

Propagación del oleaje en la bahía de Cienfuegos en condiciones extremas del estado del tiempo

Amelia Sánchez-Pérez ⁽¹⁾*, Eliecer Sotolongo-Hernández ⁽²⁾, Alain Muñoz-Caravaca ⁽³⁾ y José Sánchez-Díaz ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Centro Meteorológico Provincial. Comandante Fajardo Final S/N, Olivos II, Sancti Spíritus, Cuba.

Email: amelia.sanchez@ssp.insmet.cu

⁽²⁾ Universidad de Sancti Spíritus "José Martí". Centro de Estudios Energéticos y Procesos Industriales. Avenida de los Mártires No. 360, Sancti Spíritus, Cuba.

⁽³⁾ Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos. Calle 17 S/N, entre 46 y Litoral, Reparto Reina, Cienfuegos, Cuba.

⁽⁴⁾ Instituto Pre-Universitario "Camilo Cienfuegos", La Sierpe, Sancti Spíritus, Cuba.

Recibido: diciembre 2016	Aceptado: agosto 2017
--------------------------	-----------------------

Resumen

Se aplica la modelación físico-matemática para caracterizar la propagación del oleaje y analizar como interactúa con las corrientes que genera su rotura; todo esto para cuando existen condiciones extremas del estado del tiempo. La investigación se desarrolla en dos áreas de estudio, la bahía de Cienfuegos y playa Rancho Luna. Fueron empleados los modelos Oluca-MC y Copla-MC para el análisis de oleaje y corrientes respectivamente, estos modelos están incluidos dentro del módulo de corto plazo de la herramienta informática Sistema de Modelado Costero (SMC). Los valores finales a los que llega la altura de la onda propagada en cada zona de estudio se encuentran entre los 0.5 m y 1.5 m. Mientras que, las corrientes alcanzan valores de hasta 0.54 cm.s^{-1} en el interior de la bahía y de 1.60 cm.s^{-1} en playa Rancho Luna. La configuración estrecha y sinuosa del canal de entrada a la bahía, hace que se comporte como un aislante, dejando al interior de la misma, apartada de las grandes olas que se generan en el exterior. Las corrientes provocadas por el oleaje extremo en la bahía de Cienfuegos, impactan de manera directa áreas de gran importancia socioeconómica de la ciudad. Por otra parte, las características batimétricas de la playa Rancho Luna, determinan la configuración del patrón de corrientes en esta área cuando existen condiciones extremas del estado del tiempo. Los resultados obtenidos son comparables a los reportados en la literatura internacional y los logrados con el SMC en otras zonas del país.

Palabras claves: bahía, métodos de simulación, olas, playa

Propagation of the waves in the Bay of Cienfuegos in extreme weather conditions

Abstract

Physical-mathematical modeling is applied to characterize wave propagation and analyze how it interacts with the currents generated by its breakage; all this for when there are extreme conditions of the weather. The research is carried out in two study areas, Cienfuegos Bay and Rancho Luna Beach. The Oluca-MC and Copla-MC models were used for the analysis of waves and currents respectively, these models are included in the short-term module of the Coastal Modeling System (SMC) computer tool. The final values reached by the height of the propagated wave in each study area are between 0.5 m and 1.5 m. While, the currents reach values of up to 0.54 cm.s^{-1} in the interior of the bay and of 1.60 cm.s^{-1} in Rancho Luna beach. The narrow and sinuous configuration of the entrance channel to the bay, makes it behave as an insulator, leaving the inside of it, away from the large waves that are generated on the outside. The currents caused by the extreme waves in the bay of Cienfuegos, directly impact areas of great socioeconomic importance of the city. On the other hand, the bathymetric characteristics of the Rancho Luna beach determine the configuration of the pattern of currents in this area when there are extreme conditions of the weather. The results obtained are comparable to those reported in the international literature and those achieved with the SMC in other areas of the country.

Keywords: bay, beach, simulation methods, waves

1 Introducción

La bahía de Cienfuegos por su ubicación geográfica y su potencialidad portuaria, constituye un elemento concluyente en el desarrollo industrial de toda la región del país. Por lo que, a partir del año 2008 se comenzó a utilizar por especialistas del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC) el modelo SWAN (Caravaca, 2011). Éste ha sido utilizado hasta el presente en modo estacionario y como primera aproximación en los estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR) que se vienen desarrollando en Cuba desde el año 2005 (Gómez, 2011).

En este caso, el objetivo con SWAN fue determinar en la costa de toda la provincia los campos de oleaje y la sobre-elevación del nivel del mar provocado por este fenómeno cuando es generado por huracanes. Los resultados permitieron estimar valores de oleaje a lo largo la costa, así como la elaboración de mapas de peligro por inundaciones costeras.

Recientemente y a partir de simulaciones numéricas se determinó la variación del patrón de circulación y la sobre-elevación del nivel del mar al paso de huracanes, considerando además como forzantes los aportes fluviales y la marea (Marín, 2017). Este resultado sin embargo no incorpora la formación de olas en estas circunstancias, por lo que no logra estimar cuál es la contribución del oleaje al patrón de circulación.

El conocimiento sobre el aporte del oleaje al sistema de corrientes en la bahía de Cienfuegos cuando existen condiciones climatológicas extremas, es limitado. Por lo tanto, este artículo tiene como objetivo aplicar la modelación físico-matemática para caracterizar la propagación del oleaje y las corrientes inducidas por este en condiciones extremas en la bahía de Cienfuegos.

2. Materiales y métodos

La investigación se desarrolla en dos áreas de estudio: la bahía de Cienfuegos y el sector costero playa Rancho Luna. Para la primera se consideran dos casos de análisis; uno investiga la propagación del oleaje de tormenta en el canal y un segundo caso se refiere a la que ocurre en el interior de la bahía, focalizando la atención en el área de impacto que se corresponde con la zona urbanizada.



Fig.1. Localización y profundidad de la bahía de Cienfuegos. *Fuente Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC).*

2.1 Bahía de Cienfuegos

Está situada en la provincia de igual nombre, en la región central y costa sur de Cuba, su forma es ovalada y está orientada de noroeste (NW) a sureste (SE), en los 22.118214 N, -80.467303W (Seisdedo y Moreira, 2007). Es una bahía de bolsa con un área de 88.46 km², un volumen total de 810 km³ y cuya línea de costa ocupa 142 km de largo. Posee 19 km de longitud máxima y 7,5 km en su parte más ancha, con una profundidad promedio de 9,5 m, (Muñoz et al., 2012).

De forma natural está fragmentada en dos lóbulos (Lóbulo Norte y Lóbulo Sur), delimitados por la presencia de una cresta sumergida (bajo "Las Cuevas") con una profundidad promedio de 1,5 m. En este sistema estuarino desembocan los ríos Caunao, Arimao, Damují, Salado y el Arroyo Inglés; los cuales constituyen importantes fuentes de vertimientos residuales provenientes del sector urbano, industrial y agrícola, (Muñoz, 2012).

El intercambio de sus aguas con el Mar Caribe ocurre a través de un estrecho canal de alrededor de 3 km de longitud (Seisdedo y Moreira, 2007) y un ancho de 250 m, el cual alcanza profundidades entre 30 y 50 m en el centro, (Moreira et al., 2007). Este canal se encuentra limitado por dos puntas, al Este por Punta Los Colorados situada a los 22.032549 N, -80.441830 W y al Oeste por Punta Sabanilla ubicada a los 22.041221 N, -80.480863 W, presentando ciertos límites para la navegación por la sinuosidad que constituye Punta Pasacaballo, que forma un cañón con arrecife y costas acantiladas y abrasivas, con vegetación degradada hacia el sector Este, (Muñoz et al., 2012).

2.2 Playa Rancho Luna

Rancho Luna constituye la playa principal de la provincia Cienfuegos, en la zona central de la costa meridional de la isla de Cuba. Posee una longitud aproximada de unos 500 m y una disposición de su línea de costa de NW a SE. Se localiza en los 22.036944 N, -80.421944 W, frente al mar Caribe y sobre una estrecha plataforma. En su extremo Noroeste se encuentra un saliente rocoso natural sobre el cual se haya apoyada. Posee una barrera arrecifal protectora que la rodea completamente en su parte marina, expuesta a régimen de ondas de baja energía, que en ocasiones se alterna con ondas de alta energía producidas por huracanes, (Caravaca et al., 2015).

La playa tiene asociada una duna con una altura de hasta 4 m y un ancho medio entorno a los 40 m. El régimen de marea es semidiurno y micromareal. Esta playa tiene un importante uso turístico nacional e internacional (Hoteles Rancho Luna y Faro Luna). Presenta un uso intenso en época de verano, sobre todo en los meses de junio a agosto (Caravaca et al., 2015).

2.3 Sistema de Modelado Costero (SMC):

Entre 1995 y 2002 fue desarrollado el Sistema de Modelado Costero (SMC) por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria en España, con la colaboración de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (IHC, 2002). El SMC tiene incorporado un conjunto de modelos numéricos que permiten estudiar los procesos costeros y sus efectos en la costa, debido a eventos naturales o actuaciones humanas. (IHC, 2002).

Ha sido dispuesto en cinco módulos principales "Pre-proceso", "Corto plazo", "Medio y largo plazo", "Modelado del terreno" y "Tutor". El módulo de "Pre-proceso" básicamente permite caracterizar y procesar información de entrada para los diferentes modelos numéricos. Por otra parte, el módulo de "Análisis a corto plazo de playa" (Acordes), almacena las herramientas numéricas que permiten analizar la morfodinámica de un sistema costero en una escala espacio/temporal de corto plazo. En el módulo de "Análisis a largo plazo de playas" (Arpa) aparecen las herramientas morfodinámicas, que permiten modelar el sistema en una escala temporal espacial de medio y largo plazo. Otro, es el "Modelado del terreno", el cual admite modificar los contornos del fondo (batimetría) y laterales (acantilados, diques naturales y artificiales, etc.), lo que es fundamental para estudiar diferentes escenarios dentro de un proyecto. En último lugar, se encuentra el "Tutor de ingeniería de costas" (Tic), el cual se ejecuta dentro del SMC como apoyo teórico, conceptual y de información básica para los diferentes modelos numéricos del sistema (Ramos 2013); (Vidal & Córdoba 2010).

Parte del paquete SMC lo constituye Mopla (Morfodinámica de Playas), un modelo de evolución morfológica para zonas costeras de esquema 2DH de corto plazo basado en procesos. Está compuesto por tres módulos: un módulo de propagación y transformación del oleaje (OLUCA), un modelo de cálculo de corrientes promediadas en la vertical (COPLA) y un módulo de transporte potencial de sedimentos y evolución morfológica (EROS), (Alvarez & Silva et al., 2012). Consta de seis modelos numéricos distribuidos en los tres módulos para la simulación de la propagación del oleaje, cálculo del transporte de sedimentos, simulación del sistema de corrientes inducido por la rotura del oleaje, y la evolución de la batimetría, (Ramos, 2013).

2.3 Modelo batimétrico

Para evaluar en las áreas de estudio el comportamiento del oleaje y de las corrientes que produce su rotura cuando existen condiciones extremas del estado del tiempo, se construyeron tres mallas de análisis, dos sobre la batimetría de la bahía de Cienfuegos y la tercera sobre la batimetría de la playa Rancho Luna. La primera malla cubre el sector central de la bahía incluyendo el canal de acceso, presenta una dimensión de $x=18849.94$ m e $y=3821.03$ m; con origen de coordenadas situado en $X_{UTM}: 558171.12$ e $Y_{UTM}: 242017.57$. Sobre la parte norte de la bahía abarcando la zona urbanizada, fue dispuesta la segunda malla, esta cuenta con una dimensión de $x=8531.32$ m e $y=9161.25$ m y su origen de coordenadas está situado en $X_{UTM}: 558258.62$ e $Y_{UTM}: 254277.40$. Por último, la tercera malla localizada sobre la playa Rancho Luna posee una dimensión de $x=1660.23$ m e $y=1695.32$ m, con origen de coordenadas $X_{UTM}: 560581.20$ e $Y_{UTM}: 244200.35$.



Fig.2. Malla de cálculo dispuesta sobre el canal de entrada y sector central de la bahía de Cienfuegos.

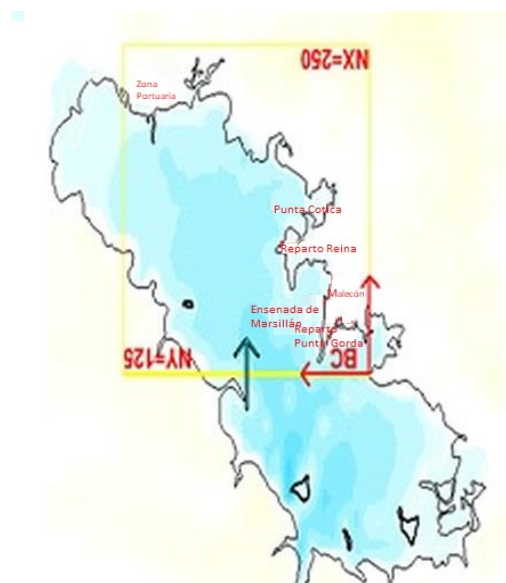


Fig.3. Malla de cálculo dispuesta sobre la zona norte del interior de la bahía de Cienfuegos.

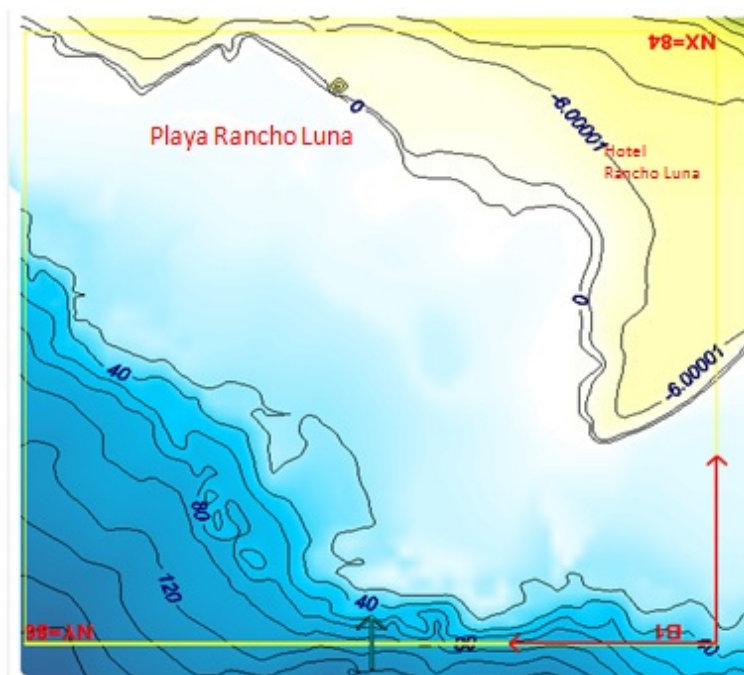


Fig.4. Malla de cálculo dispuesta sobre al sector costero Playa Rancho Luna.

Por las mallas correspondientes al sector central de la bahía y de la playa Rancho Luna se hizo pasar una ola de 16 m proveniente del Sur, con período de 13 s, mientras que para la del interior de la bahía la onda fue de 4 m con igual dirección y un período de 9 s; simulando en ambos casos olas generadas por un Huracán Categoría 5 según el oleaje de tormenta caracterizado por (Caravaca, 2011). La selección de la dirección de impacto de la ola responde a que esta es representativa de los eventos extremos que se aproximan a la provincia, generalmente desde el Sur.

Para analizar la transformación de la ola desde aguas profundas se ha empleado el modelo numérico Oluca-MC y las corrientes de rotura se han evaluado en el modelo Copla-MC. Estos modelos numéricos forman parte del modelo Mopla, incluidos dentro del módulo de corto plazo del SMC.

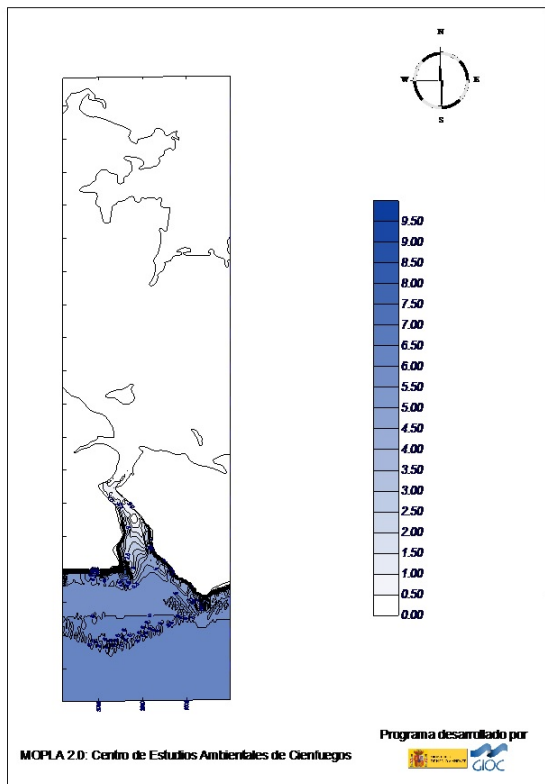
Se hace notar que este análisis tiene como punto de partida una simulación de carácter estacionario, con lo cual se entiende que se propaga la ola y no hay tras ella otra ola u otras, solo aquella que se propaga. Con ello se quiere reconocer que bajo la influencia de un huracán, la acción del viento es permanente durante su paso, y en consecuencia está generando olas todo ese tiempo bajo la fricción del viento sobre la superficie del mar, por lo que es de esperar la superposición de olas y otros fenómenos no desarrollados en este trabajo.

3. Resultados y discusión

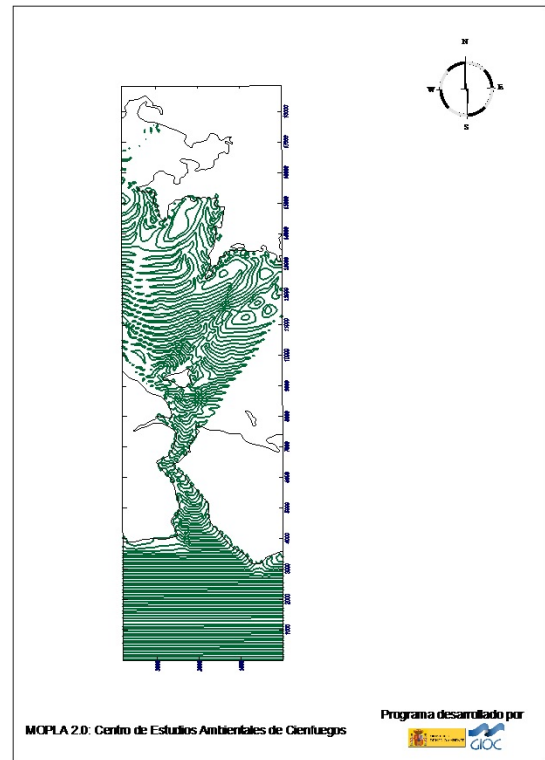
3.1 Propagación del oleaje en la bahía de Cienfuegos

3.1.1 Propagación del oleaje en el sector central de la bahía de Cienfuegos

En el canal de entrada a medida que la ola avanza ocurre una disminución de su altura de manera rápida y gradual, apreciándose una atenuación de la energía considerable. Aunque la amplitud se reduce a menos de 0,5 m con independencia del valor inicial, la ola sigue avanzando tal como expresan los frentes de ondas descritos en la figura 5 (b).



(a)



(b)

Fig. 5. Propagación de ola de altura 16 m (a). Frente de onda, ola de 16 m (b). Ambos correspondientes a un Huracán Categoría 5. Ola proveniente del exterior de la bahía de Cienfuegos.

Esto quiere decir que, existe una transferencia de las características de la ola hacia el interior de la bahía. La señal se difracta ante la presencia del Cayo Carenas, una parte toma rumbo el sector noroccidental y el otro al lado contrario, alcanzando la zona norte.

Las corrientes más intensas se dan en los primeros metros desde la línea de costa, por ser zonas de rompiente del oleaje. Se localizan principalmente en la entrada del canal y áreas cercanas al mismo, debido a que la configuración estrecha y sinuosa que presenta no permite que las corrientes de mayor magnitud avancen al interior de la bahía. Estas características del canal de entrada hacen que se comporte como un aislante, dejando al interior de la bahía apartada de las grandes olas que se generan en el exterior.

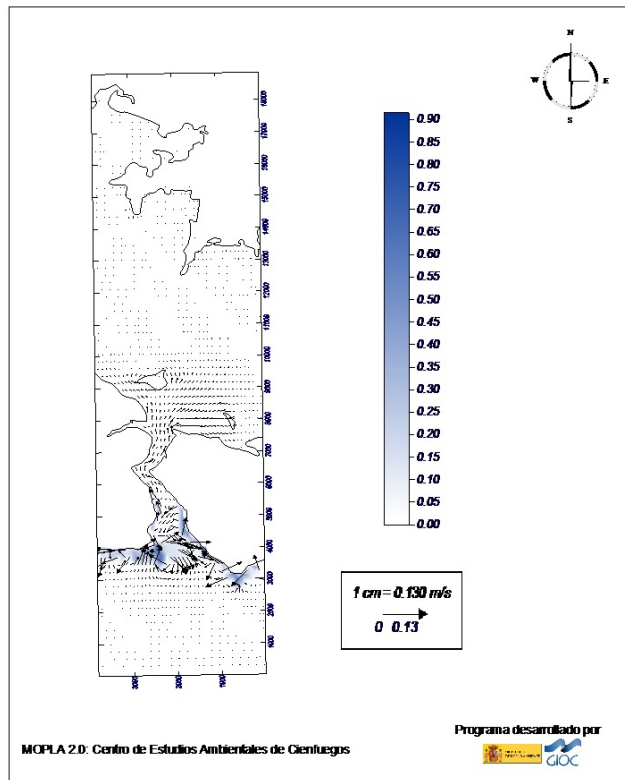


Fig. 6. Magnitud y dirección de las corrientes. Ola de 16 m proveniente del exterior de la bahía de Cienfuegos, correspondiente a un Huracán Categoría 5.

3.1.2 Propagación del oleaje en el interior de la bahía de Cienfuegos

La batimetría de esta área es poco profunda, con media de 9,5 m. Su configuración alargada y estrecha hace que la onda a medida que se propaga hacia la costa experimente un cambio brusco de profundidad, disminuyendo su energía cinética a la vez que aumenta la energía potencial y con ello su altura. Esto provoca que la ola se haga cada vez más inestable y rompa disipando gran parte de su energía por fricción con el fondo y por la rotura propiamente, lo que limita el crecimiento del oleaje.

Las zonas que reciben mayor impacto de las olas provenientes de la dirección analizada son todas aquellas cercanas al puerto, así como los repartos Reina y Punta Gorda, además de toda la zona perteneciente a la Ensenada de Marsillán. Como ha quedado demostrado anteriormente, la bahía queda aislada de las grandes olas generadas en el Mar Caribe, y las ondas en su interior tienen que crecer desde cero, lo que hace que el oleaje alcance un menor desarrollo.

Los valores finales a los que llega la altura de la ola propagada en este caso se encuentran entre los 0.5 m y 1.5 m, esto es debido a las características topográficas del lugar, el cual presenta áreas de muy baja profundidad como se mencionó anteriormente. Esta es una condición límite al desarrollo del oleaje en el interior de la bahía. Las órbitas de las partículas que componen las olas son elipsoidales, al aproximarse a la costa los ejes de las elipses disminuyen a medida que se acercan al fondo, es decir, el movimiento de esas partículas cambia a circulares y la altura de la ola disminuye con la profundidad, el movimiento es más horizontal, disipando una gran cantidad de energía por fricción con el fondo y por rotura. Para las olas analizadas en este trabajo esto ocurre cuando se alcanzan profundidades menores de 10 m.

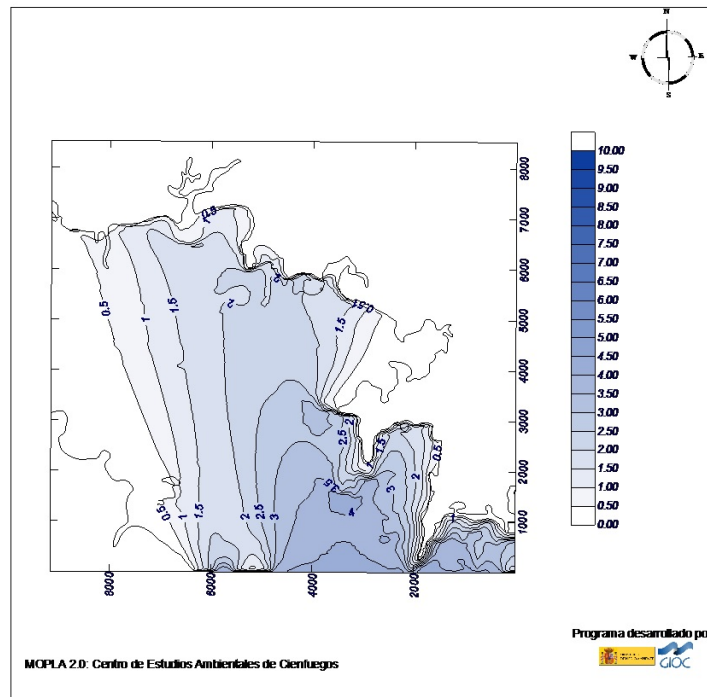


Fig. 7. Altura de onda. Onda de 4 m correspondiente a un Huracán Categoría 5 .

Existe una correspondencia entre las áreas que reciben mayor impacto de las olas y aquellas donde las corrientes son más fuertes, esto se debe en gran medida a que son zonas de rotura del oleaje. Cerca de la desembocadura del río Salado la corriente genera un pequeño remolino, debido a irregularidades de la topografía de la zona de rotura. En el sector central del dominio, que se corresponde con la Ensenada de Marsillán, lugar donde se emplaza el malecón cienfueguero, se observa que las corrientes son intensas y ceden allí toda la energía de la ola durante su rotura. Esto también puede apreciarse al occidente de Punta Gorda y hasta la barriada de Junco Sur.

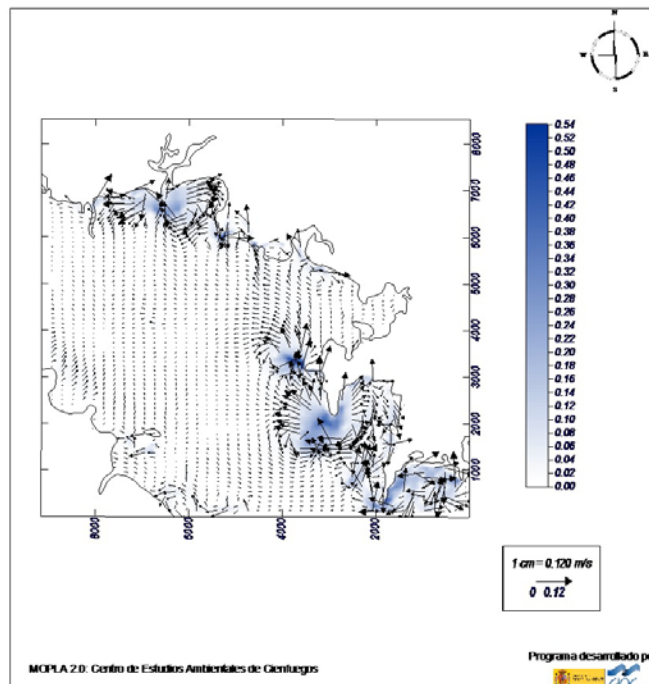


Fig. 8. Magnitud y dirección de las corrientes. Onda de 4 m, correspondiente a un Huracán Categoría 5.

Las corrientes generadas alcanzan valores de hasta 0.54 cm.s^{-1} , principalmente próximo a Reina y la zona del puerto.

Para la dirección del viento Sur, no se aprecian impactos notables en sectores costeros como la Ensenada de Cotica donde se ubica la Central Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes y su base de tanques que almacenan hidrocarburos. Todo lo hasta aquí descrito se corresponde con los efectos generados por los huracanes que han pasado por la provincia. En la zona del puerto por ejemplo, los huracanes Dennis y Michelle provocaron cuantiosos daños a la infraestructura portuaria, dejando en el mar las grúas y tolvas para la gestión de las cargas en buques.

3.1.3 Propagación del oleaje en el sector costero playa Rancho Luna

Debido a las características batimétricas de esta área ocurre una atenuación considerable de la altura de ola, llegando a la línea de costa valores de 0,5 m. Se observa que esta atenuación ocurre de forma gradual y en un espacio reducido cerca de la costa y en los extremos de la playa un poco más alejado de ella, pues a partir de estos las aguas se van haciendo cada vez menos profundas y las partículas que la componen cambian de órbita, y se pierde una gran cantidad de energía. La ola empieza a romper a partir de los 15 m a 10 m.

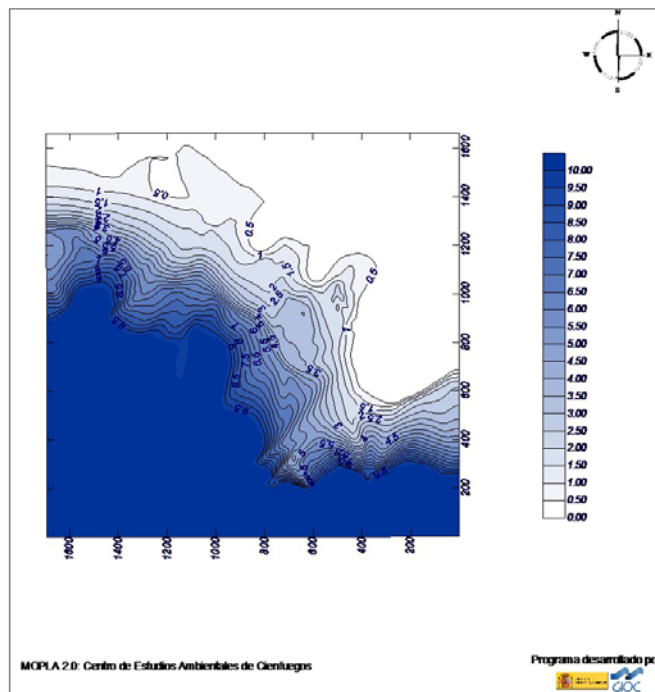


Fig. 9. Altura de onda. Onda de 16 m correspondiente a un Huracán Categoría 5.

Se observa que no existe una dirección principal de la corriente, formándose vórtices o remolinos a lo largo de toda la playa lo que puede ser causado por características propias de la configuración de la zona de rotura, lo que da lugar a que ocurra el fenómeno de refracción en el que los sectores del frente de onda más próximos a la orilla se mueven más despacio que los más alejados, por lo que el frente de onda se desarrolla tratando de ocupar una posición paralela a la línea de costa. Las corrientes alcanzan valores máximos $1,60 \text{ cm.s}^{-1}$.

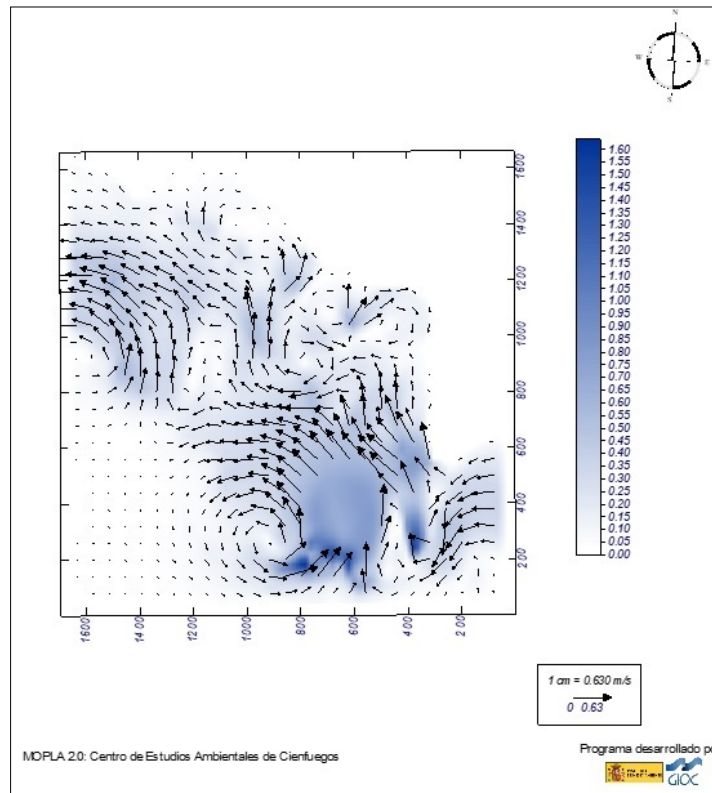


Fig. 10. Magnitud y dirección de las corrientes. Onda de 16 m, correspondiente a un Huracán Categoría 5.

Los resultados obtenidos son comparables a los reportados en la literatura internacional, (Córdova y Torres, 2013), (Pagot et al., 2014), (Gomes y Costa da Silva 2014), también con los realizados en Cuba para distintas zonas de Varadero, (Vidal y Córdoba 2010), (Córdova y Váldez 2011). El SMC permite modelar el comportamiento del oleaje con gran confiabilidad, está diseñado para zonas cercanas a la costa, zonas portuarias y de playa. Especialistas de todo el mundo lo han adaptado a las características de las zonas que desean estudiar, sin embargo, no se tiene conocimiento de la calibración del mismo.

Conclusiones

En el orden metodológico se concluye que:

Se aplica de manera exitosa la modelación físico-matemática para caracterizar la propagación del oleaje y las corrientes generadas por este en condiciones extremas en la bahía de Cienfuegos.

Fueron adquiridas habilidades para el uso del Sistema de Modelado Costero (SMC) en distintos escenarios.

En relación a los estudios de casos analizados se concluye que:

Al paso de una onda por el canal de entrada a la bahía de Cienfuegos, para condiciones extremas del estado del tiempo, este actúa como un aislante, que reduce la amplitud de la ola a menos de un metro, disipando su energía residual en el resto del sistema.

Cuando se alcanza profundidades menores de 10 m, para la peor condición evaluada, se inicia la rotura de la ola, su transformación y transmisión de energía.

Las corrientes provocadas por el oleaje extremo en la bahía de Cienfuegos impactan de manera directa áreas de gran importancia socioeconómica de la ciudad Cienfuegos.

Las características batimétricas de la playa Rancho Luna, determinan la configuración del patrón de corrientes en condiciones extremas del estado del tiempo.

Referencias

ALVAREZ SILVA, O., OSORIO, A. F. & GÓMEZ GIRALDO, A. 2012. Determinación del régimen medio de oleaje en la desembocadura del Río León. *Dyna*, 79, 95-102.

- CARAVACA, L. 2011. *Modelación matemática del oleaje generado por huracanes en la bahía y costa de la provincia Cienfuegos*. Tesis en opción al grado científico de Máster, Universidad de Cienfuegos.
- CARAVACA, L., MUÑOZ, A., ALCÁNTARA, J., GÓMEZ, E. & OSORIO, A. 2015. Comportamiento erosivo de Playa Rancho Luna, Cienfuegos, Cuba. *Revista Investigaciones Marinas*, 35, 68-79.
- CASTELLANOS, S. & SATÁN, O. 1993. Informe central del proyecto oceanográfico sureste de Cienfuegos. Instituto Cubano de Hidrografía. Delegación Hidrografía Territorial Central.
- CÓRDOVA, L. F. & TORRES, R. 2013. Protección del tramo de costa «La Guardia La Restinga» en Venezuela. 2: Dinámica Costera. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34,n.1, 19-33.
- CÓRDOVA, L. F. & VALDÉS, K. 2011. Control de erosión en tramo costero de Varadero aplicando soluciones combinadas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 32, septiembre diciembre, 64-71.
- GOMES, G. & COSTA DA SILVA, A. 20014. Coastal Erosion Case at Candeias Beach (NE-Brazil). *Journal of Coastal Research: Special Issue 71 - Coastal Erosion and Management along Developing Coasts*, 30 – 40.
- GÓMEZ, E. 2004. *Estudio de la estructura y dinámica de la playa Rancho Luna*. Universidad de Cienfuegos.
- GÓMEZ, R. 2011. Estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por desastres de inundación por penetraciones del mar, inundación por intensas lluvias y afectaciones por fuertes vientos.: Delegación CITMA, Cienfuegos.
- IHC. 2002. *Página web del Sistema de Modelado Costero (SMC)*. Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria. [Online]. [Accessed 24-03-2017. Disponible en www.smc.ihcantabria.com].
- MARÍN, M. C. 2017. *Modelación de la surgencia en la bahía de Cienfuegos*. Tesis en opción al grado científico de Máster, Universidad de Cienfuegos.
- MOREIRA, A., SEISDED0, M., LEAL, S., COMAS, A., DELGADO, G., REGADERA, R., ALONSO, C., MUÑOZ, A. & ABATTE, M. 2007. Composición y abundancia del fitoplacton de la Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 28, 97-109.
- MUÑOZ, A. 2012. *Modelación hidrodinámica de la bahía de Cienfuegos análisis y aplicación a la gestión ambiental*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- MUÑOZ, A., GARCÍA, A., HERRERA, R. H., DOUILLET, P., DÍAZ, O., FICHEZ, R. & ALCÁNTARA, J. 2012. The flushing time of Cienfuegos Bay, Cuba. *Natural Resource Modeling*, 25, 434-455.
- PAGOT, M., HILLMAN, G., POZZI-PIACENZA, C., GYSSELS, P., PATALANO, A. & RODRIGUEZ, A. 2014. Elevación máxima del agua en la laguna Mar Chiquita, Córdoba, Argentina. *Tecnologías y ciencias del agua (online)*, 5.Citado (20-03-2017), 119-133. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000400007&lng=es&nrm=iso.
- RAMOS, S.M., 2013. *Estudio morfodinámico de una playa lineal . Aplicación al caso de Gandía* . Maestría. Universidad Politécnica de Valencia.
- SEISDED0, M. & MOREIRA, A. 2007. Comportamiento de las características físico químicas de las aguas y del fitoplancton en la Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 28, 193-199.
- VIDAL, D. & CÓRDOVA, L. F. 2010. Aplicación del Sistema de modelado costero a un tramo crítico de la playa de Varadero: propuesta de solución. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 31, 37-42.

Acerca de los autores:

Amelia Sánchez Pérez: Graduada en el año 2017 de Licenciatura en Física por la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Ha participado en investigaciones en las Ciencias Ambientales, específicamente en las Ciencias de Mar. Actualmente se desempeña

como Especialista en Meteorología en el Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spíritus, donde está vinculada a proyectos de investigación relacionados con la modelación y predicción de inundaciones costeras producidas por la surgencia y oleaje generado por eventos meteorológicos extremos. Además, trabaja con modelos físicos y numéricos para simular oleaje y procesos erosivos en la costa. Domina el inglés de carácter técnico.

Eliecer Sotolongo Hernández: Graduado de Licenciatura en Física por la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, en el período de 2012 a 2017. Allí participó en investigaciones en las Ciencias Ambientales, específicamente la modelación matemática de los principales factores físicos que rigen los procesos erosivos-acumulativos en zonas costeras. Este trabajo constituyó su Trabajo de Diploma. Actualmente es profesor del Centro de Estudio de Energía y Procesos Industriales de la Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez", donde realiza trabajos en Gestión Energética. Posee como formación académica complementaria un Diplomado titulado: Formación Básica para la Docencia Universitaria. Domina el inglés de carácter técnico.

Alain Muñoz Caravaca: Graduado de Ingeniería Físico Nuclear en el Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, Doctor en Ciencias e Investigador Auxiliar. Cuenta con más de 20 años de experiencia en la actividad científica. Ha dirigido proyectos de investigación en Ciencias Ambientales aplicados en la vida económica y social de Cienfuegos, con resultados publicados. Ha participado en congresos, conferencias, talleres nacionales e internacionales y se ha desempeñado como tutor de tesis de grado y de maestría. Como investigador de Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos destaca su investigación en la modelización de las corrientes marinas y el transporte de contaminantes en las zonas costeras, estudios de sedimentación y erosión de zonas costeras.

José Sánchez Díaz: Licenciado en educación, especialidad Geografía. Graduado en el Instituto Superior Pedagógico "Capitán Silverio Blanco Núñez", Máster en Educación Superior, graduado en 2010 en la Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Profesor Instructor del Centro Universitario Municipal de La Sierpe en la especialidad de Geografía Física de Cuba a los Cursos de Maestros Primarios en Formación. Cuenta con más de 14 publicaciones en revistas internacionales. Posee como formación académica complementaria: Diplomado en Filosofía de la Educación y Sociología, Diplomado en Psicología General, Diplomado Fundamentos de la Nueva Universidad Cubana y Diplomado en Comunicación Social. Domina el idioma portugués.