

Procedimiento para el pronóstico marino y la estimación del estado de la superficie marina en la provincia de Holguín

Procedure for marine forecasts and estimation of sea state in Holguin province

Lic. Axel Hidalgo Mayo | *axel.hidalgo@hlg.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Holguín

MSc. Jorge Proenza Velázquez | *jorge.proenza@hlg.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Holguín

MSc. José E. Piña Silva | *jose.pina@hlg.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Holguín

Lic. Graciela Pérez Rivas | *graciela.perez@hlg.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Holguín

Recibido: marzo 14, 2014; aceptado: mayo 15, 2014.

Resumen

Se presentan los resultados alcanzados en la provincia de Holguín, durante el período 2011-2013, en la implementación de un procedimiento destinado a elevar la calidad de las observaciones del estado de la superficie marina, así como para evaluar y validar el pronóstico marino local, emitido por el Centro Meteorológico Provincial (CMP) de Holguín. La información utilizada proviene de las estimaciones del estado de la superficie marina realizadas en la estación meteorológica de Cabo Lucrecia y de las salidas gráficas del modelo WW3 disponibles en la web y en la red interna del Instituto de Meteorología (INSMET). Se aplicaron las metodologías recomendadas en los manuales de procedimiento del Centro de Meteorología Marina (CMM/INSMET) y el Sistema Nacional de Pronóstico, tomando en cuenta, además, las recomendaciones que aparecen en los documentos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Como principales logros se destacan el diseño de un procedimiento para el pronóstico marino y la estimación del estado de la superficie marina, y la organización de un sistema de alerta temprana para las inundaciones costeras en la provincia. Mediante el

empleo del procedimiento propuesto se logró elevar la efectividad del pronóstico marino en 15 %, con énfasis en la predicción oportuna de las inundaciones costeras producidas por los huracanes Irene (2011) y Sandy (2012), y la tormenta tropical Isaac (2012). Se recomienda la extensión y la generalización de estos resultados a otras regiones del territorio cubano.

PALABRAS CLAVE: Pronóstico marino, estado de la superficie marina, sistema de alerta temprana, inundaciones costeras, ciclones tropicales, Holguín.

Abstract

The results, obtained in Holguin province during the period 2011-2013, from the implementation of a process to increase the quality of the sea-surface state observations are presented. Furthermore, this process was applied to evaluate and validate the local marine forecast, issued by the Meteorological Provincial Center of Holguin. The used information were obtained from the sea surface records of the meteorological station Cabo Lucrecia and the WW3 model graphic outputs, available on the Institute of Meteorology web site. The methodologies, recommended at the Procedures Manuals Center Marine

Meteorology and the National Forecast System, were applied, taking also into account, the World Meteorological Organization document recommendations. The main achievements include the design of a procedure to elaborate the marine forecast and to estimate the sea surface state, and the organization of an early coastal-flooding warning system for the province. By using the proposed method, it was possible to increase the marine forecast effectiveness to 15 %, with emphasis on timely prediction of coastal flooding, produced by Irene (2011) and Sandy (2012) Hurricanes and Tropical Storm Isaac (2012). Extension and generalization of the obtained results for other regions of Cuban territory is recommended.

KEYWORDS: Marine forecast, sea surface state, early warning system, coastal flooding, tropical cyclones, Holguín.

Introducción

La provincia de Holguín cuenta con catorce municipios, de los cuales la mitad poseen costas; estos son los siguientes: Gibara, Rafael Freyre, Banes, Antilla, Mayarí, Frank País y Moa. El litoral de este territorio, ubicado al norte de la región oriental de Cuba (Fig. 1), tiene una extensión de 277 km, sin incluir la longitud

de las bahías interiores del territorio (CITMA, 2011).

La configuración costera del área de estudio determina que las mayores afectaciones por el oleaje sean de dirección NE-ENE, las cuales coinciden con la dirección del viento predominante (Hidalgo y Mitrani, 2012).

Para la observación del estado de la superficie marina en la estación meteorológica de Cabo Lucrecia, antes de 2011, no se empleaba directamente la Escala Douglas, sino su combinación con la Escala Beaufort, lo cual implicaba que la estimación de esta variable se hiciera a partir de la velocidad del viento, algo incorrecto dado que debió hacerse a la inversa, según lo recomendado por WMO (2008). Las deficiencias detectadas en el método de observación en la estación meteorológica de Cabo Lucrecia entre 2009 y 2010 condujeron a la presente investigación.

La meteorología marina dentro de la provincia de Holguín mostró un comportamiento poco sistematizado; esta actividad no era dirigida por un especialista a tiempo completo y, de esta manera, las investigaciones realizadas siempre estuvieron enfocadas a la solución de problemas de carácter operativo (comunicación personal de los meteorólogos Ernesto Chang Bermúdez y Jorge Proenza Velázquez, trabajadores del Grupo Provincial de Pronóstico del Centro Meteorológico Provincial de Holguín).



Fig. 1 Ubicación geográfica de la zona de estudio.

Como parte del perfeccionamiento de los sistemas de pronóstico que se ejecutan actualmente en el Instituto de Meteorología (INSMET) y el Centro Meteorológico Provincial (CMP) de Holguín, teniendo en cuenta la importancia de la predicción y la estimación del estado de la superficie marina en la salvaguarda de la población y la protección de los recursos materiales y económicos, la presente investigación tiene como objetivo fundamental mejorar la estimación del estado de la superficie marina y elevar la efectividad del pronóstico marino dentro de la provincia de Holguín. Como objetivos específicos se plantearon los siguientes: implementar el uso de la Escala Douglas en las observaciones del estado de la superficie marina en la estación meteorológica de Cabo Lucrecia, evaluar y validar el pronóstico marino local para la provincia mencionada.

Desde su fundación, en 1975, el Departamento de Meteorología Marina fue el encargado de realizar y rectorar los pronósticos marinos en Cuba. Este tipo de predicción, desde sus primeros años, tuvo un grado de subjetividad alto y no fue hasta mediados de la década de los ochenta del propio siglo que comenzó a utilizarse las técnicas estadísticas y relaciones empíricas en el cálculo de los elementos de las olas y el régimen de viento, a partir de las ecuaciones propuestas por el Centro Hidrometeorológico de Leningrado y el *Shore Protection Manual* (SPM, 1984), de la armada naval de los Estados Unidos. Desde mediados de década de los noventa del siglo xx, con la aparición de las computadoras personales y el acceso a Internet comienza a emplearse las salidas de modelos numéricos dentro del trabajo operativo en este tipo de predicción. Con el empleo del modelo SWAN, aplicado en Cuba por la doctora Junit Juantorena en el pronóstico del oleaje asociado al huracán Wilma, en 2005, se logra un salto cualitativo en este tipo de pronóstico a nivel nacional (comunicación personal de los meteorólogos Nilo Hernández Orozco y Reinaldo Casals Taylor, ambos trabajadores del Centro de Meteorología Marina del INSMET). En los últimos años, a modo de prueba, se han

utilizado, en el actual Centro de Meteorología Marina, las diferentes salidas de los modelos de olas emitidos por el Centro de Física de la Atmósfera del INSMET.

Sin embargo, a pesar de lo anterior, el pronóstico marino local siempre estuvo alejado de esta evolución histórica, en espera de ajustar los métodos, técnicas y procedimientos de carácter nacional a la situación del territorio.

Varias investigaciones de autores cubanos se han dedicado al estudio de las inundaciones costeras y el pronóstico de los elementos de las olas para las costas de Cuba. El Proyecto Cuba 94/003 “Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las Inundaciones Costeras, Prevención y Reducción de su Acción Destructiva” (Moreno *et al.*, 1998), resume gran parte esos estudios hasta el momento.

Los estudios relacionados con esta temática, tanto por investigadores locales, como nacionales, han sido muy limitados en la provincia; este litoral costero no fue considerado entre los más sensibles a las inundaciones costeras dentro del archipiélago cubano en los estudios realizados sobre esta temática en el país durante la última década del siglo xx (Moreno *et al.*, 1998 y Mitrani *et al.*, 2000). No obstante, el aumento de la frecuencia y la intensidad de las inundaciones costeras en la provincia, en especial en el litoral Gibara-Playa Guardalavaca, durante la última década del siglo xx y los primeros años del XXI, propició, en evaluaciones más recientes, su inclusión dentro de las zonas costeras de mayor peligro en el país por este tipo de fenómenos (Mitrani *et al.*, 2012).

Esta investigación recoge los resultados alcanzados en los últimos años por Hidalgo (2010), Hidalgo y Mitrani (2012) e Hidalgo *et al.* (2013) en el estudio de las inundaciones costeras en el litoral Gibara-Playa Guardalavaca, las cuales son válidas para el resto del litoral de la provincia. Por vez primera, para la provincia, se particularizan los métodos con vistas a la estimación del estado de la superficie marina y el pronóstico de los elementos de las olas.

Materiales y métodos

Las observaciones del estado de la superficie marina realizadas en la estación meteorológica de Cabo Lucrecia (código 78365) a partir de la utilización de la Escala Douglas, así como las salidas gráficas del modelo numérico WW3 están disponibles en los sitios web de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC) y la red interna del INSMET.

El Código FM-12 dentro de la Sección III, en el grupo de fenómenos especiales (9SpSpSpSp) tiene destinados los grupos 920-924 para reportar el estado de la superficie marina (OMM, 2010):

1. 920SFx: Estado de la superficie marina y fuerza máxima del viento ($F_x \leq 9$ Beaufort).
2. 921SFx: Estado de la superficie marina y fuerza máxima del viento ($F_x > 9$ Beaufort).
3. 922S'Vs': Estado de la superficie del agua y visibilidad en una zona de amerizaje de hidroaviones.
4. 923S'S: Estado de la superficie del agua en la zona de amerizaje y estado de la superficie marina en alta mar.
5. 924SVs: Estado de la superficie marina y visibilidad mar adentro (desde una estación costera).

Con miras a determinar la efectividad de un pronóstico marino, el error admisible para la altura de la ola pronosticada debió encontrarse en el rango $\pm 0.5\text{m}$ con respecto a la estimación del observador meteorológico. Este valor solo difiere en $\pm 0.3\text{m}$ del error aceptado internacionalmente en la medición de esta variable por las boyas meteorológicas (WMO, 2008).

En la validación del procedimiento propuesto se tuvieron en cuenta las estimaciones visuales del estado de la superficie marina realizadas en la estación meteorológica de Cabo Lucrecia (excepto el horario

de las 06 UTC, puesto que, en ese horario, a diferencia de los restantes horarios sinópticos, los observadores no cuentan con la iluminación adecuada para hacer una estimación visual correcta).

Entre los métodos empleados estuvo la realización de un diagnóstico de acuerdo con la situación existente en el Grupo Provincial de Pronóstico (GPP) y en la estación meteorológica de Cabo Lucrecia, a partir del empleo de la matriz DAFO; posteriormente, se trazó una estrategia de trabajo con estos dos grupos. Entre las acciones desarrolladas estuvo la organización del curso de posgrado “Entrenamiento en pronóstico y estimación del estado de la superficie marina” (Anexo), así como la asesoría técnica en el pronóstico de los elementos de las olas y la estimación del estado de la superficie marina mediante un *Atlas de olas* confeccionado por investigadores del CMP de Holguín, a partir de la Escala Douglas, con imágenes tomadas de Met Office (2010).

El procedimiento presentado en este trabajo se aplica, desde 2011, para la estimación del estado de la superficie marina en la estación meteorológica de Cabo Lucrecia y, desde 2012, para el pronóstico marino dentro del GPP.

Análisis y discusión de resultados

En esta sección se brindan los elementos metodológicos para la realización de las observaciones del estado de la superficie marina y la confección de los pronósticos marinos en el territorio. La figura 2 presenta el esquema del algoritmo utilizado en esta investigación para el procedimiento del pronóstico marino y la estimación del estado de la superficie marina en la provincia.

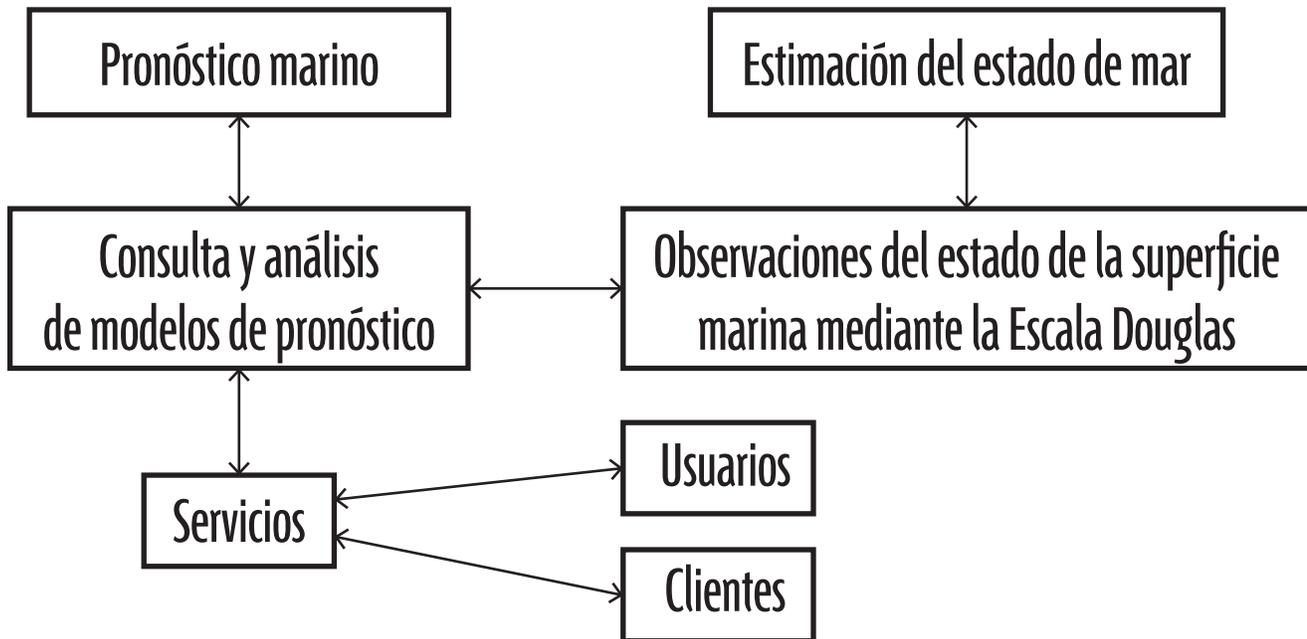


Fig. 2 Algoritmo del procedimiento para el pronóstico marino y la estimación del estado de la superficie marina en la provincia de Holguín”.

Diagnóstico de la situación existente

A) Grupo Provincial de Pronóstico.

MATRIZ DAFO:

1. *Fortalezas:* Experiencia notable en el pronóstico del tiempo por parte de algunos de sus miembros.
2. *Debilidades:* Colectivo con una formación variada, un nivel de preparación desigual y un perfil escaso en meteorología marina.
3. *Oportunidades:* Es la única entidad que presta este tipo de servicio en el territorio.
4. *Amenazas:* Capacidad tecnológica limitada y problemas con el acceso a Internet. Carencia de herramientas y métodos de carácter territorial.

ACCIONES DESARROLLADAS:

1. Actividades prácticas con los especialistas del grupo en la elaboración del pronóstico marino.
2. Charlas técnicas sobre temas de meteorología marina dentro de las reuniones de grupo.
3. Curso de posgrado “Entrenamiento en pronósti-

co y estimación del estado de la superficie marina” (Anexo).

B) Estación Meteorológica de Cabo Lucrecia.

MATRIZ DAFO:

1. *Fortalezas:* Colectivo con un nivel de formación e instrucción homogéneo.
2. *Debilidades:* Poca experiencia en la utilización de la Escala Douglas.
3. *Oportunidades:* Posibilidad de formar parte de proyectos.
4. *Amenazas:* Conectividad insuficiente con la sede central del CMP.

ACCIONES DESARROLLADAS:

1. Actividades prácticas con los observadores en la estimación del estado de la superficie marina por medio de la Escala Douglas.
2. Curso de posgrado “Entrenamiento en pronóstico y estimación del estado de la superficie marina” (Anexo).

Procedimiento para la estimación del estado de la superficie marina

De las 68 estaciones meteorológicas con que cuenta el país, solo siete de estas (Cabo San Antonio, Cayo Coco, Cabo Lucrecia, Punta de Maisí, Cabo Cruz, y Manzanillo) reportan sistemáticamente, en los horarios sinópticos, el estado de la superficie marina mediante los grupos 920 y 921, mientras que Varadero lo hace con el grupo 924 (Fig. 3). De este modo, se constata que la información es insuficiente sobre esta variable en el territorio nacional y su distribución irregular, lo cual hace necesario que las pocas observaciones realizadas tengan, al menos, la mayor calidad posible.

Según Portela (2004), el tramo costero Punta Maternillo–Punta Maisí, en el cual está localizado el litoral de la provincia de Holguín, clasifica como de plataforma insular pequeña, donde las aguas son profundas y el veril se encuentra cerca del litoral. Además, según ICH (1989), la isobata de 200 m cruza a menos de 2 km de la línea costera. Por lo anterior, se justifica el empleo de la Escala Douglas (Fig. 4), a pesar que esta se ha diseñado para su utilización en barcos en ruta.

Para estimar el estado de la superficie marina, se recomienda observar los trenes de olas desde el lugar

más alto posible —podría ser sobre el pilar del nefoscopio, en el caso de una estación meteorológica costera— y antes de la zona de rompiente. La forma para asentar y reportar esta información fue descrita en el acápite “Materiales y métodos”.

Procedimiento para el pronóstico marino

Según lo establecido por INSMET (2002), las zonas de vigilancia del estado de la superficie marina en la provincia de Holguín se delimitaron en las siguientes:

1. ZONA DE VIGILANCIA PRINCIPAL: Canal Viejo de Bahamas (limitado, al norte, por Bahamas y al sur, por el arco de las Antillas Menores).
2. ZONA DE VIGILANCIA SECUNDARIA: Océano Atlántico, al sur de los 27° N y al oeste de los de los 69° W (limitado, al sur, por Bahamas).

Situación normal

En la presentación de los pronósticos marinos se incluirá la dirección y la velocidad del viento (especificando la fuerza, según la Escala Beaufort), la altura significativa de la ola (especificando la fuerza, según la



Fig. 3 Estaciones meteorológicas que reportan el estado de la superficie marina en el archipiélago cubano.

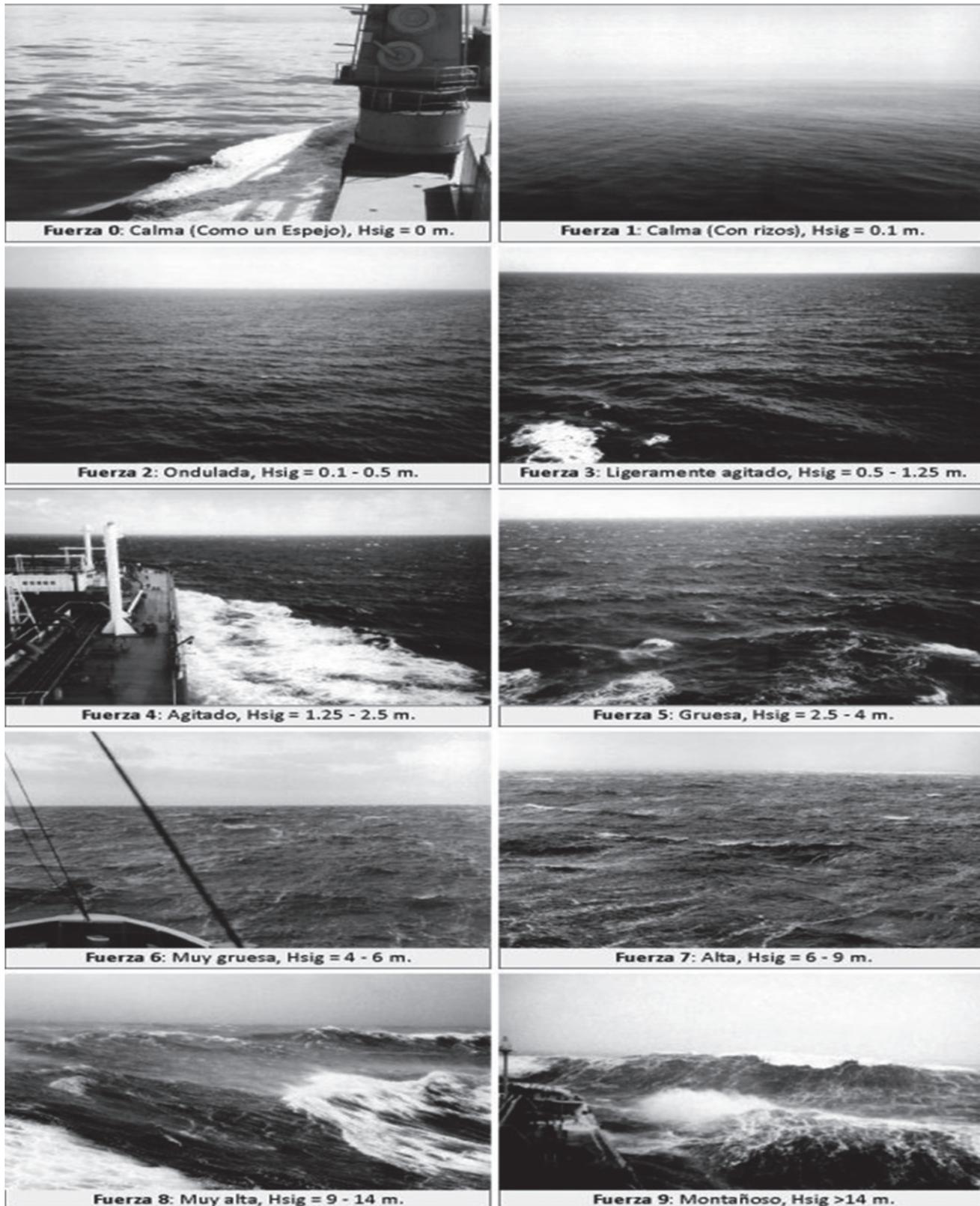


Fig. 4 Representaciones del estado de la superficie marina a partir de la Escala Douglas. Elaboración propia a partir de imágenes tomadas en www.metoffice.gov.uk/.

Escala Douglas), así como el peligro para las actividades náuticas y(o) la navegación. En su redacción se empleará la expresión “las olas tendrán una altura entre”.

En caso que el oleaje sea del tipo *swell* se indicará en el cuerpo del texto y no se especificará la fuerza según la Escala Douglas; en caso contrario, se omitirá de este. El rango para la altura de la ola podrá ser de hasta 1 m (por ejemplo: 0.5 m-1.5 m, 1.0 m-2.0 m); para la velocidad del viento, este será de hasta 15 km/h (por ejemplo: 15 km/h-30 km/h, 20 km/h-35 km/h); mientras que para la dirección, los ángulos serán de hasta 45° (por ejemplo: NE-E, E-SE).

La tabla 1 muestra la clasificación del peligro para las actividades náuticas y(o) la navegación, elaborada a partir de INSMET (2000 y 2002).

Tabla 1. Clasificación del peligro empleado en los pronósticos marinos

Denominación	Hsig. (m)	Clasificación del peligro
Mar tranquila	<0.5	---
Poco oleaje	0.5-1.0	Precaución para las actividades náuticas
Oleaje	1.0-1.5	Peligrosa para las actividades náuticas y precaución para las embarcaciones pequeñas (eslora máxima: 8 m)
	1.5-2.0	Peligrosa para las embarcaciones pequeñas (eslora máxima: 15 m)
Marejadas	2.0-3.5	Peligrosa para las embarcaciones menores (eslora máxima: 25 m)
	3.5-4.5	Peligrosa para toda la navegación (eslora superior a 25 m)

Las figuras 5 y 6 ejemplifican la redacción de los pronósticos marinos para usuarios y clientes, con una validez de 24 h y 72 h, respectivamente. Las definiciones de usuarios y clientes que se presentan en esta investigación se corresponden con el criterio de los autores. Usuarios: entidades a las que se brinda un servicio, frecuentemente, como parte del encargo estatal de la institución; clientes: entidades que por solicitud propia, bien sean personas naturales o jurídicas, se les presta un servicio de forma ocasional que, por lo general, se cobra.

Situaciones de peligro

En la presente investigación se considera *peligro por inundación costera y(u) oleaje extremo* cuando la altura de la ola significativa pronosticada y(u) observada es superior a 3.0 m (mayor que fuerza 5 en la Escala Douglas).

De acuerdo con INSMET (2013), las inundaciones costeras pueden considerarse fenómenos meteorológicos peligrosos estén o no asociadas con la afectación, directa o indirecta, por ciclones tropicales.

Es importante mencionar que, a partir de última década del siglo xx, las inundaciones costeras moderadas y fuertes muestran una tendencia creciente en el litoral Gibara-Playa Guardalavaca (Mitrani *et al.*, 2012), lo que hace necesario una calidad y una efectividad mayores en los sistemas de vigilancia y alerta temprana en la provincia.

El plazo para la predicción de inundaciones costeras por penetración del mar, como mínimo, oscila entre 12 h y 18 h, y es emitido por el Centro Nacional de Pronóstico y el Grupo Provincial de Pronóstico (INSMET, 2000). De acuerdo con INSMET (2013), [...] por su trascendencia solo se emitirán alertas tempranas para los casos de inundaciones costeras moderadas y severas [...].

La figura 7 muestra la propuesta de un sistema de alerta temprana para su utilización en la provincia ante episodios de inundaciones costeras y(u) oleaje extremo.

En las situaciones de peligro podrá contarse con las informaciones del estado de la superficie marina de observadores voluntarios de la localidad de Gibara y el puesto de Tropas Guardafronteras de Yagrumaje, perteneciente al municipio de Moa. Estos dos puntos, junto con la estación meteorológica de Cabo Lucrecia, integran la red de observación del estado de la superficie marina ante la presencia de fenómenos meteorológicos extremos productores de inundaciones costeras y(u) oleaje extremo en la provincia de Holguín (Fig. 8).

Grupo Provincial de Pronósticos, Centro Meteorológico Provincial de Holguín.
Pronóstico marino para la zona costera de la provincia de Holguín

Fecha: 17/02/2013 Hora Local: 09:00 p.m.

Válido desde las 12 de la noche del día 18 hasta las 12 de la noche del día 19.

Situación meteorológica significativa:

- Sistema frontal sobre la región oriental de Cuba.
- Anticiclón migratorio sobre el Golfo de México.

Tramo costero Gibara–Moa
Los vientos serán del noreste, con velocidades entre 25 km/h y 40 km/h (fuerza 4–6).
Las olas tendrán alturas entre 2.5 m y 3.5 m (fuerza 4–5), con peligro para las embarcaciones menores.

Elaborado por:

Fig. 5 Ejemplo de presentación de un pronóstico marino destinado a los usuarios.

Grupo Provincial de Pronósticos, Centro Meteorológico Provincial de Holguín.
Pronóstico marino para el tramo costero Punta Peregrina–Punta Cayuelo.

Fecha: 13/01/2013 Hora local: 03:30 p.m.

Válido desde las 12 de la noche del día 13 hasta las 12 de la noche del día 16.

Situación meteorológica significativa:

- Influencia de las altas presiones sobre Cuba y mares adyacentes.

Día 14: Los vientos serán del este con velocidades de 10 km/h y 25 km/h (fuerza 2–4) en la mañana, incrementándose hasta 15 km/h–30 km/h (fuerza 3–5) en la tarde, con igual dirección. Las olas tendrán una altura de 0.5 m a 1.5 m (fuerza 3–4), con precaución para las embarcaciones pequeñas y peligro para las actividades náuticas.

Día 15: Los vientos serán del noreste al este, con velocidades entre 15 km/h y 30 km/h (fuerza 3–5) durante todo el día. Las olas tendrán una altura de 1.5 m a 2.0m por mar de leva del noreste, con peligro para las embarcaciones pequeñas.

Día 16: Los vientos serán del este al sureste, con velocidades entre 15 km/h y 30 km/h (fuerza 3–5) durante la madrugada y la mañana, mientras que en la tarde y la noche serán del este, con velocidades entre 20 km/h y 35 km/h (fuerza 4–5). Las olas tendrán una altura entre 1.5 m y 2.5 m (fuerza 4–5), con peligro para las embarcaciones menores.

Elaborado por:

Fig. 6 Ejemplo de presentación de un pronóstico marino destinado a los clientes.

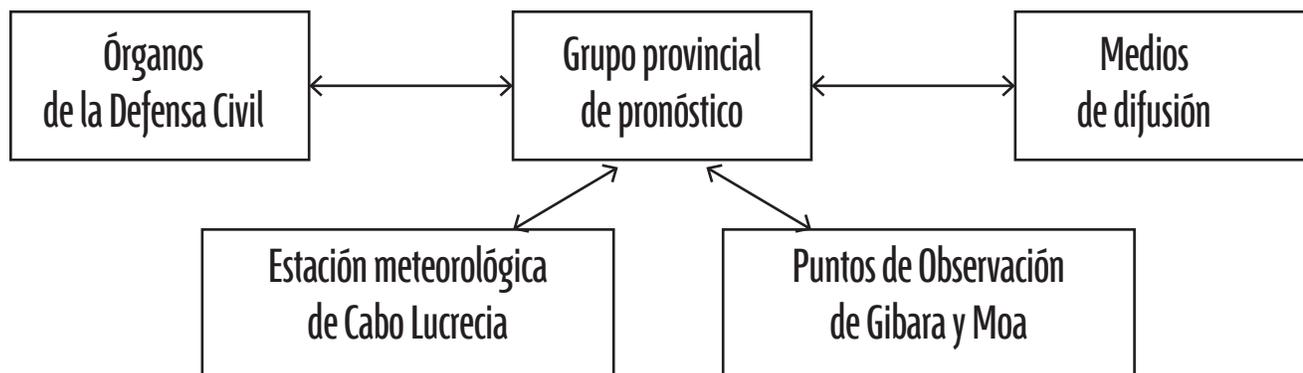


Fig. 7 Sistema de alerta temprana para inundaciones costeras en la provincia de Holguín.

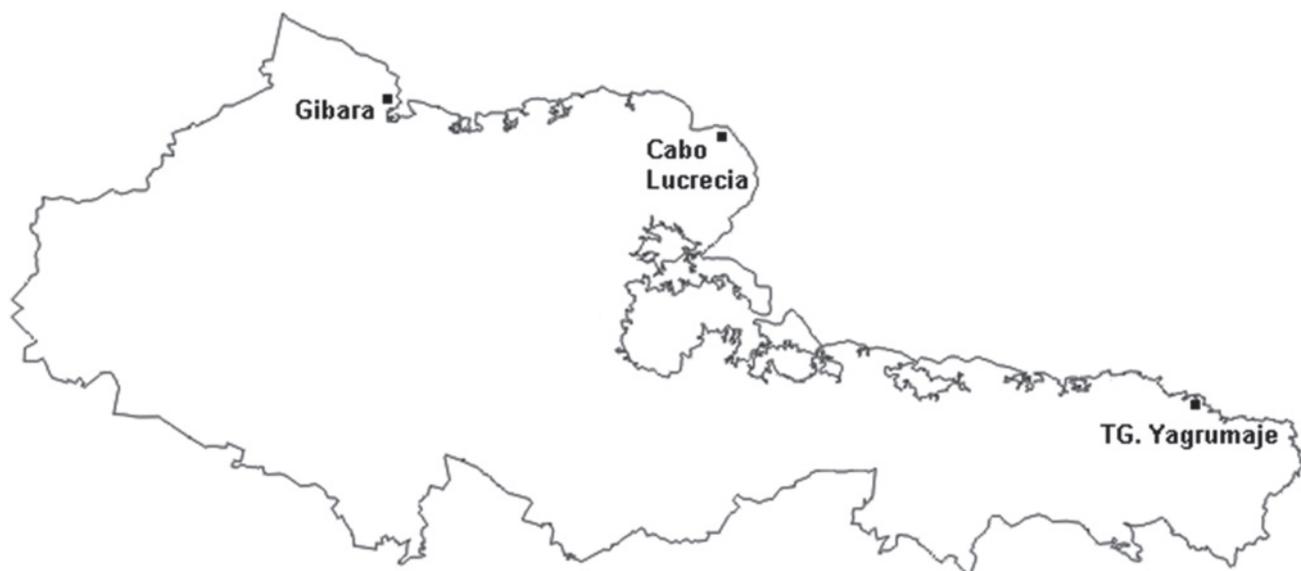


Fig. 8 Puntos de observación del estado de la superficie marina ante la presencia de situaciones de peligro por inundaciones costeras y(u) oleaje extremo en la provincia de Holguín.

La justificación de la elección de las localidades de Gibara y Moa apunta a los valores patrimonial y social de la primera, y la importancia económica de la segunda; además, ambos sitios son representativos de las características físico-geográficas, y las diferencias de los regímenes de viento y olas existentes en la zona costera de la provincia.

Validación de la solución propuesta

En la validación de la solución propuesta se realizan dos análisis: el primero, dirigido al pronóstico marino en situaciones normales; el segundo, dedicado a la predicción ante la afectación de los eventos de inundaciones costeras y(u) oleaje extremo en la provincia.

Situación normal

Los pronósticos marinos anteriores a febrero de 2012 no se consideraron para esta verificación, puesto que, antes de esa fecha, estos se realizaban con poca frecuencia y poseían una calidad técnica baja.

Para la verificación del pronóstico marino en la provincia se tuvo en cuenta el criterio de que el promedio de las observaciones del estado de la superfi-

cie marina en los horarios sinópticos de las 12Z, 18Z y 00Z estuviera en el rango de los valores que se muestran en la tabla 2. La no utilización de la observación de las 06Z se explicó en la sección “Materiales y métodos”.

Para un estado de la superficie marina con fuerza 6 (4 m–6 m) o mayor no se realizó la verificación del pronóstico marino, puesto que con un régimen de oleaje superior a 3 m, con una persistencia de 6 h o más, comienza la ocurrencia de inundaciones costeras en la provincia (Hidalgo y Mitrani, 2012).

La verificación del pronóstico marino se realizó trimestralmente, lo cual permitió establecer una comparación entre los cuatro trimestres de 2012 con iguales períodos de 2013; mediante este criterio se pudo, además, contar con las valoraciones cualitativa y cuantitativa en un tiempo relativamente largo de la validez para los procedimientos propuestos en esta investigación.

La figura 9 evidencia cómo la efectividad del pronóstico marino en cada trimestre de 2013 fue superior a iguales períodos de 2012 en 11.4 %, 1.2 %, 17.4 % y 17.8 %, respectivamente. Además, es importante mencionar que durante los dos últimos trimestres

Tabla 2. Rangos admisibles empleados en la verificación del pronóstico marino

Denominación	Fuerza, según la Escala Douglas
Mar tranquila	1-2
Poco oleaje	2-3
Oleaje	3-4
Marejadas	4-5
Fuertes marejadas	>5

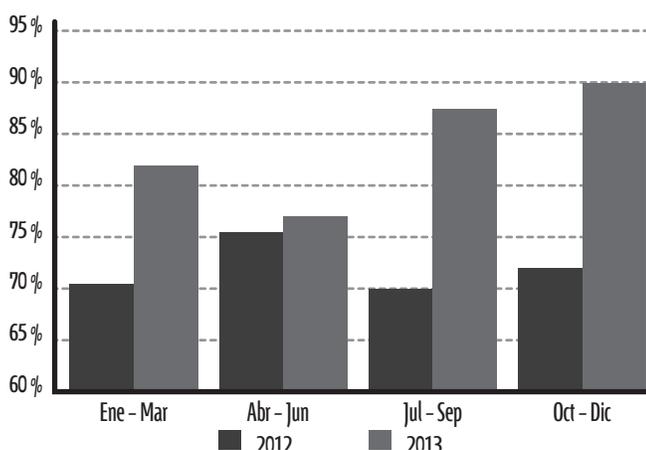


Fig. 9 Efectividad del pronóstico marino en la provincia de Holguín durante 2012 y 2013.

de 2013, la efectividad de este tipo de predicción se mantuvo por encima de 85 %.

El incremento alcanzado en la efectividad del pronóstico marino en la provincia de Holguín, a criterio de los autores, se debe en gran medida al empleo del procedimiento presentado en esta investigación.

De manera general, cada vez que ocurrió divergencia entre el pronóstico marino y la estimación visual del estado de la superficie marina, la predicción fue superior a la observación.

En muchos casos, ha ocurrido incongruencia entre los pronósticos nacional y provincial, puesto que el primero, en esos casos, tiende a sobrevalorar la altura de la ola. Por ejemplo, en ocasiones, se ha pronosticado marejadas y poco oleaje para las próximas 24 h en el pronóstico nacional y local, respectivamente, mientras que el estado de la superficie marina

reportado por los observadores de Cabo Lucrecia al día siguiente fue de fuerza 3 (0.5 m-1.25 m), según la Escala Douglas.

Los autores opinan que esta diferencia se debe a que el pronóstico nacional utiliza un área de predicción muy grande (Punta Maternillos-Punta Maisí), lo cual hace que el litoral provincial ocupe solo una parte de este. En varias ocasiones, el pronóstico marino provincial ha tenido que dividirse en dos: uno para la región occidental (tramo costero Punta Piedra Mangle-Cabo Lucrecia) y otro para la región oriental (Cabo Lucrecia-Boca del Río Jiguani), dadas las diferencias existentes, para esos casos, en los regímenes de viento y olas.

Situaciones de peligro

Al paso de los huracanes Irene (2011) y Sandy (2012), y la tormenta tropical Isaac (2012) se generaron trenes de olas que provocaron la ocurrencia de inundaciones costeras en la provincia (Tabla 3 y Fig. 10). En estos casos, se empleó el sistema de alerta temprana para inundaciones costeras presentado en esta investigación. Los eventos de inundación provocados por estos tres fenómenos meteorológicos se pronosticaron acertadamente con 48 h de antelación. Para estos tres casos se emplearon los resultados obtenidos por Hidalgo y Mitrani (2012) e Hidalgo, Calzadilla y Pérez (2013), los cuales brindan una valiosa información para su uso en el trabajo operativo.

Tabla 3. Inundaciones costeras ocurridas en la provincia de Holguín entre 2011 y 2013

Situación meteorológica	Fecha	Hsig. (m)	Clasificación	Alcance (m)
Huracán Irene	Ago./24/2011	2.5-3.5	Ligera	150-200
Tormenta tropical Isaac	Ago./25/2012	3.0-4.5	Ligera-moderada	50-150
Huracán Sandy	Oct./25/2012	4.5-5.5	Moderada-fuerte	100-350



Fig. 10 Inundación costera en el Güirito, localidad de Gibara, al paso de la tormenta tropical Sandy. En la imagen el observador voluntario Danier González.

Conclusiones

1. La presente investigación conduce a la generalización del pronóstico marino, así como la estimación del estado de la superficie marina en el Grupo Provincial de Pronóstico y en la estación meteorológica de Cabo Lucrecia, respectivamente.
2. El curso de posgrado impartido permitió elevar la calificación de los pronosticadores y observadores del Centro Meteorológico Provincial en lo referente a la apreciación del pronóstico marino y los elementos de las olas, respectivamente.
3. La implementación del procedimiento propuesto permitió elevar la calidad del pronóstico marino en la provincia en más de 15 %, en tanto, las observaciones del estado de la superficie marina fueron utilizadas, a su vez, como objetivo en la verificación de este tipo de predicción.
4. El sistema de alerta temprana para inundaciones costeras organizado en la provincia fue aplicado al paso de los huracanes Irene (2011) y Sandy (2012), y la tormenta tropical Isaac (2012). Las inundaciones costeras por la penetración del mar asociada a estos tres eventos se pronosticaron acertadamente, con 48 h de antelación, en gran medida, gracias a la

organización que ha experimentado esta actividad en los últimos años en el territorio, así como por los resultados científicos con que cuenta el Centro Meteorológico Provincial sobre esta temática.

Recomendaciones

1. Los resultados y procedimientos obtenidos son ajustables a otras regiones del país donde existan las condiciones objetivas y subjetivas para su aplicación; se recomienda su utilización por parte del personal competente para ello.

Referencias bibliográficas

- CITMA, 2011: *Estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por fuertes vientos, inundaciones por intensas lluvias y penetraciones del mar*. Delegación Territorial del CITMA y Consejo de la Administración Provincial, Holguín, Cuba.
- HIDALGO, A, 2010: 'Características de las inundaciones costeras en el litoral Gibara-Playa Guardalavaca', *Revista Ciencias Holguín*, vol. XVI, no. 1, pp. 1-9.

- HIDALGO, A. E. I. MITRANI, 2012: 'Particularidades hidrometeorológicas del litoral Gibara-Playa Guardalavaca', *Revista Cubana de Meteorología*, vol.18, no. 2, pp. 152-163.
- HIDALGO, A, D. CALZADILLA Y G. PÉREZ, 2013: 'Climatología de los ciclones tropicales en la provincia de Holguín', *Revista Ciencias Holguín*, vol. XIX, no. 3, pp. 147-157.
- ICH, 1989: *Derrotero de las costas de Cuba. Región marítima del norte*, t. I, Ed. Científico-Técnica, La Habana, Cuba.
- INSMET, 2000: *Manual de procedimiento del Sistema Nacional de Pronóstico*, La Habana, Cuba.
- _____ 2002: *Manual de procedimiento del Centro de Meteorología Marina*, La Habana, Cuba.
- _____ 2013: *Manual del Sistema de Gestión de la Calidad para el Trabajo del Sistema Nacional de Pronósticos del INSMET con los Fenómenos Meteorológicos Peligrosos*, La Habana, Cuba.
- MET OFFICE, 2010: *The Beaufort Scale*, Met Office United Kingdom, Exeter Devon, United Kingdom. <http://www.metoffice.gov.uk/corporate/library/catalogue.html> (consultado en dic. 2010).
- MITRANI *et al.*, 2000: 'Las zonas más expuestas a las inundaciones costeras en el territorio cubano y su sensibilidad al posible incremento del nivel medio del mar por cambio climático', *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 7, no.1, pp. 45-50.
- MITRANI *et al.*, 2012: 'Tendencias climáticas de las inundaciones costeras severas en áreas de Cuba', *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, vol. 13, no. 2, pp. 68-84.
- MORENO *et al.*, 1998: *Desarrollo de las técnicas de predicción de las inundaciones costeras, Prevención y reducción de su acción destructiva*. Proyecto Cuba 94/003, La Habana, Cuba.
- OMM, 2010: *Manual de claves*, vol. I, OMM, no-306, Ginebra, Suiza.
- PORTELA, M, 2004: 'Pronóstico de inundaciones costeras en Cuba. Parte I: Diseño general del algoritmo y pronóstico de inundaciones costeras en la costa norte de Cuba', *Revista Cubana de Meteorología*, vol.11, no. 2, pp. 35-47.
- SPM, 1984: *Shore Protection Manual*, US Army Corps of Engineers, Washington DC, United States of America.
- WMO, 1994: *Guide to the Applications of Marine Climatology*, WMO, no. 781, Geneva, Switzerland.
- _____ 1998: *Guide to Wave Analysis and Forecasting*, WMO, 2nd. ed, no. 702, Geneva, Switzerland.
- _____ 2008: *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, WMO, 7th. ed, no. 8, Geneva, Switzerland.
- _____ 2012: *Manual on Marine Meteorological Services*, vol. I, WMO, no. 558, Geneva, Switzerland.

Agradecimientos

Deseamos manifestar nuestros agradecimientos a las doctoras Ida Mitrani y Elena Fornet, por la revisión del texto y sus valiosos consejos; a la técnica Milza Almenares, por su ayuda en la confección de la base de datos del estado de la superficie marina; al máster en Ciencias Joao Romero, quien se encargó de la edición final del *Atlas de olas*; a los integrantes del Grupo Provincial de Pronóstico y la estación meteorológica de Cabo Lucrecia; y, muy especialmente, al técnico Danier González, que nos facilitó informaciones gráfica y documental muy valiosas relacionadas con las inundaciones costeras en la localidad de Gibara.

Anexo

Curso de posgrado: “Entrenamiento en pronóstico y estimación del estado de la superficie marina”

OBJETIVO GENERAL: Sistematizar por parte de los observadores y pronosticadores del Centro Meteorológico Provincial los elementos fundamentales de la estimación del estado de la superficie marina y el pronóstico marino.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Sistematizar los fundamentos básicos de meteorología marina.
2. Estimar de forma visual la fuerza del viento y el estado de la superficie marina mediante el empleo de las escalas Beaufort y Douglas.
3. Calcular los elementos de las olas a partir de estimaciones visuales del estado de la superficie marina.
4. Pronosticar elementos de las olas a partir de técnicas manuales y modelos numéricos.

Total de horas: 96 h (18 h/clase y 78 h/trabajo independiente).

Tema 1:

Estimación del estado de la superficie marina. Cálculo de los elementos de las olas

1. Estimación de la fuerza del viento y el estado de la superficie marina a partir de las escalas Beaufort y Douglas.
2. Clasificación de las ondas oceánicas de acuerdo con su origen y su período. Refracción y difracción de las olas.
3. Clasificación visual de las olas de viento (mar de viento o de leva) de acuerdo con su período y su forma.
4. Cálculo de los elementos de las olas (longitud de

onda, velocidad de grupo, para aguas profundas y poco profundas, y altura de la ola en la zona de rompiente) a partir del período estimado por un observador en tierra mediante la Teoría Lineal o de Airy.

TEMA 2:

Pronóstico de los elementos de las olas

1. Clasificación de los tipos de pronósticos marinos (empíricos, espectrales y energéticos).
2. Pronóstico de elementos de olas por técnicas manuales.
3. Cálculo de la altura y el período de las olas para aguas profundas y poco profundas.
4. Utilización del Espectro JONSWAP en el pronóstico de la altura y el período de las olas.
5. Utilización de modelos numéricos en el pronóstico de los elementos de las olas.
6. Aplicación práctica del Procedimiento para el pronóstico marino en la provincia de Holguín.

Bibliografía

- CEM (2002): *Coastal Engineering Manual. Engineer Manual 1110-2-1100*, US Army Corps of Engineers, Washington DC, United States of America.
- EGOROV, N. I. (1983): *Oceanografía física*, Ed. Vneshtorgizdat, Moscú, URSS.
- MITRANI, I. (2008): *Meteorología marina*, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba [en prensa].
- OMM (2010): *Manual de claves*, OMM, vol. I, no.306, Ginebra, Suiza.
- WMO (1998): *Guide to Wave Analysis and Forecasting*, WMO, 2nd. ed., no. 702, Geneva, Switzerland.
- WMO (2008): *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, WMO, 7th. ed., Geneva, Switzerland.