variables básicas en la caracterización de los efectos provocados por este sistema.

En la [figura 2](#), muestra los dos dominios utilizados en el trabajo, donde se considera como dominio 1, una resolución espacial de 12 km, teniendo en cuenta que el factor de proporcionalidad entre las salidas del modelo WRF y las salidas del GFS puede ser de hasta 1/5 y que la razón de proporcionalidad entre los dos dominios utilizados, el de mayor (3km) respecto al que posee menor resolución, debe ser de hasta 1/3. También se conoce que, al realizar una menor cantidad de anidamientos, se interpolan una menor cantidad de nodos, por lo que la incertidumbre en los resultados obtenidos será más pequeña.

El programa ARWpost fue utilizado para convertir la salida del modelo WRF en un formato de entrada adecuado para el software Open-GrADS (versión 2.0.1.oga.1 para Linux). Dicho software se empleó para visualizar los resultados obtenidos de las corridas del modelo WRF-ARW mediante scripts que optimizarían el trabajo y permitirían realizar, de forma automática, representaciones gráficas bien detalladas para cada uno de los dominios trabajados.

Resultados y Discusión

Campo de viento

El modelo fue capaz de reflejar correctamente un campo de viento simétrico [figura 3](#), tal y como tenía el huracán Irma. Los vientos máximos sostenidos pronosticados por el modelo estuvieron entre 90-100 km/h en la costa norte de Mayabeque y con valores de 50-60 km/h en el resto de la provincia, así como en

Tabla 1. Algunos parámetros y variables meteorológicas tratadas en los dos dominios

Parámetros	Dominio 1	Dominio 2
dx=dy=	12 km	4 km
number_levels=	19 niveles	19 niveles
level_máx=	100 mb	100 mb
fields_plot_number=	28 campos meteorológicos	28 campos meteorológicos
dt=	1 h	1 h
Duración del pronóstico	24 h	24 h

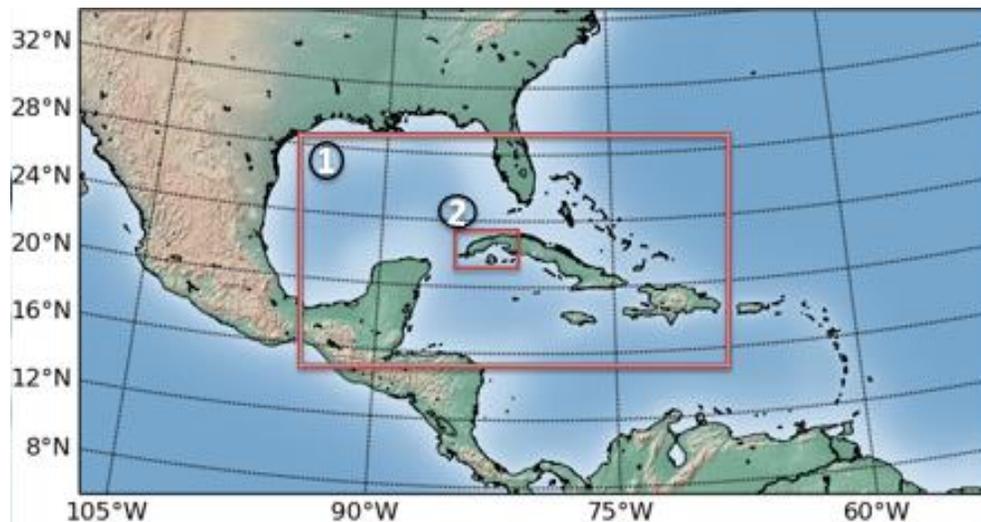


Figura 2. Diseño de los dos dominios utilizados. Extraído de la página web del Departamento de Meteorología del InSTEC: <https://meteorologia.instec.cu>

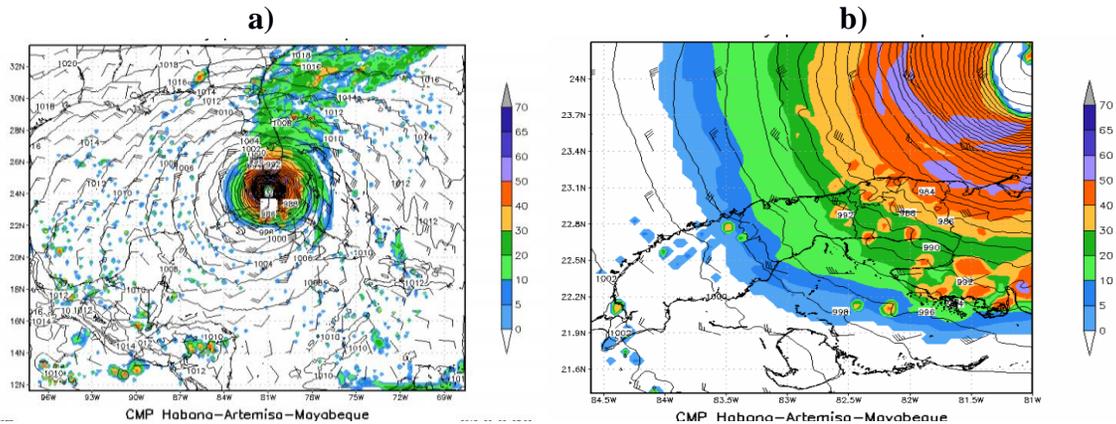


Figura 3. a) Cálculo del campo de viento del WRF-ARW, para el dominio de 12 km y b) el dominio de 4 km

Artemisa. En cuanto a la hora de llegada de los vientos con fuerza de tormenta tropical, estuvo en concordancia con lo ocurrido, estimando que cerca de las 06:00 UTC estarían los vientos más fuertes.

Presión atmosférica

Para este caso, se consideraron dos puntos en la provincia de Mayabeque ubicados cerca de la costa norte y en el centro-norte de la provincia. Estos puntos fueron seleccionados por la cercanía del huracán e interés del grupo de pronóstico.

Los valores de presión mínima calculada con el modelo, estuvieron cerca de los registrados por las estaciones meteorológicas de la provincia, no obstante hubo valores que fueron subestimados, esto puede haber estado relacionado con la trayectoria que el modelo pronosticó, en el cual aproximaba más el centro de huracán a la provincia. El valor más bajo fue de 975.0 hPa en Canasí, lo que estuvo relacionado con una mayor cercanía al centro del huracán, [figura 4](#).

En cuanto a la hora del mínimo de presión, fue muy consecuente con lo registrado en las estaciones, los valores mínimos estuvieron entre 05:00 y 06:00 UTC. Mostrando una curva barométrica que se relaciona con la afectación de una Tormenta Tropical, próxima a huracán categoría 1.

Precipitaciones

El comportamiento de la lluvia se corresponde con las características del sector izquierdo de un huracán. Los mayores acumulados se registraron hacia la zona norte de las provincias.

La [figura 5](#), muestra la precipitación calculada por el modelo y la observada por la red de pluviómetro. Los valores fueron sobre estimados por el modelo, con una baja correlación que estuvo cerca del 0.2. Los mayores errores estuvieron entre 100 y los 150 mm.

Impacto del mar en la costa norte de Mayabeque

En esta zona de nuestra geografía, las costas son acantiladas por lo que el mar no avanza considerablemente, aproximadamente unos 200 m, sin embargo existen instalaciones y viviendas que se encuentran cerca del litoral a menos de 100 metros. El huracán Irma produjo fuertes inundaciones costeras por penetración del mar hacia tierra adentro en los 47 km que tiene la costa norte de Mayabeque ([González et al., 2016](#)). El horario de mayor impacto fue en el entorno de la media noche coincidiendo con una pleamar en esta zona de 50 cm, lo que agravó la situación, esto pudo ser corroborado con los pobladores del litoral norte de Santa Cruz. Este poderoso huracán produjo olas que

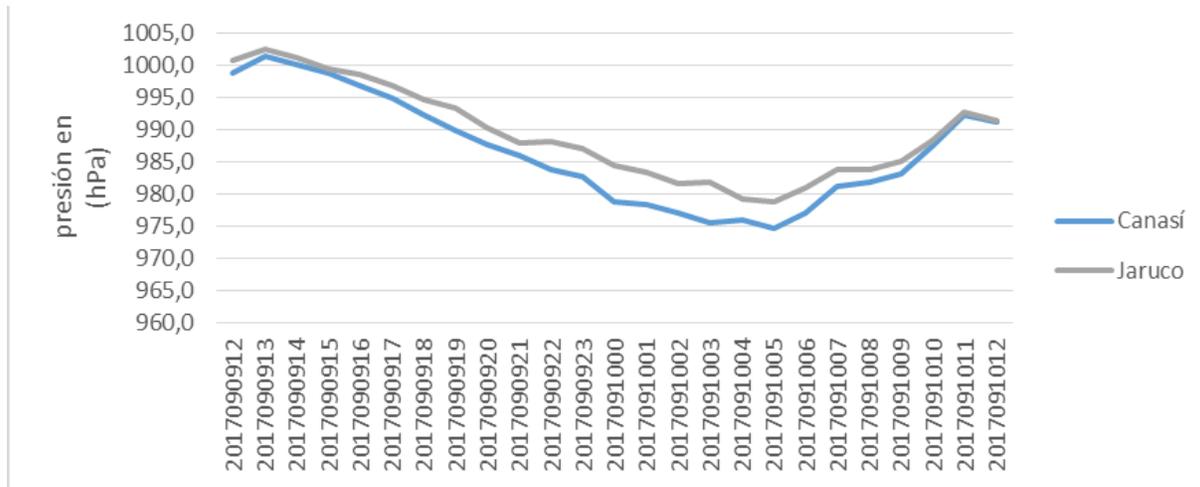


Figura 4. Valores de presión atmosférica calculados por el modelo

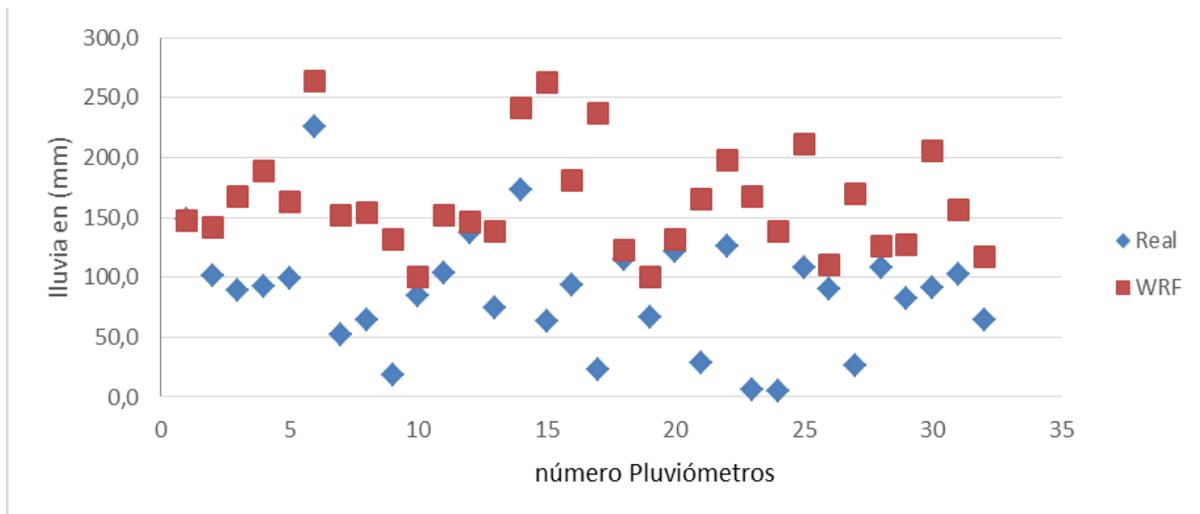


Figura 5. Valores de precipitación calculados por el modelo y los medidos en los pluviómetros

se estimaron entre 8- 10 m, según marcas y testimonios de personas, coincidiendo con los pronósticos generados WW3 y SWAN, [Pérez \(2011\)](#). Generándose las peores inundaciones de la historia en este segmento de costa.

Playas del este (Guanabo)

Olas de 8-9 m, avanzaron unos 194m hasta 5ta avenida, con daños a las dunas de arena y una fuerte erosión de la línea costera, la altura aproximada que alcanzó el agua fue de 30 cm,

afectando casas de alquiler que se encuentran en esta zona ([Figuras 6, 7, 8, 9](#)).

Litoral Norte de Mayabeque

Tramo de costa el Caribe

En este tramo de costa no existen viviendas, solo pozos de petróleo y se encuentra la vía blanca, el mar avanzó unos 197 m, con una altura que estuvo próxima a 50 cm, pasando por encima de esta vía, dejándola intransitable ([Figuras 10, 11, 12, 13](#)).

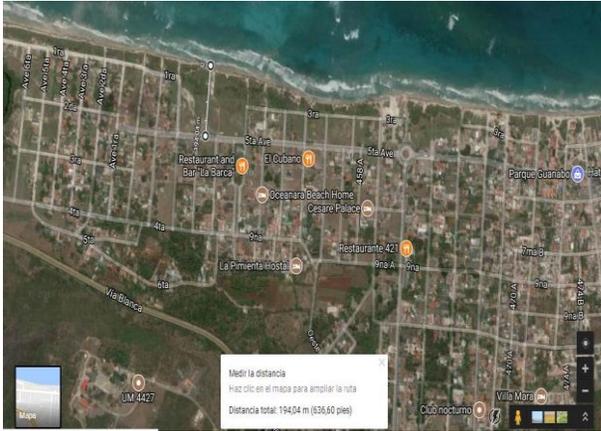


Figura 6. Avance del mar hacia tierra adentro (Boca Ciega, Guanabo, Playas del este)



Figura 7. Avenida primera (Boca Ciega, Guanabo, Playas del este)



Figura 8. Desde quinta avenida, vista hacia el mar, Guanabo, Playas del este



Figura 9. Desde quinta avenida, vista hacia el mar, Guanabo, Playas del este



Figura 10. Avance del mar hacia tierra adentro (El Caribe, Boca de Jaruco, Mayabeque)



Figura 11. Tramos de la Vía blanca (El Caribe, Boca de Jaruco, Mayabeque)



Figura 12. Tramos de la Vía blanca (El Caribe, Boca de Jaruco, Mayabeque)



Figura 13. Tramos de la Vía blanca (El Caribe, Boca de Jaruco, Mayabeque)

Tramo de costa Cayuelo

Este tramo de costa es uno de los que es afectado por las marejadas que se producen con los vientos del noroeste. Aunque las viviendas quedan distantes de la costa, existen instalaciones de petróleo y pertenecientes al turismo, ambas fueron dañadas seriamente. En esta zona se pudo observar como la fuerza del mar, arrastró dos contenedores llenos de mercancía, hasta unos 24 m de la línea costera y arrancó el pavimento de la carretera, quedando en este tramo intransitable la vía, debido a las piedras que fueron lanzadas. El mar avanzó unos 137 m, con unos 50 cm de altura. En comunicación con los trabajadores de este establecimiento que permanecieron en el lugar de manera arriesgada, se pudo comprobar que las olas alcanzaron los 9 m ([Figuras 14, 15, 16, 17](#)).

Litoral de Boca de Jaruco

Al igual que el resto de los tramos, este corresponde con el poblado de Boca de Jaruco, al menos 10 familias sufrieron las consecuencias de las fuertes marejadas e instalaciones de la industria petrolera quedaron afectadas. Se observó fuerte erosión de las explanadas que se utilizan para la extracción del petróleo. Habitantes del lugar afirmaron que las

olas eran también de 8 a 9 m, el mar avanzó unos 106 m, con una altura de 30 cm. Es bueno decir que en el interior de la bahía también se produjeron severas inundaciones que causaron serios impactos en la base de pesca de la localidad, que se encuentra en el interior de la bahía. En esta zona el agua alcanzó unos 50 cm de altura suficiente para producir serias afectaciones a las embarcaciones de la localidad ([Figuras 18, 19, 20, 21](#)).

Litoral de Santa Cruz del Norte (Barrio del machete)

Fue uno de los tramos de costa que fueron seriamente afectados por la marejadas, la única diferencia con el resto, es la densidad de población que habitan este espacio de la cabecera municipal. Aquí fue necesario evacuar a todo el barrio por la amenaza que representó el mar. Avanzó unos 76 m de la línea costera, pero fue suficiente para que el rompiente del oleaje quedara encima de las casas que se encontraban en la primera calle. La altura que alcanzaron las olas, según los pobladores e impactos causados por el mar, estuvieron entre los 8- 10 m, el agua alcanzó una altura que estuvo entre 70 cm y 1m ([Figuras 22, 23, 24, 25](#)).



Figura 14. Avance del mar hacia tierra adentro (El Cayuelo, Boca de Jaruco, Mayabeque)



Figura 15. Erosión del asfalto (El Cayuelo, Boca de Jaruco, Mayabeque)



Figura 16. Erosión del asfalto (El Cayuelo, Boca de Jaruco, Mayabeque)



Figura 17. Contenedores arrastrados 24 m por la fuerza del mar, desde donde fue tirada la foto (El Cayuelo, Boca de Jaruco, Mayabeque)

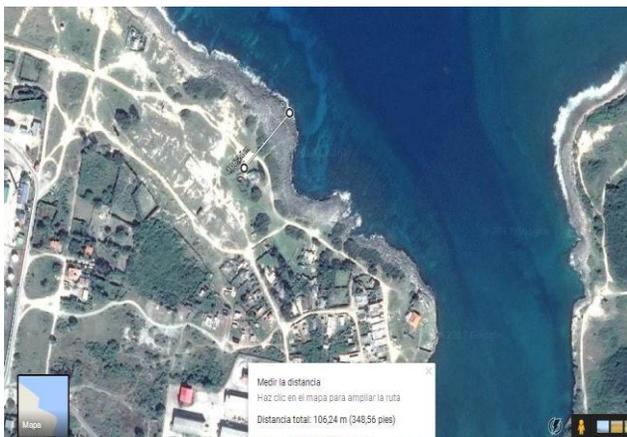


Figura 18. Avance del mar hacia tierra adentro (poblado Boca de Jaruco, Mayabeque)

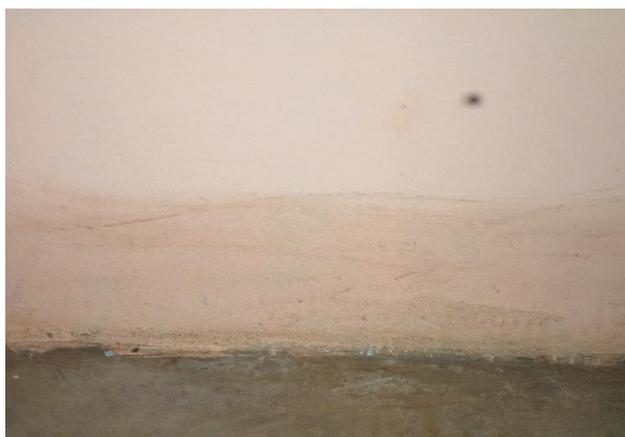


Figura 19. Marca del agua dentro de la viviendas (poblado Boca de Jaruco, Mayabeque)



Figura 20. Erosión de la línea costera (poblado Boca de Jaruco, Mayabeque)



Figura 21. Daños causados en la base de pesca (poblado Boca de Jaruco, Mayabeque)

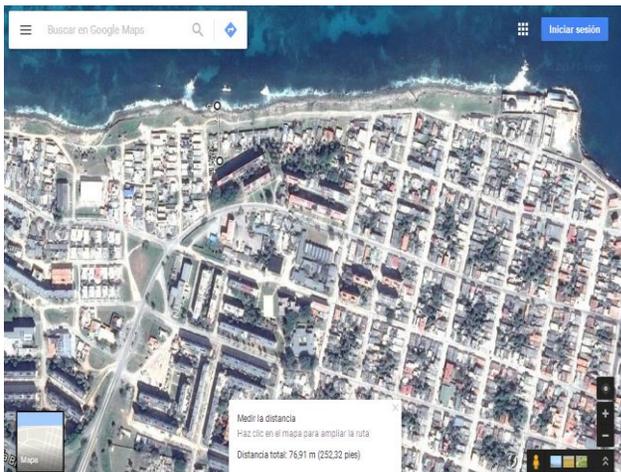


Figura 22. Avance del mar hacia tierra adentro (Barrido del machete, Santa Cruz del Norte)



Figura 23. Avenida primera en Santa Cruz del Norte (Barrido del machete)



Figura 24. Avenida primera en Santa Cruz del Norte (Barrido del machete)



Figura 25. Avenida primera en Santa Cruz del Norte (Barrido del machete)

Playa el Fraile

En este caso también hubo que efectuar la evacuación, las marejadas golpearon las casas que se encontraban en la primera línea de la costa (Avenida 1ra) causándole afectaciones. El mar avanzó unos 60 m.

Hotel Memories Jibacoa

En este tramo se produjo gran avance del mar tierra adentro, hubo que evacuar a todos los turistas que se encontraban vacacionando. Fue una de las zonas donde se observó una mayor deposición de arena, mejorando la calidad de la playa. Las Olas se estimaron entre 8-9 m, el agua avanzó unos 144 m con una altura de 60 cm ([Figuras 26, 27, 28, 29](#)).

Puerto Escondido

En la zona se encuentra unos de los yacimientos de petróleo más importantes de la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo de Occidente. El oleaje destruyó las calles de acceso y depositó grandes rocas sobre la costa. El mar avanzó unos 170 m. Debido a que no existe población en esta zona, no se pudo verificar altura de la ola ([Figuras 30, 31, 32, 33](#)).

Impacto del mar en la costa norte de Artemisa

En esta zona de nuestra geografía, las costas son acantiladas por lo que el mar no avanza considerablemente, aproximadamente unos 200 m, sin embargo existen instalaciones y viviendas que se encuentran cerca del litoral a menos de 100 metros. El huracán Irma produjo inundaciones costeras de ligeras a moderadas en el municipio Mariel y llegaron a ser fuertes en el litoral de los municipios Caimito y Bauta,

donde se encuentran las localidades de Playa del Salado y Playa Baracoa respectivamente. El periodo de máximo impacto fue ente las dos y cuatro de la Madrugada, datos que pudieron ser corroborados con los pobladores de la zona. Este poderoso huracán produjo olas por mar de fondo con una altura entre 5-6 m.

Playa Baracoa

En playa Baracoa, las inundaciones costeras alcanzaron distancias entre los 120 y 250 m, la franja costera entre calle 1^{ra} a 3^{ra} se unió con la laguna. Tramos del muro fueron derrumbados, las olas dañaron algunas casas en calle primera. Según los pobladores las olas rompían detrás de las casas, llegando hasta la avenida tercera, la altura de las olas estaban entre cinco y seis metros. La altura del agua en las zonas inundadas dentro de las casas era entre 1 y 1.10 m (Resultado de la expedición del 15 de septiembre de 2017) ([Figuras 34, 35, 36, 37](#)).

Playa del salado

En la playa del Salado se produjeron inundaciones costeras estuvieron entre 60 y 120 m. Las playas e instalaciones costeras estaban cubiertas por rocas entre 15 y 20 cm. La altura del agua en esta zona osciló entre 40 y 60 cm ([Figuras 38, 39, 40, 41](#)).

La Boca (Mariel)

Desde el Salado hasta la Boca del Mariel, las inundaciones oscilaron entre 50 y 100 m. El agua alcanzó una altura entre 40 y 120 cm. En el poblado de la Boca del Mariel, algunas casas y el círculo infantil sufrieron daños asociados a la marejada del ciclón. En el mismo asentamiento las cisternas de la primera calle se contaminaron con aguas de mar, el en interior de las casas el agua alcanzo alturas de 40 cm.

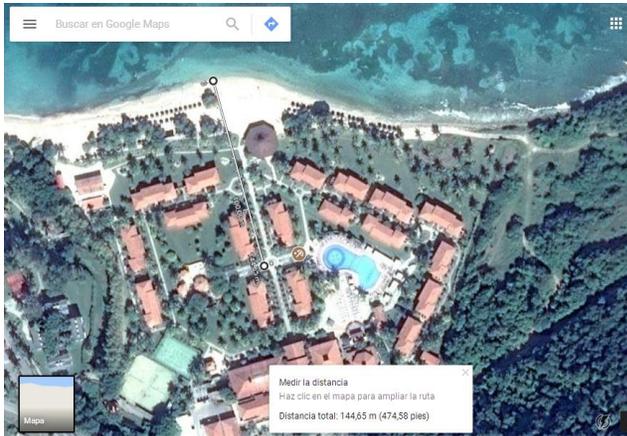


Figura 26. Avance del mar hacia tierra adentro (Hotel Memories Jibacoa, Santa Cruz del Norte)



Figura 27. Avance de Arena por el oleaje (Hotel Memories Jibacoa, Santa Cruz del Norte)



Figura 28. El piso levantado por la acción del oleaje (Hotel Memories Jibacoa, Santa Cruz del Norte)



Figura 29. Hasta la franja roja llegó el agua y arena 50 cm (Hotel Memories Jibacoa, Santa Cruz del Norte)

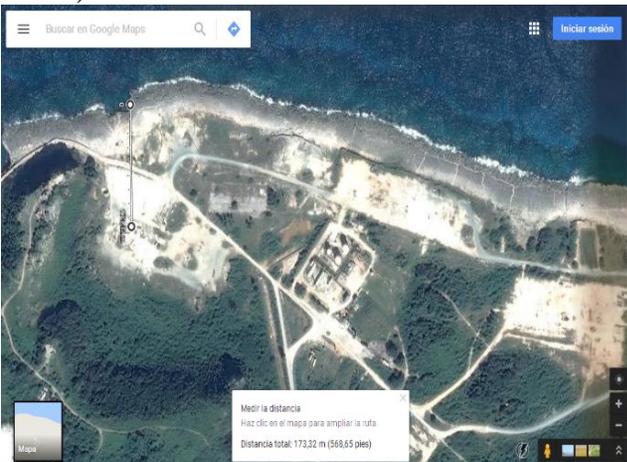


Figura 30. Avance del mar hacia tierra adentro (Puerto Escondido, Santa Cruz del Norte)



Figura 31. Vía de acceso destruida por la fuerza del oleaje (Puerto Escondido, Santa Cruz del Norte)



Figura 32. Piedras depositadas por el oleaje (Puerto Escondido, Santa Cruz del Norte)



Figura 33. Vía de acceso destruida por la fuerza del oleaje (Puerto Escondido, Santa Cruz del Norte)



Figura 34. Avance del mar hacia tierra adentro (Playa Baracoa, Artemisa)



Figura 35. Marca de agua en una puerta a unos 50 cm de altura (Playa Baracoa, Artemisa)



Figura 36. Tramo de malecón destruido por el oleaje Avenida Ira, Playa Baracoa, Artemisa



Figura 37. Tramo de malecón destruido por el oleaje Avenida Ira, Playa Baracoa, Artemisa

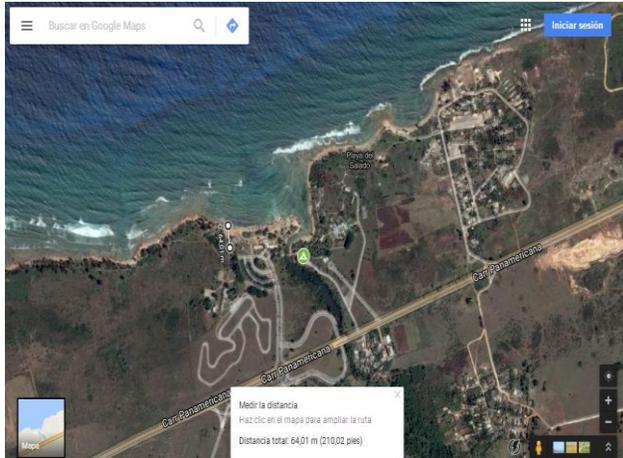


Figura 38. Avance del mar hacia tierra adentro (Playa del Salado, Artemisa)



Figura 39. Piedras depositadas a 60 m de la línea costera (Playa del Salado, Artemisa)



Figura 40. Piedras depositadas a 60 m de la línea costera (Playa del Salado, Artemisa)



Figura 41. Piedras depositadas a 60 m de la línea costera (Playa del Salado, Artemisa)

Conclusiones

- El modelo subestimó la velocidad del viento máximo sostenido, según los cálculos el huracán Irma afectó con vientos máximos sostenidos 90-100 km/h que se corresponden con una tormenta tropical, en el litoral de Santa Cruz del Norte, mientras que el resto de las localidades calculó vientos entre 50-60 km/h.
- Los valores de precipitación calculados por el modelo fueron sobreestimados con valores de 100 y 150 mm.
- En la escala temporal, el modelo la reflejó correctamente determinando que a las 06:00 UTC, sería la máxima cercanía a las provincias.
- Las inundaciones costeras en el litoral norte de Santa Cruz del Norte avanzaron de 100-200 m, lo que se clasifica como fuertes y no existen antecedentes.
- Los modelos de oleaje fueron consecuentes con la altura de las olas que se estimaron entre 8-10 m, en el litoral norte de Artemisa y Mayabeque.

Referencias

- González, CM (2016): Cronología de las inundaciones costeras por penetración del mar en las provincias la Habana, Artemisa y Mayabeque. *Informe de Resultado Científico del proyecto* “Procedimiento para la ejecución y uso de las observaciones del estado de la superficie marina desde estaciones Costeras en la predicción del oleaje e inundaciones costeras en el territorio cubano”. Instituto de Meteorología.
- Kraft, R.H., 1961: The Hurricane's central pressure and highest wind. *Mar. Wea. Log*, 5, 157.
- NOAA. 2017. *National Hurricane Center*. Available: <<http://www.nhc.noaa.gov/>>, [Consulted: December 4, 2017].
- Pérez, A. & I. Mitrani (2011): Pronóstico del Oleaje en las Costas Cubanas y Mares Interamericanos, mediante el uso de los modelos numéricos MM5, WW3 y SWAN. Memorias VI Congreso Cubano de Meteorología. ISBN 978-959-7167-29-7. http://10.0.10.232/CNP/EXPERIMENTAL_G_OES_16/INTERACTIVE/DISCO_CH14/ARCHIVO/