



Particularidades de la meteorología marina en aguas cubanas

ENTIDADES EJECUTORAS: Instituto de Meteorología (INSMET), Empresa GEOCUBA, Instituto de Planificación Física (IPF), Instituto de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (INSTEC)

AUTORES: Ida Mitrani Arenal¹, Oscar Onoe Díaz Rodríguez¹, Alejandro Vichot Llamo¹, Axel Hidalgo Mayo¹, Rafael Pérez Parrado¹, Isidro Salas García¹, Carlos Manuel Rodríguez Otero³, Ada Luisa Pérez Hernández³, Osvaldo Enrique Pérez López¹, Alejandro Morales Abreu², Jarmila Pérez Canet², Jorge Viamontes Fernández², Ivette Hernández Baños⁴, José Alejandro Rodríguez Zas⁴, Alexis Pérez Bello¹, Raysel Cangas Tamarit⁴, Evelio García Valdés¹, Lourdes Alvarez Escudero¹, Javier Cabrales Infante¹, Yoania Nieves Povea¹, Yunit Juantorena Alén¹, Maritza Ballester Pérez¹, Israel Borrajero Montejo¹, Daniel Martínez Castro¹, Arnoldo Bezanilla Morlot¹

Colaboradores: Nilo Hernández Orozco, Cecilia González Pedroso, Beatriz Martínez, Celia Alvarez, Graciela Angulo Llamo, Consuelo Fernández Cao (INSMET); Marcelino Hernández, Luis Sorinas (ICIMAR); Omar García Concepción, Pedro Beauballet Padrón, Anneris Calnik Gamboa, Yandy González Mayor (INSMET); Félix Enrique Hernández Sanabria, Damián León Guevara (INSTEC); Jaci M. Bihalva Sarahiva (Divisão de Meteorologia, Manaus, Brasil)

Filiación: ¹Instituto de Meteorología (INSMET). ²Empresa GEOCUBA. ³Instituto de Planificación Física (IPF). ⁴Instituto de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (INSTEC)

RESUMEN

Se presentan los resultados de investigación obtenidos durante los años 2000 a 2017, condensados en dos libros publicados en 2017, así como artículos publicados en revistas arbitradas, memorias de eventos y compendio, acerca de las principales particularidades de la meteorología marina y los eventos severos enlazados a estas particularidades en el entorno cubano, donde destacan la ocurrencia de las inundaciones costeras y las características de la estructura termohalina como factor influyente en la evolución de los huracanes y, por tanto, del régimen de inundaciones costeras. Las primeras versiones de estas obras son anteriores a 2014, pero durante la ejecución del proyecto cubano-noruego COLLABORATE, concluido en 2016, considerando la vigencia de sus contenidos, se favoreció la edición de ambas, así como su publicación por la Casa Citmatel en 2017. Los libros son de interés para estudiantes de diversos niveles (licenciatura, maestría, doctorado), para investigadores y para estudiosos del medio marino cubano, insertado en el entorno del océano planetario y sus particularidades. La obra *Meteorología marina* incluye una descripción de los eventos físicos en el océano planetario, como producto de la interacción océano-atmósfera, que afectan la vida humana, y se particularizan las peculiaridades de las aguas que rodean a Cuba, así como la representación físico-matemática de estos procesos; al hacerlo se demuestran sus posibilidades de predicción numérica. Estos estudios se complementan con el análisis de la influencia de las ma-

Palabras clave

meteorología marina; aguas cubanas

reas, el evento ENOS, la componente termohalina de las corrientes marinas y otros efectos hidrometeorológicos. La obra *Inundaciones Costeras en Cuba. Influencia de la estructura termohalina* es complemento de la primera y enfatiza en la ocurrencia de las inundaciones costeras bajo la acción de huracanes, frentes fríos, vientos del sur y combinaciones de sistemas sinópticos, destacando las zonas más sensibles a estos eventos. Mediante el análisis de datos oceanográficos, se caracteriza la estructura termohalina y sus componentes principales como son la capa homogénea, el máximo de salinidad y otras, la distribución espacial y el curso anual de cada parámetro, así como las áreas más favorables al desarrollo de los ciclones tropicales. Los resultados obtenidos durante el período de trabajo, también han sido utilizados en cursos nacionales e internacionales y han tributado a tesis de diploma, diplomado, maestría y un doctorado. Los conocimientos físico-matemáticos adquiridos son aprovechados en la aplicación de modelos numéricos libremente disponibles para pronosticar el movimiento de eventos severos, principalmente de huracanes y el oleaje que los acompaña, elementos imprescindibles para la predicción de inundaciones costeras.

La nación cubana está muy expuesta a la acción del medio marino, debido a su condición insular, su configuración físico-geográfica, su localización en la zona central de los mares interamericanos y la existencia de zonas bajas en gran parte de su perímetro costero. Más del 10 % de la población vive sujeta a los efectos de los eventos de gran severidad, generados por los procesos de interacción océano-atmósfera, en especial los incidentes en las costas, que pueden incrementar su frecuencia e intensidad debido al cambio climático global. Importantes ciudades, con más de 20 000 habitantes, también estarían afectadas por el aumento del nivel del mar (PNUD, 1998; Mitrani *et al.*, 2001; Mitrani *et al.*, 2016).

Acerca de la zona tropical no abundan los datos hidrometeorológicos ni información bibliográfica, de modo que en esta temática cualquier aporte resulta de gran utilidad para la ciencia, tanto en el orden nacional como en el internacional. Existen algunos estudios de las aguas cubanas, elaborados con datos de expediciones oceanográficas. Entre los primeros, se tienen los realizados por especialistas del Centro de Investigaciones Pesqueras (Siam y García, 1981) y los ejecutados, en 1979 y 1981, mediante la colaboración cubano-soviética a bordo de buques de investigación donde participaron especialistas del Instituto de Meteorología (INSMET) (Mitrani *et al.*, 1985; Moreno *et al.*, 1985). También podrían citarse los informes de proyectos de colaboración cubano-mexicana entre 1989 y 1990 (Gallegos *et al.*, 1996; Gallegos *et al.*, 1998a,b) La principal limitación de estos trabajos reside en la escasez de datos observacionales tanto en el tiempo como en el espacio.

En los primeros años del siglo XXI se desarrollaron proyectos donde se incluyen datos de múltiples expediciones, lo cual permitió abordar el problema de una manera más completa. De hecho, se aprecian ya los primeros resultados en los trabajos de Mitrani (2001) y Mitrani y Díaz (2001, 2002, 2004), con información procedente de 35 expediciones. Especial

atención se presta al régimen de inundaciones costeras, de manera que algunos miembros del colectivo de autores han dedicado sus esfuerzos a la investigación de estos eventos desde hace más de tres décadas (Mitrani *et al.*, 1984; Mitrani *et al.*, 1997). En estudios posteriores se han tenido en cuenta las tendencias temporales y los cambios climáticos previstos (Mitrani *et al.*, 2001; Mitrani, 2016).

En años posteriores, se han desarrollado proyectos de investigación que abordan las características de la interacción océano-atmósfera en aguas cubanas, integrando el comportamiento de las inundaciones con la evolución de los ciclones tropicales y la influencia de la estructura termohalina a partir de más de 50 expediciones de los años 1966-2000, así como la evolución de las masas de agua (Mitrani y Díaz 2004, Mitrani *et al.*, 2012, 2016).

Fueron objetivos del trabajo investigar las particularidades de la meteorología marina en el entorno cubano, abordando los procesos de interacción océano atmósfera, con énfasis en la estructura termohalina, las inundaciones costeras y los eventos de gran severidad que las generan, así como las posibilidades de predicción numérica.

Resultados e impactos

Los resultados de investigación, concretados en dos libros y un conjunto de artículos publicados en revistas, memorias de eventos y compendios, consolidan los conocimientos adquiridos a través del tiempo, acerca de las particularidades de la meteorología marina en aguas cubanas, especialmente acerca de la estructura termohalina y su influencia en el desarrollo de los ciclones tropicales, la evolución de las masas de agua y su enlace con los aportes de aguas fresca desde la Amazonía, las inundaciones costeras, los procesos de interacción océano-atmósfera que incluyen el oleaje, la circulación de las aguas y las posibilidades de aplicación de la modelación matemática. Este conjunto de conocimientos quedó

a disposición de los estudiantes de diversos niveles, de otros investigadores y de posibles usuarios.

Las experiencias adquiridas han favorecido la aplicación de modelos numéricos libremente disponibles, fundamentalmente para la predicción de eventos severos, con énfasis en la trayectoria de los ciclones tropicales y el oleaje que generan, elementos de particular importancia en la evolución de las inundaciones costeras en territorio cubano. El estudio cuidadoso de las formulaciones físico-matemáticas permitió la adecuada asimilación de modelos norteamericanos reconocidos por la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) y libremente disponibles. Las salidas de las combinaciones de estos modelos permiten aplicar formulaciones de circulación oceánica y sobreelevación del nivel mar durante la ocurrencia de inundaciones costeras.

Los resultados obtenidos son recomendados para uso de meteorólogos, oceanógrafos u otras especialidades afines en el aumento de la calidad y anticipación de los pronósticos del tiempo, del estado dinámico de la superficie marina y de la sobreelevación del nivel del mar, pero también para estudiantes y personal dedicado a la realización de acciones de manejo costero y del medio marino, así como en la elaboración de planes de contingencias, con inclusión del público cubano en general, con frecuencia afectado por eventos meteorológicos y marinos severos.

Los impactos alcanzados coinciden con los esperados durante la ejecución del proyecto y son los siguientes:

- Social: Los conocimientos acerca del comportamiento de los diversos elementos del medio marino contribuyen a la aplicación eficiente de la modelación numérica, lo cual conduce al mejoramiento en la anticipación y efectividad de los pronósticos meteorológicos y a la aplicación eficaz de los planes de contingencias, con una mayor protección de la población en general y de los objetos de importancia urbanístico-social (centros de salud, centros educacionales, instalaciones culturales y otras), así como a la mitigación de daños en el entorno natural.
- Ambiental: La comprensión de diversos procesos como son el oleaje, la sobreelevación del nivel del mar y otros movimientos físicos, como producto de la interacción del medio marino con los eventos meteorológicos y en conjunto con la circulación oceánica, la estructura termohalina y el oleaje, al ser tomados en cuenta en la planificación racional de acciones de manejo y uso de recursos naturales, permite un desarrollo sostenible de la actividad humana en el ambiente marino, en evitación de daños irreparables al entorno.
- Económico: Cuando se aumenta la efectividad en los pronósticos meteorológicos y de derrame de petróleo,

se logra una utilización más racional de los recursos financieros, no solo con la protección de la población y objetos sociales, sino también con los objetos interés económico. Además, se aprovechan de forma adecuada los recursos naturales disponibles en las acciones de manejo costero y del uso del medio marino.

Referencias bibliográficas

- Gallegos A., Victoria I., Zavala J., Fernández M., Penié I. (1998b) "Hidrología en los estrechos del Mar Caribe Occidental" *Revista de Investigaciones Marinas* (UNAM-UH), Vol. 19, No. 1, 1:37.
- Gallegos A., Victoria I., Zavala J., Fernández M., Barberán J., Penié I., Fernández A., Marmolejo C. (1998a) "Condiciones oceánicas en el Canal de Yucatán, el Estrecho de la Florida (Cayo Hueso-La Habana), el Canal Viejo de Bahamas, el Paso de los Vientos, el Estrecho de Colón y el mar del Caimán, en noviembre de 1989 y abril de 1991" Informe Final de Proyecto del ICML (UNAM, México DF) y del IDO (CITMA, La Habana) 46 pp.
- Gallegos A., Victoria I., Zavala J., Fernández M., Penié I. (1996) "Hidrología en los estrechos del Mar Caribe Occidental" Informe Final de Proyecto cubano-mexicano del ICML (UNAM, México DF) y del IDO (CITMA, La Habana) 38 pp.
- Mitrani I., M. Fontova, L. Díaz, J. González (1984) "Determinación del régimen de ola y viento en la costa norte de La Habana" Centro de Divulgación y Documentación de las Brigadas Técnicas Juveniles, ACC, LA HABANA, Folio D.5625.Mit.D, 15 pág.
- Mitrani I., A. Moreno, O. Padilla (1985) "Estudio de la capa activa oceánica en la región noroccidental del mar Caribe durante los meses de septiembre y octubre de 1981" (En ruso), *Tropicheskaya Meteorologiya*, Leningrado, Guidrometeoizdat, 181:186.
- Mitrani I., L. Díaz, I. Salas, J. Lezcano, J. González, N. Rodríguez, A. Ramos (1987) "Determinación de los elementos de ola producidos por el viento máximo sostenido en huracanes del Caribe" Centro de Divulgación y Documentación de las BTJ, ACC, La Habana, Folio: D.7433.Mit.D, 14 pág.
- Mitrani I. (1997) "Application of the Meteorological Information on Coastal Management in the Havana Mole" *Boletín SOMETCUBA. Publicación Electrónica*, Vol. 3, No. 2, INSMET, La Habana.
- Mitrani I., R. Pérez, O. García, I. Salas, Y. Juantorena, M. Ballester y P. Beauballet (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. 45:50.
- Mitrani I., O. Díaz (2001) "Estructura termo-salina de la capa activa oceánica en los mares cercanos a Cuba y su influencia en la formación de los ciclones tropicales" *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 8, N 1, 18:24.
- Mitrani I. (2001) "Caracterización general de la capa activa oceánica en los mares cercanos a Cuba y su posible enlace con el desarrollo de los ciclones tropicales" *Revista Cubana de Investigaciones Marinas*, UH/UNAM, Vol. 22, No. 2, 81-92.
- Mitrani I., O. Díaz (2002) "La estructura termo - salina vertical por zonas geográficas, en aguas cubanas" *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 9, N 2, 3:7.
- Mitrani I., Díaz O. (2004) "Relationship between the thermal vertical structure and tropical cyclone activity on Cuban waters" *Revista*

- de Ciencias Marinas, Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California, vol. 30, n.2, pp.335-341, ISSN 0185-3880
- Mitrani I., Díaz O. (2008a) "Particularidades de la estructura termohalina y sus tendencias en aguas Cubanas" Revista Cubana de Meteorología, Vol. 14, No. 1, 54-73.
- Mitrani I. y colectivo de autores (2008 b) "Atlas Oceanográfico de las Aguas Cubanas", Compendio de Resultados Científicos del PRCT "Análisis y pronósticos del Clima Terrestre y Espacial, ISBN: 978-959-300-001-7 (en soporte digital)
- Mitrani I., O.O. Díaz, A. Vichot, I. Hernández, A. Hidalgo, E. García, J. A. Rodríguez (2012) Tendencias climáticas de las inundaciones costeras severas en áreas de Cuba, Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio, Vol. XIII, No. 2, ISSN: 1729-3790, www.iga.cu/publicaciones/revista/index.htm
- Mitrani I., I. Hernández, E. García, A. Hidalgo, O. O. Díaz, A. Vichot, A. Pérez, J. A. Rodríguez (2016) The coastal flood regime around Cuba, the thermohaline structure influence and its climate tendencies. Journal of Environment and Ecology Research, Vol. 4, No. 2, <http://www.hrpub.org/journal/jour-archive.php?id=40&lid=844> (ISSN: 2331-6268).
- PNUD (1998) "Desarrollo de la técnicas de predicción y las inundaciones costeras, prevención y reducción de su acción destructiva". Informe Técnico del Proyecto PNUD-Cuba/94/003, La Habana, Editora del Instituto de Planificación Física, 200 pp.
- Siam C., García C. (1981) "Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba" (III) Profundidad de inicio de la termoclina. Rev. Cub. de Inv. Pesqueras, Vol. 6 No. 2, 36:49.

AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

Dra. Ida Mitrani Arenal. Instituto de Meteorología, Loma de Casablanca, apdo. 17032, CP 11700, La Habana. Correos electrónicos: ida.mitrani@insmet.cu; imitraniarenal@gmail.com