

Sistema de Predicción Numérica del Tiempo de Panamá (SISPAN)



Proyecto SENACYT 07-2018-4-IOMA-17-011



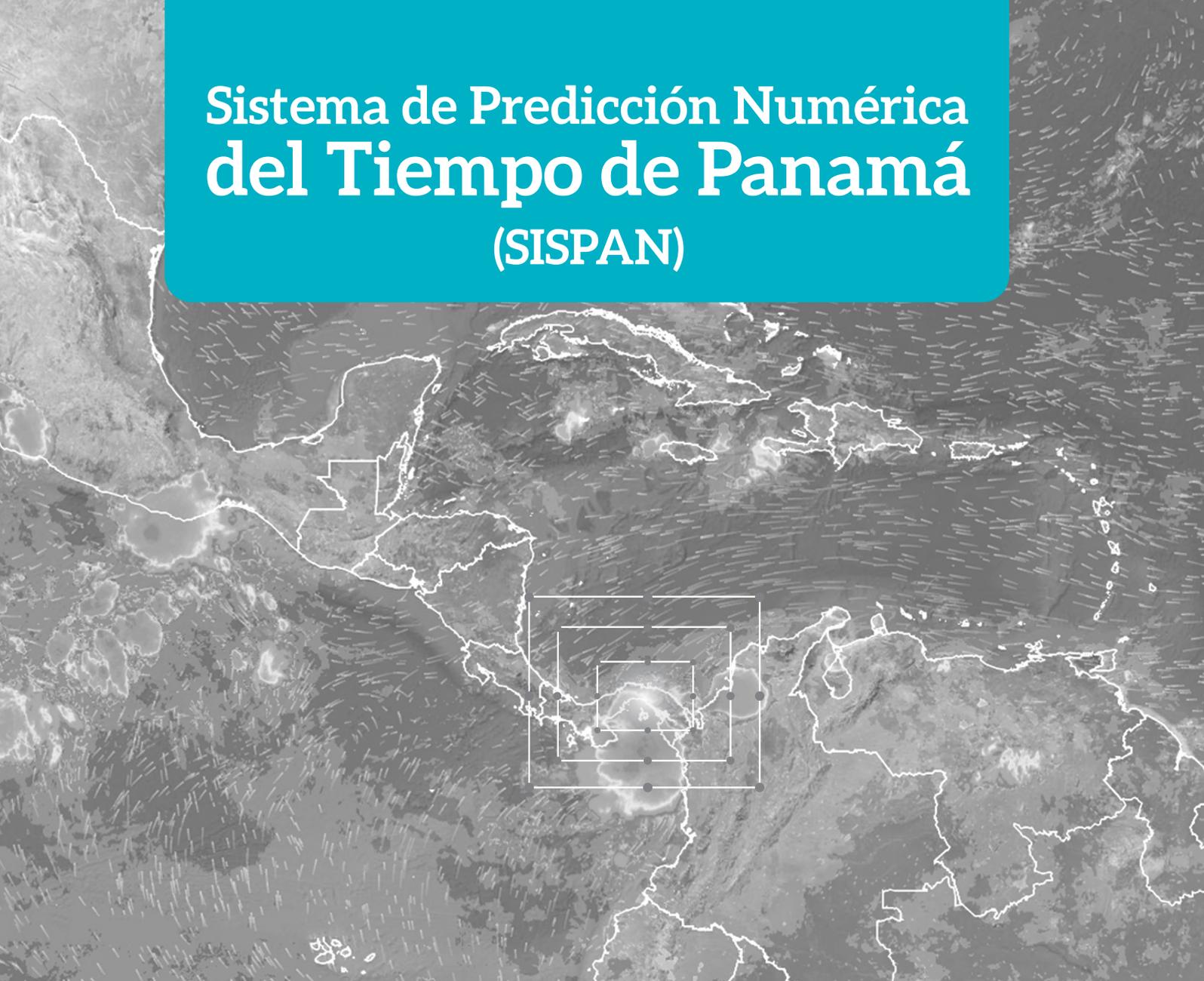
CATHALAC
Centro del Agua del Trópico Húmedo
para América Latina y el Caribe



SENACYT
Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación



Sistema de Predicción Numérica del Tiempo de Panamá (SISPAN)



Proyecto SENACYT 07-2018-4-IOMA-17-011



CATHALAC
Centro del Agua del Trópico Húmedo
para América Latina y el Caribe



SENACYT
Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación



Este trabajo se pudo llevar a cabo gracias a la subvención proporcionada por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), para la ejecución del proyecto “Análisis del Modelo Numérico WRF-ARW para la predicción de lluvia a escala de cuencas en Panamá”. Este proyecto contó también con la participación del Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología de la República de Cuba (INSMET).

Las opiniones expresadas en esta publicación, no reflejan necesariamente los puntos de vista de SENACYT.

Esta publicación puede ser reproducida en su totalidad o en parte, y en cualquier forma, para fines educativos o sin fines de lucro, sin permiso especial del titular de los derechos de autor, siempre que se cite la fuente.

El Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), agradecerá recibir una copia de cualquier publicación que utilice este documento como fuente. Ningún uso de esta publicación puede ser para su venta o para cualquier otro propósito comercial.

Copyright (derechos de autor) © 2020, CATHALAC, SENACYT, INSMET

ISBN: 978-9962-674-13-9

Autores: Freddy Picado Traña, Joel Pérez Fernández, Obed Acosta (Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe - CATHALAC); Abel Centella Artola, Arnoldo Bezanilla Morlot, Maibys Sierra, Anisbel León Marcos, Israel Borrajero Montero, Adrian Ferrer Hernández (Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, INSMET, Cuba).

Diseño e Impresión: De Todo en Mercadeo (DTEM)

Para mayor información:

Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y El Caribe (CATHALAC) www.cathalac.int
Secretaría de Ciencia, Innovación y Tecnología (SENACYT) www.senacyt.gob.pa
Instituto de Meteorología de la República de Cuba. www.insmet.cu



CATHALAC es un organismo internacional con sede en la ciudad de Panamá, establecido en 1992 para promover el desarrollo sostenible en los países del trópico húmedo de América Latina y el Caribe, por medio de la investigación aplicada, la educación y la transferencia de tecnología de los recursos hídricos y el ambiente. Las áreas de trabajo de CATHALAC se enfocan en lo siguiente: Gestión integrada de cuencas, gestión de riesgo, cambio climático y modelación y análisis ambiental.



La Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de la República de Panamá es una institución autónoma, que fue creada por la Ley 13 de 15 de abril de 1997, modificada posteriormente por la Ley 50 de 21 de diciembre de 2005 y por la Ley 55 de 14 de diciembre de 2007, que le confirió autonomía a la institución en sus tareas administrativas. Todas las actividades, proyectos y programas de la SENACYT, tienen como objetivo fortalecer, apoyar, inducir y promover el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación con el propósito de elevar el nivel de productividad, competitividad y modernización en el sector privado, el gobierno, el sector académico-investigativo, y la población en general.



La Misión principal del Instituto de Meteorología es suministrar información meteorológica y climática autorizada, confiable y oportuna sobre el estado y comportamiento futuro de la atmósfera. Esta información está dirigida a velar por la seguridad de la vida humana y a reducir las pérdidas de bienes materiales ante desastres naturales de origen meteorológico, contribuyendo directamente al bienestar de la comunidad y al desarrollo sostenible.

Homenaje a la Dra. Gisell Aguilar Oro

(q.e.p.d.)



El equipo técnico y científico que participó en esta investigación, reconoce que este trabajo nació bajo la idea y se formuló bajo el esfuerzo de nuestra querida compañera Gisell Aguilar Oro (q.e.p.d), durante su prominente paso por CATHALAC como Experta en Meteorología Sinóptica. Gisell impulsó el desarrollo de información de pronóstico del tiempo e implementó abordajes metodológicos innovadores para mejor entendimiento del clima de Panamá, mismos que hoy son parte de instrumentos utilizados en la planificación nacional.

Más allá de sus responsabilidades, recordamos en ella la imagen de su bondad, el carácter, la firmeza, el estoicismo, la capacidad de dar la mano y su inagotable deseo de aportar al conocimiento de la meteorología en Panamá.

Ante la culminación de los trabajos de ésta investigación, hacemos un reconocimiento póstumo por su incansable tenacidad profesional, genuina amistad y lucha constante ante la adversidad, siendo una gran referente para todos los que tuvimos el placer de conocerle.



Presentación

(palabras del director)

Freddy Picado Traña

Director General

En el mundo actual se observan complejas implicaciones ante los impactos sociales, económicos y ambientales, relacionados con la alta variabilidad climática. Tan sólo al alterarse la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos, todas las actividades económicas dependientes del clima sufren daños y pérdidas que pueden marcar un retroceso en su desarrollo.

Tanto en Panamá, como en la Región de Centroamérica y el Caribe, los eventos climáticos de los últimos 15 años que han impactado negativamente (casos como La Purísima <2010>, la ocurrencia de El Niño <2015-2016> y el Huracán Otto <2016>), evidencian la necesidad de contar con sistemas de predicción numérica del tiempo en particular de lluvias de alta precisión, que alerten oportunamente a la población más vulnerable, así como que permitan reducir los impactos adversos y enfrentar con mejores herramientas tecnológicas los retos impuestos para la seguridad alimentaria, hídrica y energética. Es por ello que los modelos de predicción numérica del tiempo han sido la alternativa para su uso operativo en diversos niveles, sectores económicos y vida cotidiana.

El presente trabajo de investigación bajo el nombre de “Análisis del Modelo Numérico WRF-ARW para la predicción de lluvia a escala de cuencas en Panamá” es un aporte a las ciencias atmosféricas de Panamá y la región tropical, al proveer mayor conocimiento sobre el uso de la modelación numérica del tiempo para mejorar

la calidad y resolución del pronóstico a corto y mediano plazo de los procesos que originan las lluvias en Panamá y en la región de Centroamérica.

Sus resultados muestran una utilidad práctica inmediata para la observación sinóptica, así como para gestión integrada del recurso hídrico incluyendo el pronóstico de caudales a nivel de cuencas, siendo un insumo confiable y necesario en el contexto de la creación de un Sistema Nacional de Alerta Temprana ante eventos meteorológicos extremos peligrosos incluyendo lluvias intensas y sequías. Con dicho aporte, los servicios climáticos de la región cuentan con un elemento más de ayuda en su toma de decisiones, en apoyo a los diferentes planes nacionales de desarrollo (PNSH, Plan Colmena, etc.), facilitando las acciones climáticamente inteligentes que a su vez brindan mayor resiliencia hacia la sociedad.

Se insta a los diferentes usuarios de la predicción numérica del tiempo a corto y mediana plazo a que utilicen este nuevo servicio climático para sus diferentes tareas operativas que realizan cada día, tales como SINAPROC, las entidades relacionadas con la provisión de información meteorológica como ETESA, Aeronáutica Civil, ACP, MIDA, INTA; las instituciones relacionadas con la gestión del agua, la agricultura, la ganadería, vivienda y planificación territorial, tanto a nivel local como nacional; así como la comunidad científica de Panamá.

Desarrollo de un servicio de predicción numérica de la lluvia en Panamá

Resumen

La necesidad de contar con predicciones meteorológicas cada vez más precisas, ha sido y será un reto que deben enfrentar las ciencias meteorológicas. Enfrentar ese reto requiere del desarrollo de investigaciones científicas complejas pero de orientación práctica, dirigidas al desarrollo de aplicaciones útiles a la amplia comunidad de usuarios de diferentes sectores de la vida socio-económica de un territorio, nación o región.

El presente reporte ilustra las experiencias de la ejecución del Proyecto de Investigación SENACYT 2018-4-IOMA17-011 “Análisis del Modelo Numérico WRF-ARW para la predicción de lluvia a escala de cuencas en Panamá”, ejecutado por el Centro del Agua del Trópico Húmedo de América Latina y el Caribe (CATHALAC), con el invaluable soporte científico de investigadores del Instituto de Meteorología (INSMET) de Cuba.

La ejecución exitosa del Proyecto permitió cumplir con los objetivos previstos, llegando a alcanzar resultados, que se pueden resumir en:

- **Determinación** rigurosa de las mejores configuraciones del modelo, para estimar aceptablemente los patrones de lluvias asociados a un grupo de eventos de lluviosos significativos previamente seleccionados;
- **Implementación** del Sistema de Predicción Numérica del Tiempo de Panamá SISPAN para la generación automática de pronósticos meteorológicos, fundamentalmente orientados a la variable precipitación;
- **Creación** de las bases científicas y tecnológicas para el desarrollo de servicios climáticos aplicados a sectores tales como la energía, la agricultura y otros;
- **Desarrollo** de capacidades en los grupos dedicados a la meteorología dentro de la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA) y la Autoridad del Canal de Panamá, así como en la Universidad Tecnológica de Panamá y la Universidad de Chiriquí;
- **Identificación** de una agenda preliminar de investigación, con líneas definidas para apoyar el desarrollo de SISPAN y para potenciar el desarrollo y la integración de las instituciones nacionales, bajo la coordinación de CATHALAC.

Un resultado de gran significado



práctico para el desarrollo de futuros empeños de investigación, fue la exitosa y productiva cooperación desarrollada entre CATHALAC y el INSMET. Sin dudas, las bases de esa cooperación científica facilitaron la ejecución del Proyecto SENACYT 07-2018-4-IOMA-17-011.

Motivación



Inundaciones en la provincia de Colón tras lluvias intensas
Fuente: <https://ensegundos.com.pa/2018/06/08/inundaciones-en-la-provincia-de-colon-tras-lluvias-intensas/>

Los eventos de grandes precipitaciones producen significativos impactos, con importantes daños y pérdidas en las economías locales, nacionales y regionales.

Esta afirmación no es una verdad reciente. Tradicionalmente los servicios meteorológicos han recibido la exigencia de desarrollar y aplicar métodos de pronóstico que contribuyan a reducir las afectaciones que esos eventos ocasionan. Sin embargo, el correcto pronóstico de la lluvia, particularmente de los eventos de grandes precipitaciones, continúa siendo uno de los mayores retos de la meteorología operativa.

La demanda de pronósticos cuantitativos de la precipitación, cuya fiabilidad sea cada vez mayor, crece progresivamente. La existencia de un clima cambiante y el incremento de la vulnerabilidad y la exposición, son elementos que se agregan a esa necesidad. Esta demanda también se fertiliza por las necesidades y exigencias de diferentes sectores (p. ej. agricultura, recursos hídricos, energía y protección civil, entre otros). Esos y otros sectores, requieren los pronósticos para una mejor planificación de los recursos. Así, logran hacer más eficientes y efectivos los procesos de prevención y recuperación.

Ciertamente, existen varios sucesos que ilustran los impactos adversos de los eventos de grandes precipitaciones sobre la economía y la sociedad panameña. Es posible recordar el evento llamado “La Purísima”, ocurrido en diciembre del 2010, que afectó las operaciones del Canal de Panamá; quizá una de las actividades socioeconómicas más importantes del país.

Cumplir las exigencias y satisfacer las demandas de la comunidad de usuarios, requiere desarrollar sistemas de predicción operativos, basados en resultados de procesos de investigación bien estructurados.



Procesos de investigación que estén orientados al uso de la ciencia en el desarrollo de servicios aplicados. Tal idea está en consonancia con lo que ha promovido la Organización Meteorológica Mundial, dentro del Marco Mundial para los Servicios Climáticos.

Con el propósito de enfrentar el reto de iniciar el desarrollo y establecimiento de un sistema de pronóstico de la lluvia en Panamá, se ejecutó el presente proyecto de investigación, aprovechando las capacidades tecnológicas y de comunicación con las que cuenta

CATHALAC, así como el involucramiento de varias instituciones de la República de Panamá, convirtiéndose en un mecanismo propicio para el intercambio de resultados y su sostenibilidad más allá del periodo del proyecto, así como de creación de capacidades y de desarrollo de nuevas ideas futuras. En este documento se narra el proceso del nacimiento y desarrollo de un nuevo servicio climático de pronóstico numérico de la lluvia en Panamá, gracias al financiamiento de la SENACYT y a la ejecución exitosa del Proyecto SENACYT 07-2018-4-IOMA-17-011.



Nacimiento de una idea



¿Qué es el WRF-ARW?

Es un sistema de predicción numérica del tiempo (PNT) diseñado para satisfacer, tanto la investigación atmosférica, como las necesidades de pronóstico operativo. PNT se refiere a la simulación y predicción de la atmósfera con un modelo numérico que se ejecuta en computadoras. Las siglas provienen del inglés “Weather Research Forecast – Advance Research WRF”. Se conoce que WRF es utilizado en muchos centros de pronóstico internacionales y cuenta con una comunidad de unos 30 mil usuarios en más de 150 países.

Los excelentes vínculos de trabajo previo entre CATHALAC y el INSMET, favorecieron que en el año 2017 ambas instituciones se aproximaran una vez más para evaluar la posibilidad de establecer un sistema de predicción numérica de la lluvia para Panamá, tomando en consideración la plataforma tecnológica y

de comunicación instalada en CATHALAC. Se pensó entonces en utilizar las experiencias del INSMET con el sistema de pronóstico inmediato denominado SisPi, el cual había sido implementado con éxito en Cuba, Haití y República Dominicana.

Panamá, dada su orientación geográfica casi “paralela” al eje longitudinal, su pequeño tamaño, su topografía compleja y su ubicación cercana a la Zona Intertropical de Convergencia, representaba un nuevo reto científico para el equipo del proyecto. El primer reto consistió en determinar cuáles podrían ser las mejores configuraciones del modelo de pronóstico WRF-ARW para el pronóstico de la lluvia en Panamá. Se concluyó entonces, que este trabajo sólo podría ser enfrentado bajo un proyecto de investigación que facilitara el esquema de trabajo y de colaboración, así como los recursos para adquirir los medios de cómputo necesarios para realizar los experimentos numéricos requeridos y evaluar los resultados mediante un proceso de intercambio y creación de capacidades con instituciones nacionales.

Luego de un período de preparación e intercambios, la SENACYT aprobó el proyecto “Análisis del Modelo Numérico WRF-ARW para la predicción de lluvia a escala de cuencas en Panamá”. De esta forma, el Proyecto pasó a tener el identificativo SENACYT 07-2018-4-IOMA-17-011, iniciando su ejecución en junio de 2018, la cual se extendería a un período de casi 2 años, siguiendo el marco de trabajo que aparece en la Figura 1.

Esquema del marco de trabajo del proyecto

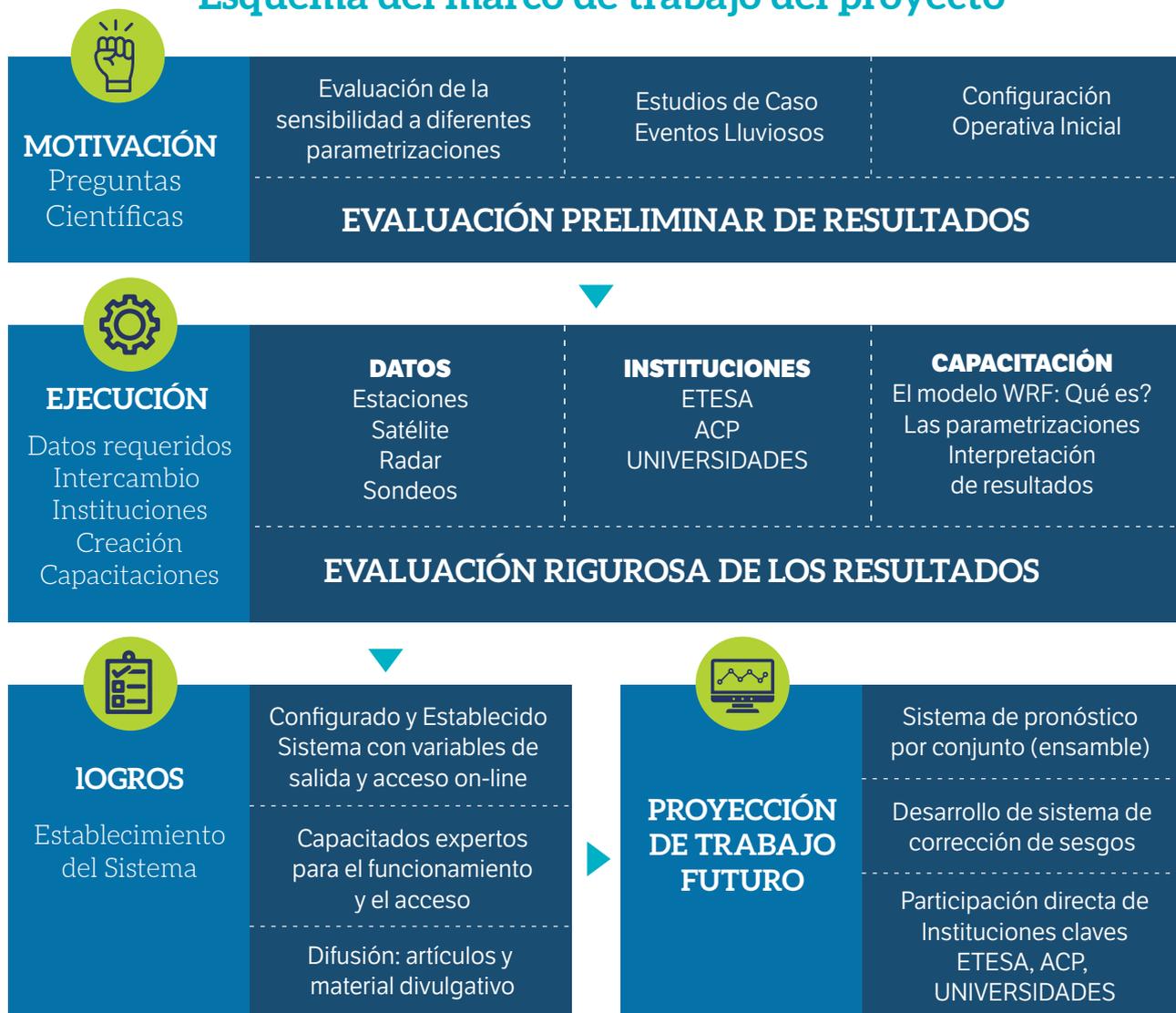


Figura 1. Marco de trabajo adoptado para el desarrollo de las actividades establecidas en el proyecto.
Fuente: elaboración propia.

El proyecto tenía el objetivo de desarrollar un sistema de predicción confiable de eventos de precipitación para Panamá, utilizando el modelo WRF-ARW. Se debía responder entonces una serie de preguntas, dentro de las cuales destacan las siguientes:

1

¿Cuáles son los esquemas de parametrizaciones¹ de microfísica y cúmulos que mejor reproducen las precipitaciones en Panamá?

2

¿A qué resolución espacial se logra pronosticar mejor la ocurrencia, la distribución espacial y la magnitud de las precipitaciones?

3

¿Cómo organizar la participación de otras instituciones panameñas en la implementación de un sistema de predicción numérica de la lluvia?

4

¿Cómo estructurar y desarrollar un sistema sostenible de creación de capacidades para el desarrollo y sostenibilidad operativa del sistema de predicción numérica de la lluvia?

¹Técnica utilizada para representar aquellos procesos que no se resuelven explícitamente en la resolución espacial o temporal que se utiliza en el modelo.



¿Modelos de predicción numérica?

Según Yu et al (2019) los modelos numéricos de predicción son: i) **inexactos**; ii) **incompletos**; e iii) **indispensables**. Inexactos, pues aún hay procesos que no resuelven explícitamente, y también hay que discretizar cosas que son continuas. Incompletos, pues no representan las múltiples interacciones entre los componentes del Sistema Terrestre y aún es incompleto el conocimiento de esas interacciones. Indispensables, pues si bien son incompletos e inexactos, tienen la habilidad y el potencial para representar integralmente el forzamiento multiescala y no lineal del sistema, así como describir la evolución de la atmósfera. Hoy no hay dudas, ellos son el centro de los sistemas de pronóstico operacional. Unidas las tres características, tenemos el núcleo de investigación clave para el futuro desarrollo del pronóstico operacional.



Ciencia puesta en práctica para brindar soluciones innovadoras

Llegar a concretar la idea utilizando el camino de la investigación científica aplicada, requirió de buscar alternativas para el desarrollo de los estudios, implementar los resultados para su función operativa y compartir experiencias con actores clave y personal técnico familiarizado con la herramienta. Bajo este esquema, mediante ese ciclo, se espera satisfacer las necesidades actuales haciendo útil la ciencia.

En busca de las “mejores” configuraciones.

Una etapa importante en el proceso de establecer un sistema de pronóstico numérico del tiempo, es determinar las configuraciones a ser empleadas en un modelo regional como el WRF-ARW (esto se conoce como diseño de experimentos). Para eso existen múltiples alternativas, y en muchos casos, las decisiones se relacionan con las posibilidades y tiempos que ofrecen las actividades de investigación. En otros casos depende de las capacidades de cómputo existentes para poder implementar experimentos que requieran mayor complejidad. Utilizando las experiencias previas, el equipo de investigación procedió a realizar el diseño experimental. Se adoptaron entonces decisiones sobre los dominios y resoluciones espaciales a considerar, así como las combinaciones de parametrizaciones de cúmulos y de microfísica².

² Las primeras representan procesos de inestabilidad atmosférica y la convección, mientras que las segundas, también nombrados como esquemas de precipitación, tratan de representar procesos de formación de lluvia, hielo, granizo, etc., dentro de las nubes.

Como resultado, se establecieron y ejecutaron un total de 15 experimentos (combinando 5 parametrizaciones de microfísica y 3 de cúmulos) para el período de tiempo comprendido entre septiembre del 2017 y julio del 2018³. Como se aprecia en la Figura 2 a continuación, las simulaciones fueron implementadas en tres dominios anidados con resoluciones espaciales de 27, 9 y 3 kilómetros, respectivamente. Para alimentar el modelo WRF en el dominio de 27 km, se utilizó la información proveniente del modelo global GFS (Global Forecast System). La información necesaria para los otros dominios, fue la que resultó de los dominios contiguos externos (por eso se dice que están anidados).

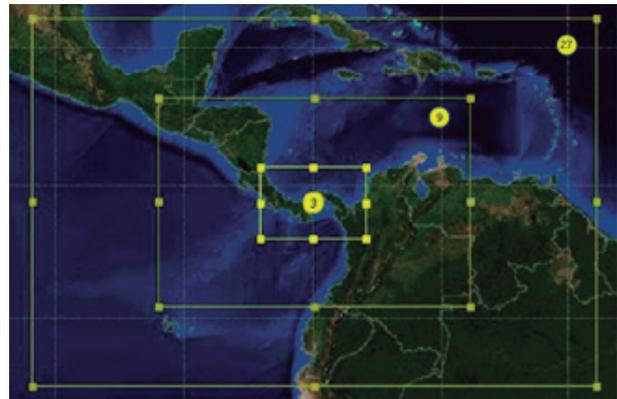


Figura 2. Dominios utilizados por el SISPAN. Los números indicados en las circunferencias amarillas, representan la resolución espacial de cada uno en kilómetros.

³ Período que cubre los 10 casos de eventos lluviosos seleccionados por el equipo de investigación, tomando en cuenta los impactos que produjeron en el país.

Desde la ejecución inicial del proceso de investigación, el equipo del Proyecto invitó a otras instituciones nacionales a participar en el proceso. Esas instituciones ofrecieron datos de sus redes de observaciones y brindaron informaciones relevantes para la selección y descripción de los 10 eventos de grandes precipitaciones que fueron seleccionados como estudios de casos. En particular, las instituciones claves en este esfuerzo fueron, la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA) y la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Se destacó además, la participación de la Universidad tecnológica de Panamá, quién facilitó la participación de estudiantes en el proyecto, por medio de pasantías académicas. Estas pasantías fueron establecidas como un proceso de formación profesional interactivo para el fortalecimiento de las capacidades nacionales de las nuevas generaciones.

Utilizando los datos observados a partir de las estaciones meteorológicas, radares, sondeos y satélites; se realizó una evaluación de los resultados brindados por el modelo en cada una de las situaciones seleccionadas. La evaluación, metodológicamente rigurosa, incorporó el análisis de diferentes características del fenómeno como: su ocurrencia, magnitud, localización, distribución espacial y otros.

Los resultados indicaron que no existían evidencias claras para decidir sobre la mejor habilidad de una configuración específica. De hecho, se apreciaron diferencias entre unas y otras al pronosticar determinadas características o atributos de la precipitación (cantidad, localización, etc.) dentro de un mismo evento lluvioso. Por otro lado, también se observó que la habilidad de pronóstico de las configuraciones varió entre los diferentes eventos analizados.



El diseño de los experimentos

En modelación numérica, el diseño de los experimentos involucra decisiones sobre diferentes aspectos como: las resoluciones espaciales, el número de los dominios y sus posiciones, así como los esquemas de parametrizaciones, entre otros. Esas decisiones parten del conocimiento de las características del fenómeno a representar, así como de las experiencias previas sobre resultados y experiencias anteriores. Las decisiones también involucran las preguntas científicas que deben responderse con los resultados de las corridas del modelo. Un adecuado diseño de experimentos garantiza resultados plausibles, optimiza recursos y evita pérdidas de tiempo.

El análisis crítico de los resultados indicó las potencialidades del modelo WRF-ARW para el pronóstico de la precipitación en Panamá, siendo poco posible determinar una configuración ganadora. ¿Qué hacer, entonces?, fue la pregunta clave que el equipo de investigación compartió con expertos de las instituciones nacionales involucradas. En ese proceso de intercambio y discusión, se adoptó la decisión de seleccionar las 3 configuraciones que mejores resultados brindaban. Entonces, utilizando ese grupo de configuraciones, se tendría un pronóstico por conjuntos (también conocido como Ensemble). Este resultado se alcanzaría por primera vez en Panamá, gracias a la ejecución exitosa del proyecto financiado por la SENACYT y constituiría el embrión de futuros desarrollos en esta dirección.



Involucrar a otras instituciones y actores en el análisis de los resultados, facilitó el acceso a datos más abundantes y de mayor calidad, así como el conocimiento de procesos locales y de micro escala que suelen ocurrir. También posibilitó tomar decisiones apropiadas sobre la implementación del SISPAN, de acuerdo a intereses nacionales.

Implementando el sistema automatizado SISPAN

Habiendo superado una etapa crucial de la investigación, se procedió entonces a culminar la implementación del Sistema de Predicción Numérica del Tiempo de Panamá –SISPAN. Esta tarea consistía en la instalación y configuración del WRF, de forma que el mismo se ejecutara de manera automática con 4 ciclos de corridas diarias, en función de los datos disponibles del GFS. En esta implementación se realizaron las siguientes acciones:



Sistema de Predicción Numérica del Tiempo de Panamá –SISPAN

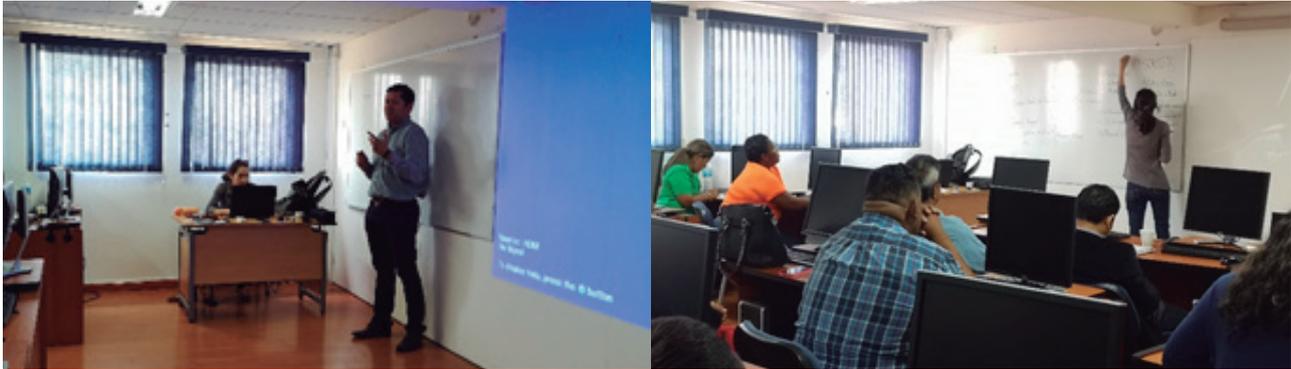


Figura 3. Estructura del funcionamiento del Sistema de Predicción Numérica del Tiempo de Panamá SISPAN.

La implementación del SISPAN estuvo acompañada de la preparación de un manual detallado, donde se describen exhaustivamente los detalles de configuración y funcionamiento del mismo. El Manual constituye una herramienta práctica que permite asegurar las labores de mantenimiento del Sistema, así como la solución de problemas ante posibles incidentes. Se potencia de esta forma, la mayor sostenibilidad futura de todo el trabajo desarrollado hasta el presente.

Compartiendo experiencias.

Como parte del proyecto, se establecieron actividades para el desarrollo de las capacidades de profesionales y personal técnico nacional. Estas actividades, resultaron exitosas al ser un espacio de intercambio de experiencias y saberes sobre las distintas actividades de la investigación. Ello también permitió crear un sentido de apropiación entre los diversos actores institucionales respecto a los resultados y hallazgos, muy útiles en sus actividades laborales.



Investigadores del Proyecto imparten curso a participantes de diversas instituciones

La primera actividad de creación de capacidades, estuvo orientada a establecer un lenguaje común entre los participantes sobre los aspectos teóricos y conceptuales de la modelación numérica del tiempo, abarcando temas como:

- ✓ Introducción a la Modelación Numérica del Tiempo.
- ✓ Introducción al Modelo WRF
- ✓ Parametrizaciones Físicas usadas en el modelo WRF
 - Microfísica
 - Cúmulos
 - Radiación
 - Capa Fronteriza
- ✓ Casos de estudio con el Modelo WRF. Resultados y Validación

Un aspecto positivo de las acciones de capacitación, fue presentar como parte del material los resultados que se iban alcanzando. Esto permitió crear un ambiente favorable para involucrar a los expertos nacionales y alcanzar resultados de utilidad práctica inmediata. Por ejemplo, como resultado de las discusiones y análisis del primer taller, se creó un mecanismo de intercambio permanente de ideas e información mediante la creación de un grupo de WhatsApp, que permitió ir precisando la trayectoria de los productos que se iban generando con la implementación de SISPAN, mediante la aplicación SISPAN Web.

Se puede afirmar que el establecimiento de un mecanismo de intercambio de ideas e información por medio de una aplicación de telefonía celular, fue una herramienta práctica útil para el desarrollo exitoso de las actividades durante el proyecto e incluso más allá del ciclo de vida del mismo. Esto también contribuyó a la creación de capacidades, al consolidar ideas y saberes bajo un propósito común y para el cumplimiento de los objetivos del Proyecto.



Momentos del último taller de capacitación desarrollado en las instalaciones de CATHALAC

La segunda actividad de creación de capacidades, estuvo destinada a compartir los resultados alcanzados en la evaluación rigurosa de los estudios de casos relacionados con los eventos lluviosos seleccionados. Aprovechando la voluntad de cooperación motivada por el proceso de interacción previamente establecido, los investigadores del proyecto mostraron y compartieron los resultados alcanzados, demostrando que no existía una configuración individual con habilidad superior en el pronóstico. Por el contrario, se confirmó la existencia de varias configuraciones que producían mejores resultados que otras.

La ocasión también fue propicia para la interacción técnica, toda vez que los participantes describieron sus experiencias utilizando el modelo WRF en sus instituciones y compartieron algunos resultados de evaluaciones cualitativas. En general, bajo un ambiente de camaradería y espíritu de colaboración, los asistentes aprovecharon la oportunidad para brindar ideas, datos y otros insumos para contribuir con el desarrollo y consolidación del SISPAN.

La forma en que se organizó y se produjo el desarrollo de esta actividad, permitió identificar las cuatro configuraciones que finalmente serían implementadas dentro del sistema actual para el pronóstico de la lluvia en Panamá, mediante SISPAN. Se adoptaron acuerdos

sobre los productos que estarán disponibles en la aplicación SISPAN Web, incluyendo las variables, la resolución espacial y otros aspectos. De hecho, se puede considerar que los insumos generados por el Taller, fueron el elemento definitorio con carácter participativo para documentar el establecimiento del sistema de predicción implementado bajo el Proyecto. Ese sistema de predicción puede ser visto como el embrión de los primeros servicios climáticos en predicción numérica del tiempo para la región de Centroamérica (hablando en el lenguaje de la Organización Meteorológica Mundial), desarrollados por Panamá con la colaboración de Cuba, bajo un proyecto financiado por SENACYT.

Como una actividad final, se realizó un taller de cierre del proyecto para la disseminación de los resultados logrados. Esta actividad se orientó para aquella audiencia institucional y del sector privado que es mayormente usuaria y/o beneficiaria del tipo de información que generan sistemas como el SISPAN. La ocasión permitió presentar los logros de la investigación y resaltar la importancia de este tipo de servicios climáticos. Se destacó la necesidad de darle el soporte y relevancia necesarios a esos servicios que son tan importantes para la toma de decisiones, la planificación y el desarrollo de actividades sectoriales, basadas en información meteorológica.



Más necesidades y más ciencia aplicada: El camino futuro

El desarrollo del Proyecto financiado por la SENACYT, cumplió los objetivos trazados y generó un impacto mayor al originalmente previsto, con resultados muy positivos. La implementación de un sistema automático de predicción a cuatro ciclos diarios, basado en configuraciones debidamente analizadas, es un hecho sin precedentes en Panamá. También demostró que el trabajo conjunto con los diversos actores nacionales y bajo un objetivo común, puede potenciar los resultados esperados de una investigación de esta índole, al hacerlos parte de los procesos de análisis y obtención de resultados. De igual forma, el sistema de predicción alojado en CATHALAC y la información que brinda por medio de su plataforma web, son elementos que amplían la oferta de información de pronósticos meteorológicos para su utilización por diferentes tipos de usuarios interesados, tanto del ámbito nacional como regional.

Junto con los logros alcanzados a lo largo de las actividades de la investigación y del intercambio de ideas con los diversos actores nacionales, también fue posible la identificación de algunas alternativas y retos a superar en el futuro. La meta es consolidar aún más el Sistema implementado, mediante esfuerzos que puedan requerir algún tipo de apoyo externo para su implementación. Así, por ejemplo, se identifican las siguientes alternativas a considerar en el futuro:

1 El trabajo interinstitucional integrado para aprovechar las capacidades institucionales existentes: esto implica combinar y coordinar los resultados

que cada institución produce de sus propias corridas de WRF, dentro de una misma plataforma conjunta, para generar a su vez, un pronóstico de conjunto (Ensemble). Como una primera aproximación, este proceso puede involucrar a instituciones como ETESA y ACP, bajo la coordinación de CATHALAC. Paulatinamente, podrán incorporarse otras entidades potencialmente interesadas y con la capacidad necesaria para tal fin.

2 Desarrollar sistemas de post-procesamiento para la corrección de sesgos utilizando minería de datos e inteligencia artificial. Esto podría involucrar a la Universidad Tecnológica de Panamá y a la Universidad de Chiriquí. Tal idea generaría un gran espacio para la formación de pregrado y postgrado.

3 Creación de conjuntos de datos observados (datos de radar, sondeos, y datos de estaciones meteorológicas) de alta calidad y disponibilidad que facilite el doble objetivo de: i) implementar la asimilación de datos para mejorar la habilidad del modelo y; ii) mejorar el proceso de evaluación de los resultados de los pronósticos numéricos.

4 Desarrollar sistemas de información con aplicaciones prácticas en sectores del desarrollo de mayor prioridad nacional. Esto involucrará la generación de nuevos esquemas de pronósticos meteorológicos y la ejecución de líneas de investigación que desarrollen servicios climáticos orientados a sectores sensibles como la agricultura, el agua o la energía.

Literatura Relevante

Yu Rucong, Jian Li y Pengqun Jia (2019): Development of Operational Weather Forecasting Shaped by the “Triple-In” Properties of Numerical Models, World Meteorological Organization, Bulletin n° : Vol 68 (2) - 2019

WMO (2013) What Do We Mean by Climate Services? World Meteorological Organization, Bulletin n° :Vol 62 (Special Issue)

Agradecimientos

El Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), agradece el financiamiento de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), por medio de su convocatoria IOMA17 de 2017. De igual manera, se agradece a las siguientes instituciones y organizaciones que acompañaron y brindaron su valioso apoyo a la presen-

te investigación, estas son, la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Panamá (UP), la Dirección de Meteorología de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA), la Autoridad de Aeronáutica Civil de Panamá (AACP) y el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).



ETESA
Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.





CATHALAC

Centro del Agua del Trópico Húmedo
para América Latina y el Caribe

Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y El Caribe (CATHALAC).
Edificio 111, Ciudad del Saber, Clayton Ciudad de Panamá, República de Panamá.

Tel: +507-317-3200. Fax: +507-317-3299.

www.cathalac.int