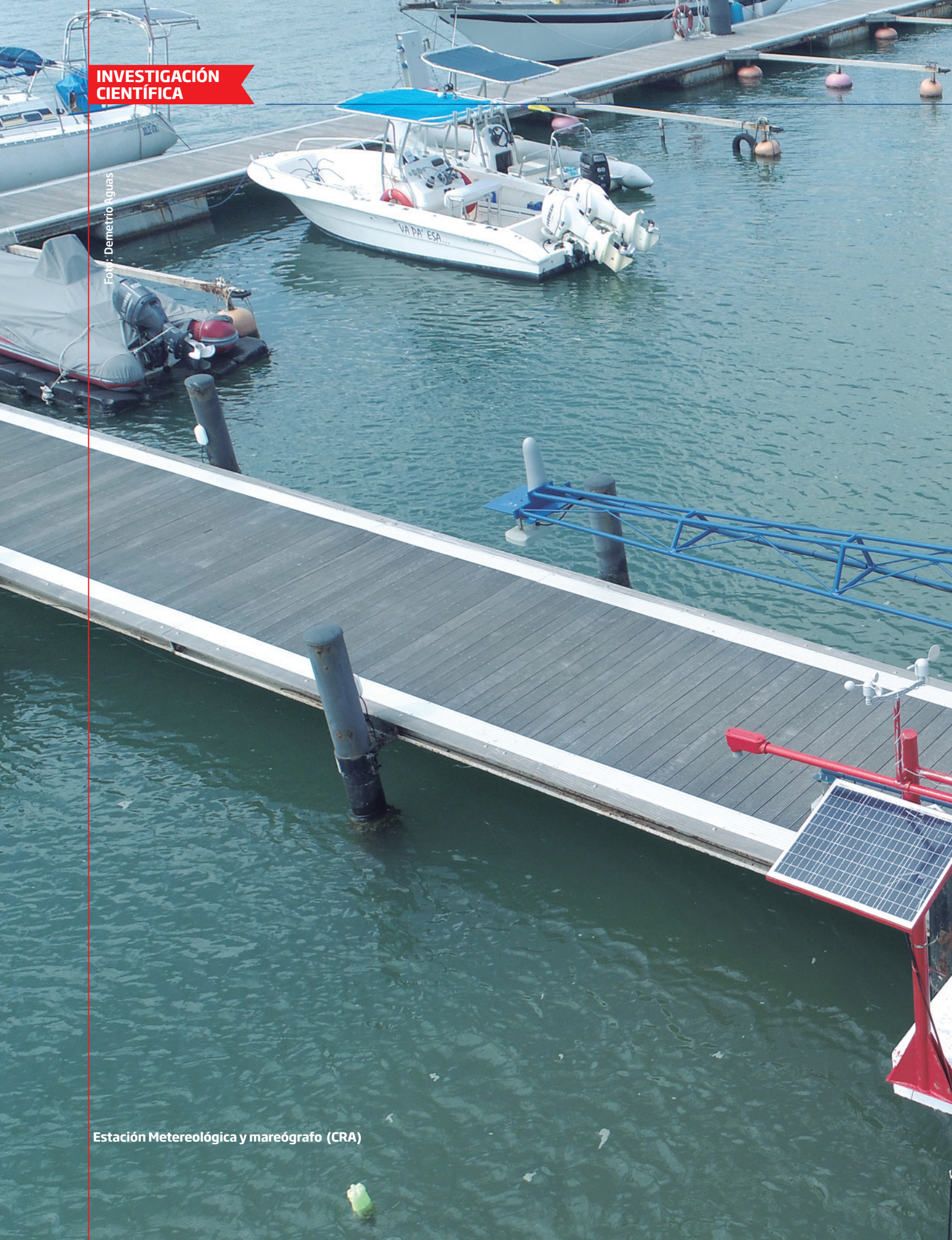



**INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA**

Foto: Demetrio Aguas



Estación Metereológica y mareógrafo (CRA)

An aerial photograph of a maritime meteorological station on a wooden pier. A worker in a dark blue uniform with orange reflective stripes and a cap is walking across the pier. The station includes a solar panel mounted on a blue pole, a red instrument housing, and a lifebuoy. The pier is situated on a body of water with buoys visible in the distance.

Evolución del pronóstico del tiempo en las cuencas Caribe y Pacífico colombiano: un enfoque operacional de la meteorología marina a cargo de la Dimar

Autora:
Diana Patricia Herrera Moyano,
Investigadora de tiempo y clima marítimo, CIOH-Dimar

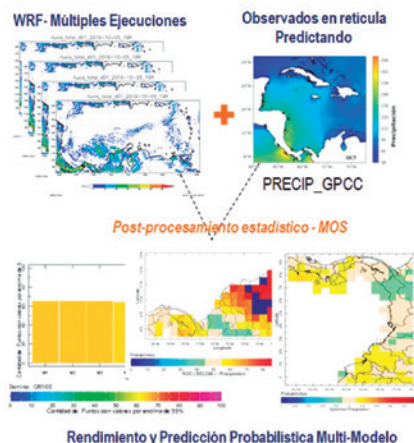


Figura 1. Diseño sistema de pronósticos atmosféricos *Weather Research and Forecasting* (WRF), basado en método ensemble multi-física y pronósticos corregidos a través calibración estadísticas de sus salidas (MOS).

A través de la historia el estado y predicción del tiempo, así como los fenómenos atmosféricos ha representado un gran reto. Todo comenzó como un mito donde los cambios atmosféricos se atribuían al humor de los dioses y a la dinámica de los astros en las civilizaciones antiguas del planeta. En la antigüedad se realizaban las invocaciones al 'Brujo del Frío' de los japoneses; sacrificios para atraer aguas celestes en Mesopotamia, Sumeria, Caldea, India y China; se veneraba la divinidad del Río Nilo por parte de los egipcios; los dioses Poseidón, Iris y Eolo en Europa, Thor para los escandinavos; al otro lado del océano el dios Tlaloc, en el México precolombino, y el dios Chibchachum para los Muiscas en Colombia (Sanz Vega & Garcia de Pedraza, 1988)⁴.

En el siglo XIX, con el descubrimiento de la electrónica, se dieron sorprendentes avances tecnológicos en sistemas de observación como satélites, radares, radiosondas, aviones y potentes computadoras, lograron convertir este mito en lo que hoy se conoce como la ciencia del tiempo. En este mismo siglo en Colombia se datan los primeros avances científicos en torno al estado del tiempo, desarrollados por José Mutis, Eloy Valenzuela, Jorge

Tadeo Lozano, Francisco José de Caldas y otros, obteniendo los primeros registros de observación meteorológica del país (Betancour E, 1982)².

El 26 de enero de 1976 se dio la creación del Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (Himat), hoy Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam); un año previo se constituyó el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH-Dimar) y en 1984, en San Andrés de Tumaco, se fundó el Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP-Dimar), actualmente Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Las funciones del Himat estaban enfocadas en las ciudades principales del país, mientras que para el área costera y marina yacían necesidades operacionales que comprometían el ejercicio de la soberanía, por lo cual en el año 1990 se conformó la Central de Pronósticos Oceanográficos y de Meteorología Marina a cargo del CIOH y el CCCP de la Autoridad Marítima Colombiana.

Antecedentes

Los primeros acercamientos del CIOH y el CCCP hacia la pronóstico del tiempo

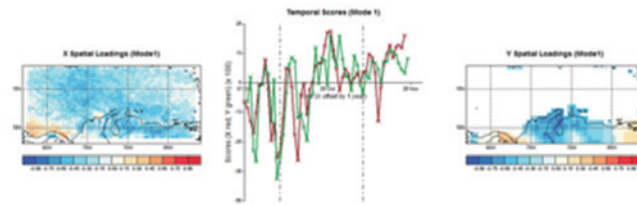
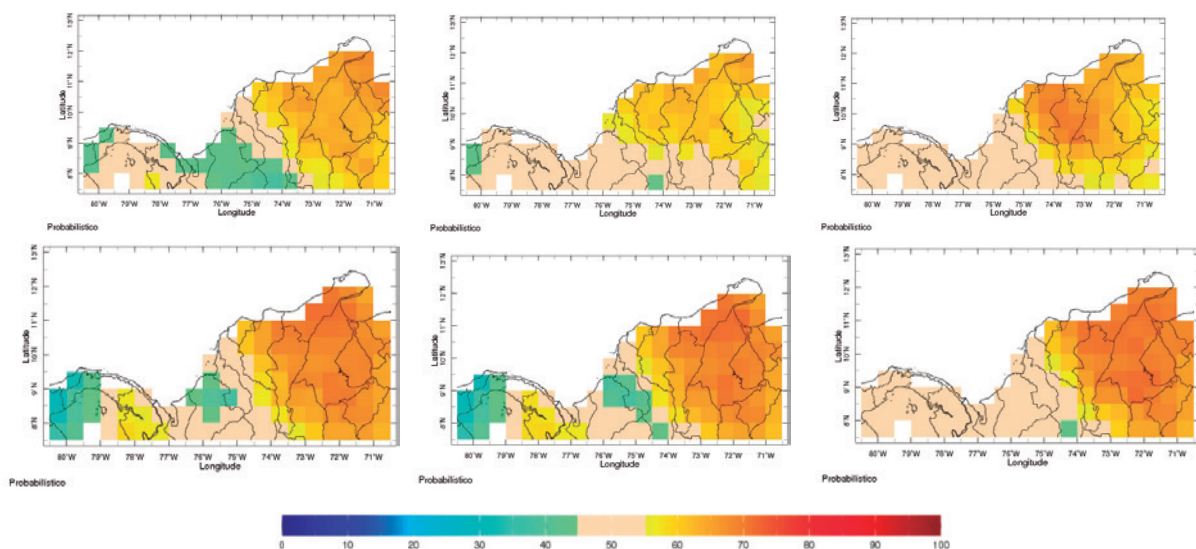


Figura 2. Análisis de Correlación Canónica (CCA, por sus siglas en inglés) y Regresión por Componentes Principales (PCR, por sus siglas en inglés), resultados de pruebas de validación el modelo WRF durante su implementación con Sipsem.



* Resultados de pruebas de validación el modelo WRF durante su implementación con Sipsem.

Figura 3. Análisis de discriminación mediante 2AFC (2 Alternative Forced Choice) para la variable lluvia de 5 realizaciones (a-e) del WRF-Caribe, calibrado con MOS. (f) ensemble de perturbaciones físicas. Valores por encima del 50 % indican que el pronóstico se ajusta a los valores típicos observados y por debajo de 50 % no se ajustan a estos.

meteorológico se centraban en la obtención de observaciones in situ por medio de estaciones sinópticas ubicadas en las costas Caribe y Pacífico, en cooperación con Himat-Ideam, la recepción de imágenes de satélites y el acceso a otras fuentes de información global. Esto permitió emitir reportes meteorológicos del estado del tiempo con un pronóstico básico a 24 horas, y un alcance operacional entre la Fuerza Naval del Caribe, unidades a flote de la Armada Nacional, las capitanías de puerto y entidades marítimas del orden nacional e internacional.

Los reportes se consideraban aceptables, sin embargo, no era suficiente

para garantizar productos de tiempo futuro y responder oportunamente a requerimientos que favorecieran la seguridad marítima integral.

¡Llego la modelación numérica!

La Dirección General Marítima (Dimar) decidió apuntarle a la predicción del tiempo con la aplicación de herramientas operacionales basadas en modelación numérica, implementando el Sistema de Pronósticos Oceanográficos y Atmosféricos (SPOA); el cual, a través de una organización sistemática y automatizada de información y modelos de última generación, suministra

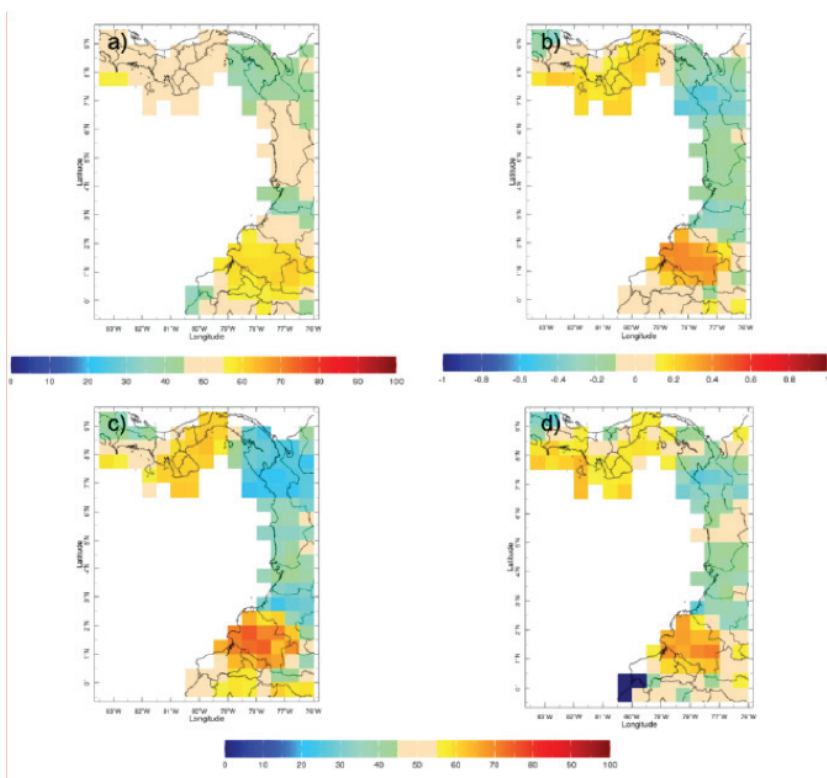
pronósticos de oleaje, vientos, presión y precipitación a escala regional. Esto a través de la evolución del modelo de olas Netherlands Wave Model (NedWaM), llamado CaribWaM, y el modelo atmosférico regional Weather Research and Forecast (WRF) (Andukia & Lonin, 2014), los cuales permitieron mejorar la precisión y certeza de los pronósticos difundidos, con alto impacto en el desarrollo de actividades marítimas, operaciones navales, comerciales y turísticas.

Los avances en la predicción numérica del tiempo en la última década han sido significativos, ya que se cuenta con sistemas de observación robustos, mejor asimilación de la dinámica física, métodos estadísticos avanzados y mayor acceso a infraestructura

tecnológica, esto motivó a la Dimar a efectuar actualizaciones y mejoras del SPOA.

Los pronósticos hoy

Considerando como referentes los diferentes centros de pronósticos del clima, como el Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos a Mediano Plazo (Ecmwf, por sus siglas en inglés), la National Oceanic Atmospheric Agency (NOAA, por sus siglas en inglés) y el Servicio Meteorológico del Reino Unido (Met Office), la Dimar trabaja en la implementación de un Sistema Integrado de Pronósticos para la Seguridad Integral Marítima (Sipsem), con la finalidad de entregar a la comunidad productos de calidad



*Resultados de pruebas de validación el modelo WRF durante su implementación con Sipsem.

Figura 4. Comparación entre métodos de calibración WRF-Pacífico pronóstico de lluvias, (a) ZAFc, (b) correlación de Spearman, (c) área ROC (Receiver Operating Characteristic) por encima de la normal y (d) debajo de la normal. Para ZAFc y ROC valores por encima de 50 %, el pronóstico se ajusta mejor a los valores típicos observados y en la correlación de Spearman, cuanto más cercano a 1.0 sea el valor, más en fase está el pronóstico con las observaciones.

con un soporte tecnológico oportuno y técnicamente fiable a través del trabajo técnico-científico desarrollado desde el CIOH y el CCCP, además de ser reconocidos como el Servicio Meteorológico Marino de Colombia ante el mundo.

El nuevo sistema está basado en generar un conjunto de pronósticos operativos que representan posibilidades meteorológicas futuras al ejecutar múltiples veces el modelo WRF, cada realización con una parametrización física diferente (método ensemble multi-física) y un proceso de corrección a través de calibración estadística o Model Output Statistics (MOS) (NOAA, 2017)³ (Wilks, 2006) ver Fig. 1. Estas correcciones se basan en patrones espacio-temporales identificados mediante funciones ortogonales empíricas (EOF) que permiten obtener pronósticos mejor ajustados a la realidad.

Durante el periodo 2017 a 2019, la Dimar ha implementado el modelo numérico WRF, con la ejecución de diferentes pruebas técnicas que permitieron establecer mejoras en los tiempos computacionales y definir las técnicas suficientes para entregar pronósticos mayormente acertados (ver figuras 2 y 3).

Model Output Statistics (MOS, por sus siglas en inglés)

El éxito de una herramienta de pronóstico, basada en modelación numérica, depende de la validación y calibración a través del Model Output Statistics (MOS, por sus siglas en inglés). Se logra con la aplicación de diferentes técnicas estadísticas para obtener una interpretación objetiva de las realizaciones del modelo, esto basado en una muestra histórica y consideraciones climáticas (datos observados) que permiten pronosticar eventos forzados por sistemas de escala sinóptica, corregir sesgos sistemáticos del modelo y cuantificar la incertidumbre en los pronósticos (NOAA, 2017)³ (ver Fig. 4).

Conclusión

La Dimar ha entregado por más de tres décadas a la región costera de Colombia, al

gremio marítimo y a la comunidad, pronósticos del fundamentales para la planeación y ejecución de actividades marítimas; y en la medida que la tecnología y las técnicas científicas han evolucionado, así también lo han hecho los sistemas y metodologías aplicadas por la Entidad.

Hasta el año 2017 con el modelo WRF v3.8 la Autoridad Marítima Colombiana entregaba pronósticos atmosféricos operativos a 120 horas de vientos y precipitación en dos dominios, uno regional en el Caribe y una representación local sobre el puerto de Cartagena. La más reciente actualización del sistema de pronóstico atmosférico ha permitido obtener múltiples resultados por el método de ensambles (5 realizaciones para el Caribe y 5 para el Pacífico), calibrados e incluyendo nuevas variables (temperatura del aire, humedad relativa y presión atmosférica), con alta capacidad predictiva sobre la costa noreste del Caribe y la costa sur en el Pacífico de Colombia.

El sistema se proyecta con potencial para incluir nuevos productos, tal como predicción de climas extremos, emisión de advertencias tempranas, generación de alertas, apoyo a la gestión del riesgo y continuar garantizando la seguridad integral marítima en la jurisdicción de la Dimar.

Bibliografía

¹ Andukia, J., & Lonin, S. (2014). Acople entre modelos numéricos en el Sistema de Pronósticos Oceánicos y Atmosféricos (SPOA). Bol. Cient. CIOH (32), 197-210.

² Betancour E., D. (1982). Reseña Historica de la meteorología en Colombia. Bogotá, D.C.: Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras.

³ NOAA, N. (01 de 01 de 2017). National Oceanic and Atmospheric Administration. Obtenido de Meteorological Development Laboratory.

⁴ Sanz Vega, M. y García de Pedraza, L. (1988). Divulgación Meteorológica: Mitología de la Meteorología. Revista de Meteorología N° 11, Asociación Meteorológica Española, 84-85.

⁵ Wilks, D. (2006). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. San Diego, California: Department of Earth and Atmospheric Sciences. 