

---

PROGRAMA NACIONAL DE CIENCIA  
**METEOROLOGÍA Y DESARROLLO  
SOSTENIBLE DEL PAÍS.  
APORTES 2015-2019**

**Editores**

Dr. C. Tomás Gutiérrez Pérez

Dra. C. Rosemary López Lee

---

# PROGRAMA NACIONAL DE CIENCIA METEOROLOGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE DEL PAÍS. APORTES 2015-2019

## Editores

Dr. C. Tomás Gutiérrez Pérez

Dra. C. Rosemary López Lee



**Editores**

Dr. C. Tomás Gutiérrez Pérez

Dra. C. Rosemary López Lee

**Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra,  
citándola de forma siguiente:**

Gutiérrez, T., y R. López, (Eds.), 2019: Aportes 2015-2019 del Programa Nacional de Ciencia “Meteorología y Desarrollo Sostenible del País”.

ISBN: 978-959-300-156-4. Editorial AMA.

*Realizado con la contribución del Proyecto Tercera Comunicación Nacional y Primer Reporte Bienal a la Convención Macro de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Proyecto GEF/PNUD.*

# CONTENIDO

## 4 / INTRODUCCIÓN

## 6 / APORTES AL CONOCIMIENTO DE LA METEOROLOGÍA

## 7 / PRONÓSTICO DEL TIEMPO Y METEOROLOGÍA MARINA

Pronóstico de mesoescala / 7  
Pronóstico estacional / 8  
Verificación de los pronósticos del tiempo / 10  
Mares adyacentes / 13  
Inundaciones costeras / 13  
Salinidad y temperatura superficiales en aguas cubanas / 16  
Deriva y dispersión de petróleo en el mar / 16  
Incremento del nivel del mar / 20

## 21 / CLIMA DE CUBA Y SUS APLICACIONES

Rescate de especialidades perdidas / 21  
Clima de montaña / 21  
Clima urbano / 23  
Caracterización de los fenómenos meteorológicos / 26  
Agrometeorología en las provincias / 30  
Ordenamiento agroclimático / 30  
Agricultura de pequeña escala / 33  
Acuicultura / 35  
Servicios fundamentales / 36  
Alerta temprana para la sequía / 36  
Incendios forestales / 37  
Incremento artificial de la lluvia / 39

## 40 / CALIDAD DEL AIRE

Inventario de emisiones de fuentes fijas / 40  
Emisiones biogénicas / 42  
Aerosoles atmosféricos / 45  
Gases contaminantes y riesgos para la salud / 52

## 58 / PUBLICACIONES

## 82 / RESULTADOS OBTENIDOS

## 91 / PROYECTOS DEL PROGRAMA

# INTRODUCCIÓN

En la actualidad, diversos sectores socio-económicos demandan mayor cantidad de información cada vez más oportuna y precisa sobre el estado futuro del tiempo y el clima. A pesar de los notables avances alcanzados por la ciencia meteorológica en Cuba, resulta perentorio continuar perfeccionando e incrementando los conocimientos y la capacidad de la comunidad científica cubana encargada de satisfacer esas demandas. La necesidad de continuar desarrollando las investigaciones meteorológicas, para contribuir al desarrollo sostenible del país, reconocido en el **“Dictamen sobre el estado y perspectivas de las investigaciones científicas y la innovación tecnológica relacionadas con la meteorología en Cuba”**, elaborado por la Academia de Ciencias de Cuba, constituye el centro de atención principal del presente Programa.

El Programa se desarrolla priorizando la ejecución de proyectos integrales cuyo aporte científico o innovador contribuyen a la creación de servicios aplicados a la producción de alimentos, las fuentes renovables de energía, los recursos hídricos, la planificación física y la salud humana, los cuales se encuentran entre las líneas priorizadas de la investigación en Cuba.

En la sección “Aportes al conocimiento de la Meteorología”, se brinda una síntesis de los principales logros alcanzados por los proyectos de investigación del Programa. Para facilitar la

lectura la sección se ha dividido en tres temáticas: Pronóstico del tiempo y Meteorología marina; Clima de Cuba y sus aplicaciones; y Calidad del aire. Las figuras y tablas de esta sección complementan el texto.

De vital importancia resulta la sección “Publicaciones”, que es un listado de todas las publicaciones realizadas por los proyectos durante su ejecución. Además de los artículos científicos, se incluyen los libros publicados, las inscripciones en el Registro de Derecho de Autor, así como las tesis de maestría y doctorado vinculadas al Programa defendidas en el periodo 2015-2018. En esta sección los investigadores que participen en futuros proyectos, encontrarán los antecedentes necesarios para la realización de su trabajo.

Finalmente, en la sección “Resultados obtenidos” se ofrecen todos los resultados alcanzados por el Programa, los cuales han sido debidamente refrendados por los Consejos Científicos de las instituciones.

El presente folleto, junto a la multimedia que lo complementa, es un regalo para los amantes del apasionante mundo de la meteorología y representa una obra de consulta para las personas vinculadas con la aplicación del tiempo y el clima en la producción de alimentos, las fuentes renovables de energía, los recursos hídricos, la planificación física, la salud humana y la reducción de riesgos de desastre.



# **APORTES AL CONOCIMIENTO DE LA METEOROLOGÍA**

*En esta sección se describen los principales aportes al conocimiento de la meteorología cubana por el Programa durante su ejecución en el período 2015-2019*

### ► PRONÓSTICO DE MESOESCALA

El Sistema de Pronóstico Inmediato (SisPI), visible en <http://modelos.insmet.cu> es un sistema de predicción a corto plazo adaptado a las condiciones meteorológicas de la región del Mar Caribe, que se actualiza 4 veces al día. Utiliza el modelo de pronóstico numérico Weather Research & Forecast (WRF), configurado para las condiciones de Cuba. Tiene una alta resolución espacial llegando hasta 3 km (Figura 1) y temporal que permite la detección, seguimiento y pronóstico en tiempo real de la ocurrencia de tormentas y huracanes con rangos de pronóstico entre 24 y 72 horas. Fue una valiosa herramienta para el pronóstico, al paso de los huracanes Matthews (2016) e Irma (2017), mostrando buena habilidad para el pronóstico de la trayectoria y de las intensas precipitaciones.

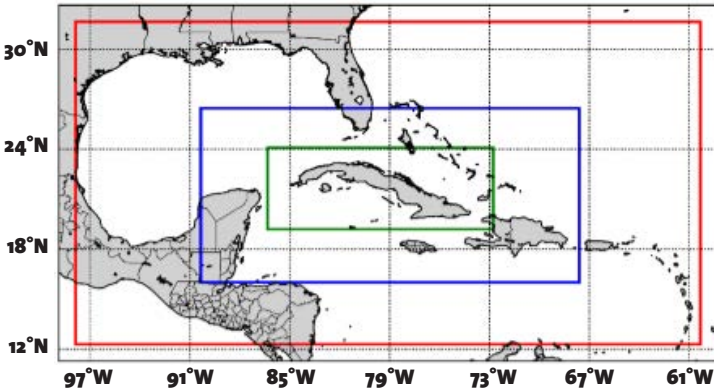


Figura 1. Dominios de simulación del SisPI. El rectángulo rojo delimita el dominio de 27 km de resolución, el azul el dominio de 9 km y el verde enmarca el dominio de alta resolución con 3 km.

Con este sistema se fortalecen los sistemas integrados de alerta temprana, la reducción del riesgo de desastres y se mejoran las capacidades de prevención, mitigación y respuesta a nivel de las instituciones y las comunidades. Prueba de esto es su instalación y configuración en países como Panamá, Haití,



y República Dominicana. Actualmente está siendo empleado, además, como sistema base para el pronóstico de la generación eléctrica en parques fotovoltaicos y eólicos.

## ► PRONÓSTICO ESTACIONAL

La temporada invernal en Cuba, se enmarca en el denominado periodo seco, que se extiende desde noviembre hasta abril. En esa temporada que se presentan sistemas meteorológicos como las bajas extratropicales, los vientos “Sures” y los frentes fríos, que afectan al archipiélago cubano, principalmente a su región occidental, provocando cambios bruscos en las variables meteorológicas asociadas, que en ocasiones pueden presentar tiempo severo. La gran variabilidad que ellos presentan motivó el estudio de varios especialistas, entre los que se destacan: Ballester (1997)<sup>1</sup> relacionado con los vientos “Sures”; González (1999)<sup>2</sup> sobre los frentes fríos; y Pila y González (2011)<sup>3</sup> sobre las bajas extratropicales.

Factores moduladores de la circulación atmosférica y en particular, en la interacción trópico/latitudes medias fueron considerados para la actualización realizada de los estudios sobre bajas extratropicales, vientos “Sures” y frentes fríos que afectan a Cuba en la temporada invernal. Se tuvo en cuenta, además, la influencia de la Oscilación Ártica (OA) y el evento El Niño- Oscilación del Sur (ENSO) en el comportamiento de esos sistemas meteorológicos al afectar el archipiélago cubano. Todo ello ha contribuido a una mejor comprensión de los procesos derivados de la interacción trópico-latitudes medias, lo que tributa a mejorar los pronósticos del tiempo, en particular, en la escala temporal mensual y estacional.

<sup>1</sup> Ballester, M., 1997: Los “Sures” en la mitad occidental de Cuba: cronología actualizada, potencial de daños y tendencias. Boletín SOMETCUBA, 3(2).

<sup>2</sup> González, C., 1999: Climatología de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde 1916-1917 hasta 1996-1997. Revista Cubana de Meteorología, 6(1),15-19.

<sup>3</sup> Pila, E., y C. González, 2011: Climatología sinóptica de las bajas extratropicales que influyen en el archipiélago cubano. Revista Cubana de Meteorología, 17(2), 71-86.

La investigación realizada permite afirmar y corroborar que en presencia del evento El Niño y la fase negativa de la OA, se manifiesta una anomalía positiva en la frecuencia de afectación de los sistemas meteorológicos invernales a Cuba y su influencia se refleja además de la variabilidad de ellos, en el comportamiento de los campos de temperatura y humedad. Una marcada manifestación en las componentes de los flujos circulatorios meridional y zonal en la troposfera condicionan aquellos procesos con un mayor o menor desplazamiento hacia las bajas latitudes, incidiendo en la frecuencia y desplazamientos de los sistemas analizados. Valores positivos del índice de la OA se caracterizan por una expansión del Anticiclón Subtropical del Atlántico, lo que no contribuye a la frecuencia de los sistemas meteorológicos mencionados, mientras que en la fase negativa se presenta una mayor frecuencia de ellos a consecuencia del desarrollo que manifiesta la vaguada polar sobre el centro y oriente de los Estados Unidos, así como su extensión hacia el sur, hasta las inmediaciones de los mares al norte de la región occidental cubana.

Las caracterizaciones halladas para los sistemas invernales como los frentes fríos y los patrones troposféricos a ellos asociados, para el trimestre diciembre-febrero, fueron compiladas en el Catálogo de los frentes fríos donde se muestran los Patrones Circulatorios significativos. En el mapa de la superficie a nivel del mar (Figura 2) se refleja la configuración troposférica asociada a las temporadas activas de los frentes fríos para el mes de febrero, y se valora que el rasgo más sobresaliente está en el desplazamiento de la vaguada polar hacia el este sobre la porción más oriental de Norteamérica. La orientación meridional de su eje se profundiza y penetra en el golfo de México, principalmente en la troposfera media. La vaguada de tipo cerrada y con una longitud de onda larga, se muestra mejor estructurada y definida, respecto al patrón sinóptico dominante en las temporadas poco activas para este mes.

En superficie la porción sur del frente frío llega hasta el centro-sur de la Florida, y se aprecia una expansión del anticiclón migratorio delante del mismo, influyendo sobre las Bahamas septentrionales, el estrecho de la Florida y el occidente cubano,

con un flujo del primer cuadrante. Este anticiclón presenta una vasta área que cubre casi todo el continente norteamericano y tiene un centro ubicado entre Dakota del Sur y Dakota del Norte. Por su parte, el anticiclón Azores-Bermudas se halla más desplazado al este con respecto a la posición media de las temporadas que tienden al mínimo de frentes fríos para este mes.

Otro de los logros es la obtención de un Sistema Experto para el pronóstico de la Temporada Invernal en la región occidental Cuba (SETI). Mediante SETI también se pudo estimar cualitativamente la probabilidad de ocurrencia de ciertos patrones sinópticos importantes, siempre que se conozca las fases presente y prevista del evento ENOS.

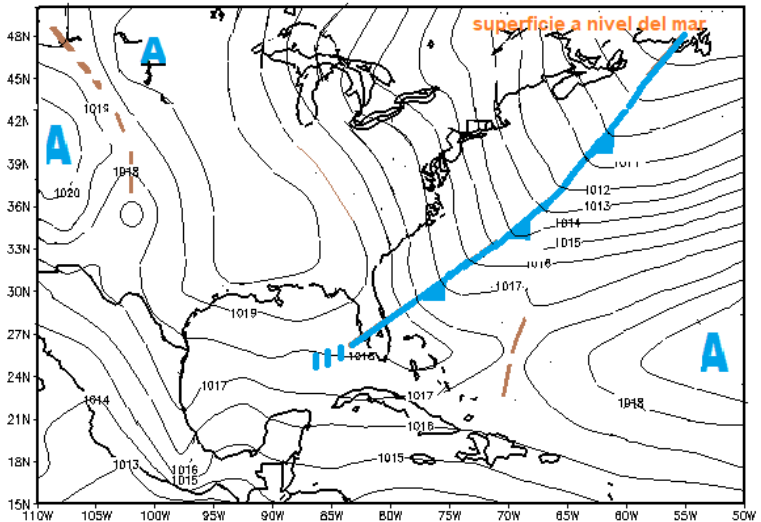


Figura 2. Mapa medio de las temporadas activas de los frentes fríos para el mes de febrero.

### VERIFICACIÓN DE LOS PRONÓSTICOS DEL TIEMPO

A partir de las observaciones meteorológicas de la red de estaciones de superficie del Instituto de Meteorología, y aplicando el principio de la persistencia, se obtuvo un método de pronóstico conformado por tres algoritmos para la predicción de las temperaturas extremas, fuerza del viento, nubosidad y

precipitación, con sus respectivas adaptaciones para la verificación espacial de estas variables, así como para el pronóstico de la dirección del viento. Todo ello con la finalidad de determinar la habilidad de los pronósticos emitidos por el grupo de pronósticos nacionales (pronóstico técnico) con respecto a un pronóstico generado por el método de la persistencia.

Otro resultado obtenido, significativo por su nivel de aplicabilidad, fue el desarrollo, con tecnologías multiplataformas sin restricciones de utilización, de un software destinado a la verificación de los Pronósticos del Tiempo, lo que se ajusta a la soberanía tecnológica por la cual está apostando Cuba en su migración al software libre. El despliegue del Sistema Integrado para la Verificación de los Pronósticos del Tiempo (SIVER) en todo el país se realizó entre durante el año 2016 y los primeros meses del 2017. Ello permitió la implementación en todo el Sistema Meteorológico Nacional, de un software que tuvo en cuenta altos estándares de seguridad y el trabajo con base de datos, lo que brinda la posibilidad de realizar procesamientos estadísticos más ricos que los mostrados en los softwares anteriores.

Con la utilización del SIVER, se evaluaron los pronósticos técnicos y los generados por el método de la persistencia y a cada una de las variables meteorológicas que participan en el proceso de la verificación. Todo ello entre los meses de mayo de 2016 y abril de 2017. De este análisis se derivó lo siguiente:

- \* La efectividad promedio de las predicciones del tiempo para 24 horas superó la del pronóstico persistente (Figura 3).
- \* Incremento de la exactitud de los pronósticos técnicos desde valores inferiores al 90 por ciento de efectividad antes de octubre 2016, hasta superar este umbral en el periodo poco lluvioso noviembre/2016-abril/2017. En el caso del pronóstico persistente este incremento también ocurrió, pero en menor medida.
- \* Ambos tipos de pronósticos evidencian una menor efectividad en los meses de mayo y octubre, relacionado con el inicio

y fin del periodo lluvioso en Cuba, lo que refleja claramente los meses de transición con la puesta en vigor de la metodología de verificación de Moya **ET. AL.** (2013)<sup>4</sup>.

- \* Descensos de la efectividad en aquellas situaciones en las que las variaciones de las condiciones meteorológicas son significativas, principalmente en el mes de octubre de 2016 durante la afectación del Huracán Matthew a la región oriental de Cuba.

- \* Permanencia de la nubosidad y la precipitación como las variables con menor efectividad para ambos tipos de predicciones.

- \* Los pronósticos de nubosidad, precipitación, temperaturas extremas y dirección del viento tienen un grado de dificultad mayor en comparación con el de la fuerza del viento. Esto está relacionado con que la efectividad del pronóstico técnico es persistente superior a la del técnico para todas las variables, excepto para la fuerza del viento, y por tanto puede decirse que la predicción de esta variable no tiene habilidad, principalmente en el periodo lluvioso del año.

Otro de los aspectos más interesantes del estudio llevado a cabo, fue el diseño de una metodología para la estimación de la nubosidad y las áreas con lluvia sobre Cuba, utilizando imágenes del satélite GOES-E y datos de algunas variables registradas en estaciones meteorológicas de superficie.

Un estudio de los métodos de interpolación se realizó para el incremento de la resolución espacial de las imágenes infrarrojas, confirmándose que el de la circunvolución cúbica es el que representó mejor el mismo, permitiendo utilizar imágenes visibles con mayor resolución espacial y mejorando los algoritmos para la estimación de nubes, fundamentalmente aquellas de poca extensión en la horizontal. Asimismo, se diseñó

<sup>4</sup> Moya, A. S., A. Estrada, M. Ballester, y C. González, 2013: Evaluación de los pronósticos del tiempo a corto plazo. Informe de Resultado Científico, Resultado 3, Proyecto Evaluación de los Pronósticos del Tiempo. Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba, 55 p.

un algoritmo para la estimación de nubes durante la noche, que utiliza umbrales móviles, en función del registro más bajo de temperatura del aire que haya sido reportado desde las estaciones meteorológicas de superficie. Este procedimiento mejora la detección de nubosidad cuando los píxeles no contaminados por nubes tienen niveles de grises comparables con el de las nubes.

Se validaron los algoritmos diseñados para la estimación de la nubosidad y de las áreas de precipitaciones. En general se alcanzaron resultados aceptables, a partir de métodos de verificación espacial ante diferentes escenarios y la comparación entre detecciones automáticas y visuales, así como la comprobación con registros de los pluviógrafos de las estaciones meteorológicas seleccionadas y la comparación visual con las observaciones de tiempo presente.

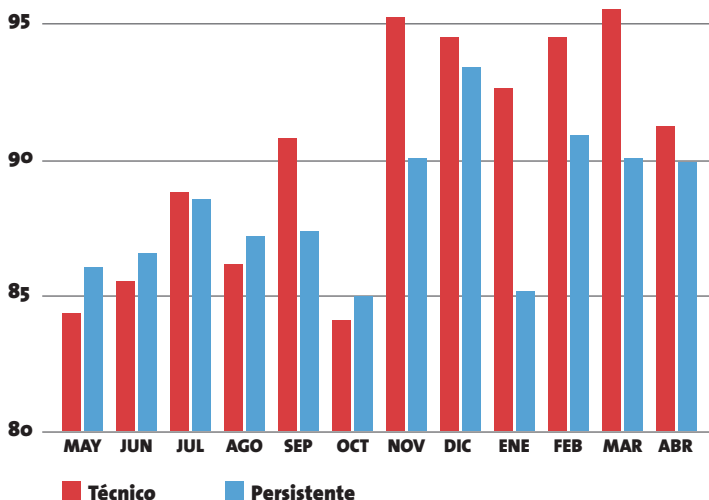


Figura 3. Efectividad promedio de los pronósticos técnico y persistente.

## ► MARES ADYACENTES

### INUNDACIONES COSTERAS

Más del 10 % de la población cubana vive expuesta a los efectos de los eventos de gran severidad, generados por los

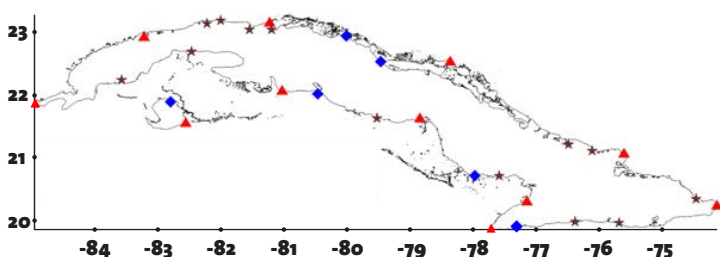
procesos de interacción océano-atmósfera, en especial los incidentes en las costas y que pueden incrementar su frecuencia e intensidad debido al cambio climático global. Especial atención se presta al régimen de inundaciones costeras, tomando en cuenta sus tendencias temporales y el cambio climático previsto, así como la influencia de la estructura termohalina y del régimen de las mareas. Sobre esta temática se realizó una interesante investigación que permitió disponer de herramientas numéricas eficientes para la simulación y pronóstico de las inundaciones costeras en Cuba en diversos plazos.

Se evaluaron las salidas del sistema de modelos numéricos SPNOA (Sistema de Pronósticos Numéricos Océano-Atmósfera), al paso de eventos severos, mostrándose las ventajas y limitaciones del uso de los diversos modelos que lo integran, para la simulación y pronóstico de las inundaciones costeras en Cuba. Con el fin de comprobar la efectividad del sistema en la representación y pronóstico de las inundaciones, se realizaron varios estudios de caso de temporada invernal y de huracanes.

SPNOA se aplicó exitosamente al paso de los huracanes Matthew (2016) e Irma (2017). Los resultados obtenidos con SPNOA son eficientes para la representación y predicción de oleaje y sobre elevación del nivel del mar, sobre todo al paso de huracanes, por lo que se recomienda su uso en el servicio meteorológico y obras ingenieriles.

De enorme importancia resultó la creación de una red que cuenta con 30 puntos de observación del estado de la superficie marina: 15 en la costa norte y 15 en la costa sur del archipiélago cubano (Figura 4). La referida red fue activada al paso de los huracanes Matthew (2016) e Irma (2017), permitiendo valorar los daños ocasionado en las zonas costeras por estos huracanes. En la actualidad las estaciones meteorológicas de Cabo San Antonio, Cayo Coco, Cabo Lucrecia, Punta de Maisí y Cabo Cruz reportan el estado de la superficie marina por intermedio de la Escala Douglas en las observaciones diurnas a partir de los procedimientos elaborados en esta investigación.

Además, se obtuvo la cronología de las inundaciones costeras para cada una de las provincias del país desde el siglo XX, la cual arroja los mayores eventos de inundación en la costa sur de las provincias de Camagüey, Las Tunas, Artemisa y Mayabeque, las cuales fueron producto de los huracanes de Santa Cruz del Sur (1932) en las dos primeras y de 1944 en las dos últimas. En el resto de las provincias las mayores inundaciones se concentran en el presente siglo, debido a la creciente actividad ciclónica registrada en Cuba desde el año 2002. También se propuso una nueva clasificación de las inundaciones costeras en cuatro grupos (Tabla 1). La clasificación se basa en el alcance horizontal del agua de mar tierra adentro que está condicionada por la profundidad y pendiente del fondo marino, así como por la sobre elevación del nivel del mar que generan los sistemas meteorológicos que afectan a cada tramo costero del país.



- ▲ Estaciones Meteorológicas
- ★ Observadores Voluntarios/Radioaficionados
- ◆ Organizaciones de la Administración Central del Estado

Figura 4. Red de observación del estado de la superficie marina ante la presencia de inundaciones costeras por penetración del mar en el archipiélago cubano.

TABLA 1. PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES COSTERAS EN CUBA SEGÚN EL ALCANCE HORIZONTAL DEL AGUA DE MAR TIERRA ADENTRO (EN METROS).

Clasificación	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Ligeras	0-500	0-250	0-100	0-50
Moderadas	501-1000	251-500	101-200	51-100
Fuertes	> 1000	> 500	> 200	> 100



- \* **Grupo 1:** costa sur de Artemisa, Mayabeque y Camagüey.
- \* **Grupo 2:** costa norte de Artemisa y Mayabeque; costas de Pinar del Río, de Isla de la Juventud, Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spiritus y Holguín; costa sur de Las Tunas y de Guantánamo.
- \* **Grupo 3:** costas de Matanzas y Granma; costa norte de Camagüey, Las Tunas y Guantánamo.
- \* **Grupo 4:** costas de Ciego de Ávila y de Santiago de Cuba.

## **SALINIDAD Y TEMPERATURA SUPERFICIALES EN AGUAS CUBANAS**

Un gran logro lo constituye la caracterización del posible comportamiento futuro de la salinidad y la temperatura superficial oceánica al incremento de la temperatura planetaria en 1,5, 2,0 y 2,5°C, con respecto al período preindustrial. Para ello, fueron utilizadas las salidas de cuatro modelos climáticos globales con el escenario de forzamiento RCP 4.5 (escenario de concentración que estipula una trayectoria de forzamiento radiativo hasta alcanzar el valor de 4.5 Wm<sup>-2</sup> en el año 2100).

Según las salidas de los modelos analizados, se aprecia que los cambios en la temperatura de la superficie oceánica en aguas cubanas, muestran un retraso temporal con respecto a la temperatura atmosférica global. De manera que con el incremento de la temperatura atmosférica en 2,5°C en las décadas de los 60 a los 80 del presente siglo, los incrementos de temperatura de la superficie oceánica en aguas cubanas se quedarían entre 1,0°C y poco más de 2,0°C. Es de esperar que el arribo del incremento de temperatura de la superficie oceánica a los 2,5°C sea posterior a 2099. No obstante, los cambios proyectados para la primera mitad del siglo XXI, pueden tener implicaciones adversas en la evolución y desarrollo de los ciclones tropicales, así como también para los ecosistemas marinos cubanos, con probable afectación definitiva a sectores como la pesca y otros asociados con la zona costera.

## **DERIVA Y DISPERSIÓN DE PETRÓLEO EN EL MAR**

Un grupo de especialistas e investigadores del Centro de Meteorología Marina perfeccionó el modelo PETROMAR,

para simular eficientemente derrames de petróleo en el mar. Entre los aspectos que limitaban las versiones anteriores de PETROMAR se encontraba que no se modelaban los procesos de transferencia de masa, lo que significaba considerar todo el tiempo el peor escenario. Esta característica tenía por consecuencia que todo el petróleo derramado permanecía indefinidamente durante todo el período de la simulación, sólo considerando pérdidas del contaminante cuando éste recalaba en algún sector de costa o saliera de la zona pre-seleccionada. Como consecuencia de ello, parámetros como la densidad, la viscosidad y la concentración del petróleo en el mar permanecían invariables, algo que distaba mucho de la realidad. Otra cuestión limitante en la obtención de resultados más objetivos fue la muy incipiente descripción del reventón (conocido entre los entendidos en la temática como blowout) al no considerar detalles del océano y del petróleo derramado.

Partiendo de estos antecedentes, se obtuvo una versión de PETROMAR con mayor eficiencia en el cálculo y resultados más potables para la toma de decisiones. El primer éxito fue haber recodificado los programas y funciones en el nuevo lenguaje, ahora distribuidos por módulos (preprocesamiento, deriva, intemperización, blowout y postprocesamiento). Con la nueva distribución no sólo se mejoró el perfeccionamiento de cada proceso, sino además se facilitó la posterior incorporación de otros productos

**El Módulo de Preprocesamiento** contiene múltiples adaptadores que se encargan de tomar los datos de cada archivo de entrada, considerando el tipo de formato, tamaño, número de dimensiones del suceso, entre otros. Una vez que los datos son interpretados, se crea el escenario con toda la información útil (campo de viento, corrientes marinas y oleaje).

**En el Módulo de Deriva** se realizan los cálculos de manera similar a versiones anteriores (considerando el esparcimiento, la advección y la difusión como los procesos físicos principales). Se incorporó la descripción del derrame de forma subsuper-

ficial, donde también se puede obtener una descomposición lagrangiana de la mancha, una vez que salga a la superficie.

**El Módulo de Intemperización** posee los tres procesos más importantes de la transferencia de masa: la evaporación, la dispersión vertical y la emulsificación. Este hecho conduce a que los cálculos de la densidad, la viscosidad y la concentración varían con el tiempo.

**El Módulo del Blowout** considera la pluma (o penacho) como un cono ascendente, cuyos parámetros (la concentración, las coordenadas del eje y las dimensiones del radio) varían según las condiciones oceanográficas y las características del petróleo. Según las condiciones de estabilidad, la pluma puede ascender hasta la superficie o quedar atrapada a una profundidad determinada. Si el ascenso total ocurre, los parámetros mencionados en la superficie se toman como el esparcimiento natural.

**El Módulo de Postprocesamiento** genera salidas gráficas con un mínimo de requerimientos geográficos (escala del mapa, norte geográfico, etc.). Entre los mapas resultantes se encuentra uno que integra todos los estatus de la mancha y otros que tienen cada posición de la misma con los campos de viento y corriente para cada uno de los instantes. La representación de la variable concentración es muy útil para ilustrar los cambios de morfología de la mancha, los principales núcleos contaminantes y las posibilidades de fracturación de la mancha (Figura 5). Al mismo tiempo, la disponibilidad de una salida numérica con todas las posiciones de las partículas virtuales en el tiempo facilita la visualización como lo necesita cada usuario.

La evaluación del modelo fue llevada a cabo a través de los derivadores de la NOAA, disponible en Internet. Los tres esquemas numéricos empleados para tal proceso fueron los de Euler, Runge Kutta de orden 2 y Runge Kutta de orden 4. Al mismo tiempo se compararon con el patrón algunos escenarios construidos con el modelo atmosférico WRF y los modelos hidrodinámicos ROMS, NCOM y el proyecto CoastWatch.

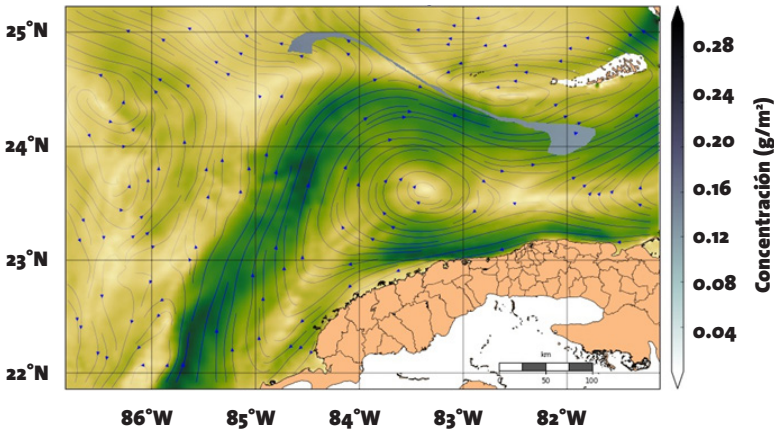


Figura 5. Representación de la concentración de la mancha en un instante de la simulación.

Se diseñó, además, una estrategia de paralelización basada en una cola de tareas. El nuevo modelo introduce el concepto de paquete de tarea el cual consiste en instancias de objetos de tipo `Task_Package`. Toda la parametrización que contiene es la necesaria para crear apropiadamente un escenario o realizar la corrida de una trayectoria, etiquetándolos con el tipo de operación que se va a realizar y la dirección de red a la que debe retornar la salida resultante de lo procesado.

En vías de implementación se encuentra ejecutar el modelo de trayectoria y destino de tres maneras: desde el escritorio, desde un servicio de correo electrónico y a través de un servicio web.

La ocurrencia de derrames de petróleo, en condiciones severas del tiempo, fue simulada usando como sistema proveedor el sistema de modelos numéricos SPNOA. De esta manera fueron identificadas las principales características de los eventos meteorológicos extremos y los sistemas de corrientes presentes en la región que se conjugan para producir situaciones interesantes en la deriva y dispersión del petróleo en el mar. Se emplearon los modelos WRF y ROMS (pertenecientes al sistema de modelos numéricos SPNOA) como principales proveedores de las variables atmosféricas y oceanográficas.

Se eligió una población de sucesos de cada evento, así como las principales zonas donde se pudieran encontrar detalles de interés en los resultados.

Se logró diferenciar la dependencia de las variables ambientales sobre los procesos que tienen lugar en la mancha de petróleo y se promovieron los escenarios donde es factible el empleo de las técnicas de respuesta. Esto resulta muy útil como material de consulta a los decisores nacionales en materia de desastres tecnológicos.

### **INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR**

Para estimar los incrementos extremos del nivel del mar en las costas de Cuba por causas meteorológicas, se estableció una fructífera colaboración entre el Instituto de Meteorología, la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de La Habana, la sección Estudios Marinos del Grupo Empresarial GEOCUBA y el Departamento de Meteorología del Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas. Como resultado de la colaboración, se obtuvo un sistema de modelos acoplados que tiene en cuenta los incrementos del nivel del mar por rotura de oleaje, por la acción del viento y por las diferencias de presión atmosférica en superficie debidas a ciclones tropicales, así como las oscilaciones de la marea astronómica.

Se diseñó una malla de 39922 nodos (Figura 6), que fue utilizada para simular el oleaje y las elevaciones máximas del nivel del mar en Cuba durante el paso de los huracanes Irma, Wilma, Dennis, Gustav, Ike y Matthew. La malla funcionó exitosamente para los huracanes seleccionados, con la excepción de Dennis e Ike, donde se presentaron problemas de inestabilidad numérica en áreas de morfología compleja en los cayos.

La investigación continúa con la aplicación de técnicas de avanzada en la modelación de fenómenos hidrodinámicos complejos y en la generación de dominios de cálculo empleando técnicas de elementos finitos, hasta lograr una malla universal para su aplicación operativa de los modelos

acoplados. No obstante, el sistema de cálculo obtenido hasta el momento, es útil para la determinación objetiva de los incrementos del nivel del mar en cualquier zona costera del Archipiélago Cubano, favoreciendo la emisión en tiempo de mensajes de alerta temprana.

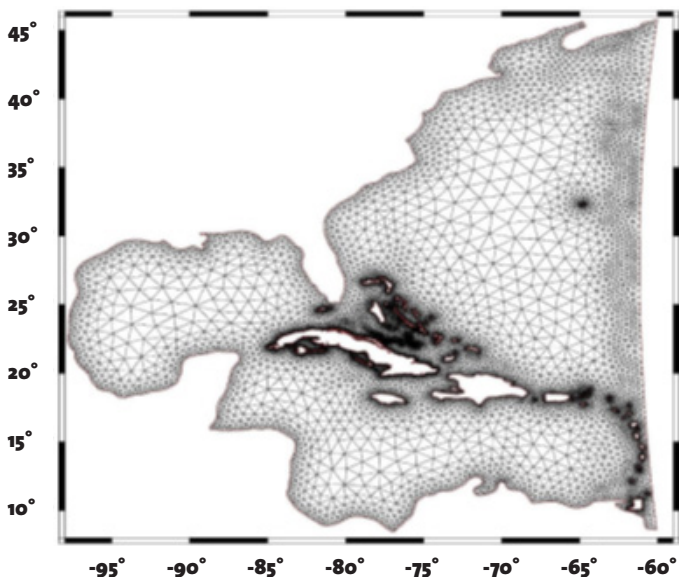


Figura 6. Malla de cómputo no estructurada de 39922 nodos.

## CLIMA DE CUBA Y SUS APLICACIONES

### ► RESCATE DE ESPECIALIDADES PERDIDAS

#### CLIMA DE MONTAÑA

Una tercera parte del territorio nacional cubano presenta relieves no llanos, y entre los sistemas más importantes por la extensión y la altura se encuentra la región oriental de Cuba.

El clima en Cuba ha sido objeto de estudio de forma sistemática desde hace más de 50 años. Existen antecedentes que señalan referencias, en ocasiones muy someramente, al clima en terrenos complejos. En las décadas de los 80-90 del

pasado siglo se efectuó un estudio climático de las montañas del oriente de Cuba donde se desarrollaron campañas de mediciones de campo y se utilizó el método de los gradientes (Montenegro, 1993). Los resultados obtenidos fueron mapificados de manera manual, a una escala 1:300 000, con un gran esfuerzo humano, empleo de tiempo y gasto material que reclama tal tarea.

Para el rescate de los estudios topoclimáticos en el oriente de Cuba el Programa de Meteorología ejecutó durante el periodo 2015-2017 un proyecto que tuvo como objetivo desarrollar una línea base climática de los ecosistemas de montaña en la región oriental de Cuba, contribuyendo a perfeccionar los servicios meteorológicos que beneficien el desarrollo económico-social y medioambiental y la protección de la vida humana y los bienes materiales a escala regional y local. Entre los principales aportes del proyecto estuvo la propuesta de una metodología retomando el método de gradientes y actualizando las técnicas de evaluación y cartografías para las variables temperatura y humedad relativa a escala local. La metodología analiza los factores físicos geográficos como preponderantes formadores de los climas locales en montañas o topoclimas.

Para definir los perfiles se empleó como base los levantamientos climáticos (Montenegro, 1993), la red de estaciones meteorológicas del oriente de Cuba y un modelo digital de terreno (MDT).

Un resultado significativo por su nivel de aplicabilidad es la propuesta de un método cartográfico para variables climáticas en terrenos complejos basado en gradientes, sistemas de expertos y sistemas de información geográfica (SIG). Los factores físicos geográficos implementados fueron: distancia al mar, orientación de las montañas con respecto al sol y los vientos dominantes, altitud, ubicación geográfica y geomorfología.

El proceso es totalmente automatizado, requiriendo la intervención humana solamente con propósitos de mejora cartográfica de los mapas finales. Los estudios de caso fueron mapificados a escalas horizontales 1:250 000 y 1:100 000. La

metodología se considera adecuada en estudios climáticos de montañas, para variables asociables a gradientes, de áreas tropicales insulares relativamente pequeñas.

Otros logros alcanzados estuvieron relacionados con: el fortalecimiento de las bases de datos climática de la región montañosa oriental de Cuba, con la digitalización e incorporación al acervo del sistema meteorológico nacional de las observaciones de 39 puntos de monitoreo, periodo 1987-1989. Estos datos y la serie climática 1986-2015 para las 20 estaciones meteorológicas de la región oriental de Cuba, fueron incorporados a la plataforma de gestión de bases de datos topoclimáticas del servidor de mapa con licencia Super Map iServer; La implementación de un esquema de parametrizaciones del modelo meteorológico WRF\_ARW en la zona montañosa de la región oriental de Cuba, con el objetivo de contribuir a perfeccionar los métodos, procedimientos y herramientas que se utilizan en los pronósticos meteorológicos y climáticos, así como en las investigaciones en ambos temas. Las salidas gráficas del modelo de forma operativa se muestran en el sitio [www.cmp.vcl.cu](http://www.cmp.vcl.cu) (*modelos numéricos*); La caracterización climática del viento en la región oriental de Cuba, profundizando en el conocimiento del comportamiento de esta variable en las montañas del oriente cubano para aplicaciones al pronóstico del tiempo y como recurso energético.

Otros productos desarrollados o fortalecidos con los resultados del proyecto fueron: guías climáticas abreviadas para el sector agropecuario implementadas en los ecosistemas productivos de valles intramontanos de los municipios Niceto Pérez, Manuel Tames, San Antonio de Sur y Guantánamo; Se mejora la información de evaluación climática y agroclimática para áreas de montaña publicadas en boletines de vigilancia agrometeorológicas y climática con salidas decenales y mensuales dirigidas al sector productivo y decisores.

## **CLIMA URBANO**

Las ciudades actúan como un importante factor modificador del clima regional y sus componentes influyen de diferente



forma sobre las condiciones climáticas locales, llegando a generar lo que se conoce como microclima urbano. En Cuba el 69% de las ciudades tienen una población de hasta 50 000 habitantes, sin embargo, el 57% de la población urbana vive en ciudades de más de 200 000 habitantes. Por lo que resulta de gran interés el estudio del microclima en las ciudades dada su influencia en la salud humana y en el consumo de energía, entre otros aspectos.

En Cuba el clima urbano ha sido estudiado desde la década del 50 del pasado siglo fundamentalmente en La Habana. Existen antecedentes de estudios realizados en las décadas del 80 y 90 aplicando los métodos, para la toma del dato, el sincrónico (Nieves, 1986) y asincrónico (Álvarez, 1994). Los estudios del clima urbano se retomaron en 2000-2011 en ciudades del centro del país con población de hasta 50 000 habitantes (Sagua la Grande, Placetas, Camajuani, Remedios y Caibarién). El método aplicado para realizar las mediciones fue una variante del método asincrónico y la ubicación de los puntos de medición parte de la zonificación tipo-morfológica de la ciudad.

La realización de estudios de clima urbano en ciudades con población entre 100 000 a 200 000 habitantes se realizó durante el período 2015-2017, en un proyecto del Programa de Meteorología. Dicho proyecto tuvo como objetivo proponer esquemas para el planeamiento y el diseño urbano tomando en consideración la influencia de la forma urbana en el microclima térmico de las ciudades de Santa Clara y Cienfuegos con vista a mejorar las condiciones climáticas ambientales del entorno construido. Entre los principales aportes del proyecto estuvo la caracterización de las ciudades de Santa Clara y Cienfuegos desde el punto de vista climático, ambiental y urbano y la identificación de las zonas de sensibilidad térmica a partir de los puntos de muestreo seleccionados que representen las diferentes zonas tipológico-formales predominantes.

Para la identificación de las zonas tipológico-formales se estudiaron variables urbanas como el tamaño y forma de lotes

y manzanas, asociación entre las edificaciones, volumetría, sección entre fachadas, materiales de construcción y del pavimento. Este resultado es la base para el diseño de las mediciones climáticas las cuales se realizaron con un recorrido previamente establecido por los puntos ubicados en forma de malla a una distancia de 500m. La base de datos climática se trabajó en un sistema de información geográfica lo que permitió la obtención de los mapas temáticos.

Un aporte significativo es la correlación que se establece entre las zonas tipológico-formales predominantes y el microclima térmico, con el análisis a partir de la discretización de la variable, la cual ha sido utilizada en diversos campos de la ciencia para relacionar variables diferentes. Este proceder se realizó, con el objetivo de ver la respuesta que la diferencia de temperatura tiene, ante la combinación de los elementos urbanos que conforman las zonas tipológico-formales, e identificar cuáles de las zonas es la más desfavorable y los elementos urbanos que influyen negativamente, y hacia donde se deben dirigir las recomendaciones, para su manejo mediante la rehabilitación.

Con los análisis realizados se procede a establecer esquemas de diseño tendientes a mejorar la calidad del microclima urbano y expresarlas de forma tal que se facilite su integración al planeamiento, el diseño urbano y la rehabilitación. Igualmente se proponen recomendaciones de clima a la forma urbana de las diferentes zonas tipológico-formales estudiadas en cada ciudad y se confeccionan las regulaciones para las labores de planeamiento y diseño urbano. Estas se centran fundamentalmente en: recomendaciones generales relacionadas con regulaciones y normativas que influyan en el diseño y rediseño con criterios climático-ambientales; regulaciones urbanas y arquitectónicas que tengan en cuenta los materiales a emplear en las construcciones y el pavimento; incrementar y rediseñar los espacios que contienen la vegetación en la ciudad y orientar a la población en cuanto a la protección de la vegetación que existe en el interior de las manzanas.

## ► CARACTERIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS

Los fenómenos meteorológicos influyen de forma cotidiana en la sociedad, provocando tanto efectos adversos como beneficiosos, de ahí la importancia del estudio de su comportamiento climático. En este sentido, se logró caracterizar las marchas anuales y diarias y la distribución espacial de la ocurrencia de nueve tipos de fenómenos clasificados como: “cielos despejados”, “humo”, “brumas”, “neblinas”, “nieblas”, “lluvias”, “relámpagos”, “chubascos” y “tormentas”, para cada una de las estaciones meteorológicas del país, usando los registros del código del estado de tiempo presente.

Para el periodo 1989-2010 se conformaron series de frecuencia de ocurrencia por meses del año, para los nueve tipos de fenómenos estudiados y para el periodo 2005-2010, por horas del día (trihorarias) para los mismos fenómenos. Los agrupamientos de estaciones con comportamiento similar de su marcha anual fueron analizados usando análisis de cluster, mediante dendrogramas.

El **estudio de la marcha** anual arrojó que:

- \* Los “cielos despejados” y las “brumas” (Figura 7 paneles superiores) son los fenómenos con mayor ocurrencia mensual de los estudiados; son característicos del periodo poco lluvioso y las diferencias por grupos de estaciones están dadas por la mayor o menor ocurrencia por periodos de actividad.
- \* Las “neblinas” y las “nieblas” presentan baja ocurrencia mensual y son características del periodo poco lluvioso, con diferencias estacionales más marcadas para las segundas.
- \* Las “lluvias” muestran valores máximos en el periodo lluvioso del año con una baja relativa en los meses de julio y agosto y las diferentes agrupaciones de estaciones se distinguen por la mayor o menor ocurrencia en los meses de mayo, junio y octubre. La distribución espacial de estas agrupaciones muestra áreas comunes diferentes para la región occidental, central y oriental del país.

- \* Los “chubascos” son mayoría en el último cuatrimestre del año y las marchas anuales de los grupos de estaciones identificadas se diferencian poco con contrastes puntuales en el nivel de ocurrencia.

- \* El “relámpago visible” es característico del periodo lluvioso y sus diferencias entre grupos de estaciones están dadas por la mayor o menor ocurrencia en los meses de junio, julio y agosto.

- \* Las “tormentas” (Figura 7 paneles inferiores) son máximas en su ocurrencia en el periodo lluvioso del año y se diferencian en grupos de estaciones las de las regiones occidental y central con respecto a las de la región oriental en el carácter unimodal o bimodal de sus distribuciones.

- \* El “humo” tiene comportamientos específicos según la estación allí donde su ocurrencia es apreciable.

El estudio de la marcha diaria permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- \* Los “cielos despejados”, las “nieblas” y “neblinas” y los “relámpagos visibles” son más característicos de las horas de la noche y la madrugada y hasta las 07 hora local.

- \* Las “lluvias” y los “chubascos”, aunque pueden ocurrir a todas las horas del día son más ocurrentes en los horarios diurnos y hasta las 22 hora local y las “tormentas” son marcadamente vespertinas.

Se logró, además, especificar la **distribución espacial** de cada uno de los fenómenos en estudio para el territorio cubano. A partir de los registros de código de estado de tiempo presente para todas las estaciones meteorológicas de Cuba se determinaron los parámetros de por ciento de ocurrencia de observaciones y número promedio anual de días con los nueve tipos de fenómenos, usando como periodo base 1989-2010. Esto permitió arribar a las siguientes conclusiones:

- \* Los “cielos despejados” y las “brumas” presentan los porcentajes de ocurrencia de observaciones más altos para todo el país y sus zonas de máxima y mínima ocurrencia son contrarias ya que donde hay máximas para los “cielos despejados” como en Pinar del Río, Ciego de Ávila y Camagüey son mínimas para las “brumas”.
- \* Las observaciones con “humo” son solo significativas para Casablanca, donde hay un máximo absoluto y para Nuevitás en la provincia Camagüey, asociadas al desarrollo industrial en esas regiones.
- \* Las “nieblas” y las “neblinas” (Figura 8) son características del interior de las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque, de lugares montañosos y de la desembocadura del Río Cauto, asociadas a zonas de altos niveles de humedad.
- \* Las observaciones con tormenta presentan máximos de ocurrencia hacia el norte de la provincia Pinar del Río y el interior de La Habana, Artemisa, Mayabeque y el oeste de Matanzas. En el resto de las provincias los valores crecen de norte a sur con máximos de ocurrencia en las zonas montañosas.
- \* Las “lluvias”, “chubascos” y “tormentas” en su conjunto son prominentes al norte de Pinar del Río y Artemisa y en el centro de Matanzas y Guantánamo en coincidencia con zonas de altos acumulados de lluvia.
- \* La ocurrencia del “relámpago” visible se destaca en el interior de Matanzas y en zonas montañosas.
- \* Las distribuciones espaciales del número promedio anual y por ciento de observaciones con determinado fenómeno son similares, cambiando en algunos puntos de categoría de ocurrencia, si existe más de una observación al día con el fenómeno.

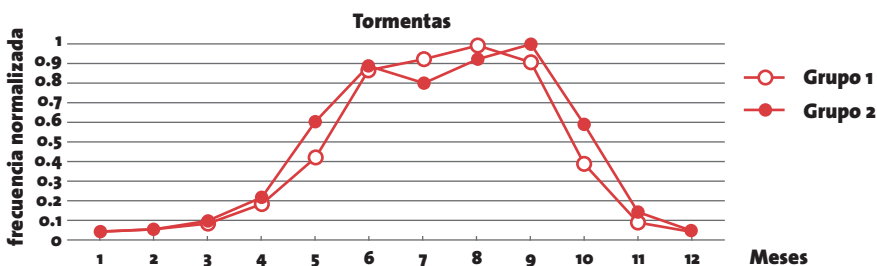
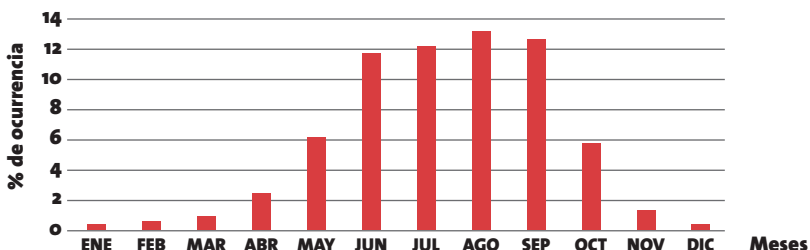
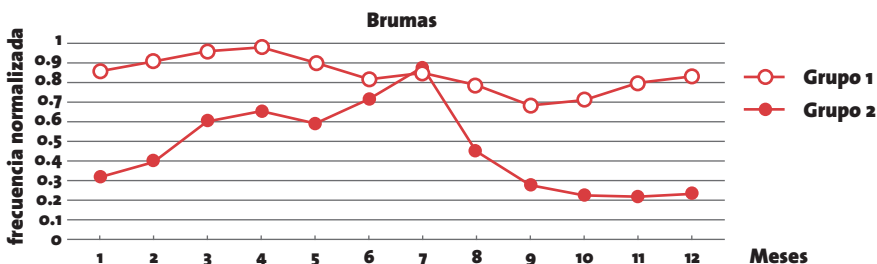
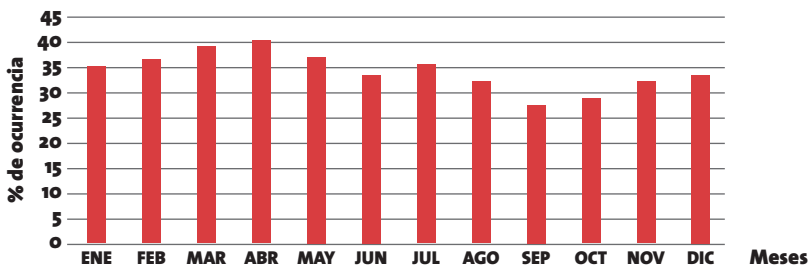


Figura 7. Marcha anual del por ciento de ocurrencia de observaciones para el conjunto de las 68 estaciones en estudio, en el periodo 1989 – 2010 y Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada para cada uno de grupos identificados en el análisis de cluster del valor medio de los terciles para grupos de meses. Los dos paneles superiores para el caso de las “brumas” y dos paneles inferiores para las “tormentas”.

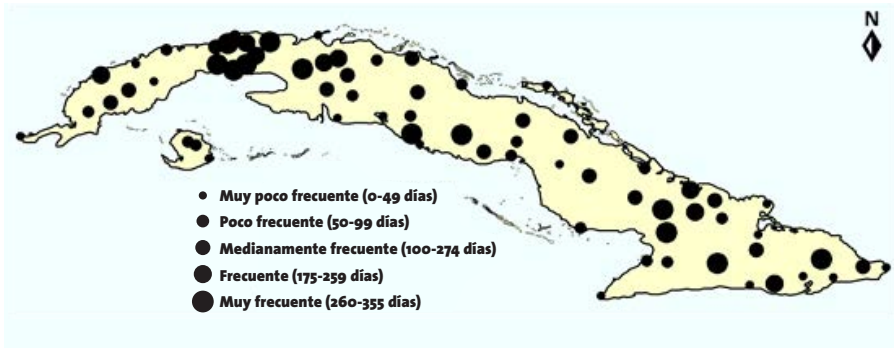


Figura 8. Distribución espacial por rangos del número de días promedio anual con “nieblas y neblinas” en su conjunto para Cuba.

## ► AGROMETEOROLOGÍA EN LAS PROVINCIAS

### ORDENAMIENTO AGROCLIMÁTICO

El ordenamiento territorial o zonificación de los sistemas de producción agrícola es una eficiente herramienta, que permite aumentar la productividad al ubicar los sistemas agrícolas en condiciones óptimas para su desarrollo. Al estudiar las potencialidades edafoclimáticas para el ordenamiento agrometeorológico de cultivos agrícolas en Ciego de Ávila, se obtuvo un mapa de suelo a escala 1/25000 que muestra la existencia de 22 tipos de suelos. Ello permitió identificar que la mayor área la ocupan los suelos del tipo ferralítico rojo con unas 142 800 ha que representan el 20,5% del territorio, localizando sus mayores extensiones en los municipios Ciego de Ávila y Venezuela.

En cuanto a las potencialidades climáticas de Ciego de Ávila, se logró caracterizar de forma general la presencia de condiciones favorables para el desarrollo de los cultivos agrícolas.

Las oscilaciones más representativas de las variables climáticas fueron:

\* La temperatura media anual fue de 25°C, con valores más bajos entre 21,6-21,9°C; temperatura máxima media de 31,1°C,

con índices que oscilan entre 27,8-28,2°C (más bajos) y 33,2-33,3°C (más elevados).

\* La precipitación presentó una media anual de 1 132 mm, con una fuerte depresión desde finales del 2014, hasta el 2016 que provocaron la manifestación de una intensa sequía.

\* La humedad relativa media anual osciló entre 69 y 84 %; la máxima entre 92 y 97 %, y la mínima entre 37 y 61%.

Se constató que **Ciego de Ávila** cuenta en la actualidad con un potencial acuifero de un volumen explotable de 872,300 hm<sup>3</sup>, sectorizada en 306 830 ha, distribuida en nueve municipios que satisfacen las demandas socioeconómicas en específico del sector agrícola.

Según balance del año 2017, la disponibilidad de agua es de 433,165 hm<sup>3</sup>, ante una demanda territorial de 438,925 hm<sup>3</sup>. Los municipios con mayor desventaja son Florencia y Majagua, con muy baja disponibilidad. No obstante, en todos los municipios de la provincia las demandas realizadas por los clientes son inferiores a la disponibilidad existente del acuífero, que identifican una óptima capacidad actual para la satisfacción de la explotación agrícola.

Se determinó que la potencialidad de agua para el abasto del desarrollo agrícola está estrechamente asociada con la distribución sectorial de este recurso. De acuerdo a las características hidrogeológicas, la distribución sectorial se caracteriza por poseer una cuenca norte: Morón, presenta una sectorización distribuida en los municipios Chambas, Morón, Bolivia, Primero de Enero, Ciro Redondo y Ciego de Ávila; y la cuenca Ciego, que aporta a Majagua, Ciego de Ávila, Venezuela y Baraguá. De esta forma se alcanza un total de superficie sectorizada de 306 830 ha. Además, se observa que Ciego de Ávila está beneficiado por las dos cuencas, la parte norte por Morón y la parte sur por la cuenca Ciego, mientras que Florencia muestra grandes desventajas debido a la carencia de superficie sectorizada situación que



limita su potencialidad acuífera con serias implicaciones para el desarrollo agrícola de no establecer una estrategia con alternativas de abasto de agua.

Por vez primera para Ciego de Ávila y para Cuba se obtuvo un compendio de 11 mapas temáticos, que señalan las áreas de mayor idoneidad en base a la integración de los factores suelos de categorías agroproductivas I y II; comportamiento de la temperatura media y disponibilidad de agua sectorizada para cultivar papa, plátano y banano, frijol, maíz, arroz, cítrico, mango, guayaba, piña, tabaco y caña de azúcar. Estos mapas constituyen una ventajosa herramienta para decisores, especialistas, técnicos y agricultores para el perfeccionamiento de la producción agroalimentaria, con aportes al desarrollo sostenible local y al Plan del Estado Cubano para el enfrentamiento al Cambio climático “Tarea Vida”.

Los mapas temáticos que integran el compendio poseen un amplio uso en la práctica productiva, pues señalan la distribución geográfica de las áreas de mayor idoneidad para cultivar cada una de las especies de cultivo analizadas. Dada las características de los factores involucrados como: suelo, clima y agua, y en dependencia de las alteraciones que estos puedan sufrir bajo los efectos del cambio y la variabilidad climática, así como de otros factores de origen antrópico como el mal manejo de los suelos y del agua; indican que el ordenamiento agroclimático puede cambiar en el tiempo, lo que apunta a la necesidad de un monitoreo consecuente y una actualización sistemática.

Adicionalmente, se establece un diseño estructural de gestión, a escala territorial, vinculado a las formas productivas estatales y privadas mediadas y dirigidas por el Órgano Superior de Dirección Empresarial y formas estatales de dirección del MINAG; que apoyadas con la administración del estado deben hacer uso del resultado obtenido y perfeccionar el proceso productivo de cada cultivo. Su factibilidad introductoria en la práctica agrícola descansa en tres aspectos fundamentales: capacitación de actores, asesorías técnicas y socialización.

## ► AGRICULTURA DE PEQUEÑA ESCALA

Las aplicaciones agrometeorológicas también se emplean en la agricultura familiar y de pequeña escala. Para Cuba, esta manera de producir se agrupa tanto en la variante urbana como sub-urbana, en los organopónicos, patios, jardines, huertos y parcelas y no incluye el uso de agro tóxicos. Los análisis llevados a cabo en áreas seleccionadas de las provincias de **Villa Clara, Cienfuegos y Santiago de Cuba** mostraron que la introducción de servicios especializados debe considerar que la fuerza laboral es mayoritariamente masculina con edades superiores a los 45 años.

La agricultura familiar de subsistencia, básicamente destinada al autoconsumo de los miembros de la familia, resulta muy expuesta a los fenómenos meteorológicos severos. Precisamente es allí donde el extensionismo juega un rol determinante en las estrategias a adoptar en el proceso productivo. Los productores agropecuarios mostraron preocupación por los efectos de la variabilidad climática, así como su repercusión en las labores agrícolas y en los rendimientos de los cultivos. Ellos manifestaron mantenerse informados, sobre la marcha del tiempo atmosférico a través de la radio en primer lugar, seguido de la televisión. De ahí que se diseñó un servicio agrometeorológico especial para la agricultura familiar.

Se confeccionaron bases de datos automatizadas y homogeneizadas con la información histórica de archivos sobre observaciones meteorológicas y agrícolas. Con estas bases se elaboró un sistema de información operativa de indicadores biológicos para la validación, verificación y ajuste de modelos. Igualmente se diseñó un programa de capacitación dirigido a campesinos, técnicos y especialistas de entidades agropecuarias del territorio comprendido en el radio de acción de las estaciones meteorológicas y áreas productivas seleccionadas.

El servicio operativo dirigido a la producción de la agricultura familiar y de pequeña escala, fue fruto de las experiencias de la vigilancia agrometeorológica del Instituto de Meteorología.

Mediante el servicio brindado, se estableció un flujo de información sistemático muy útil para la prevención de riesgos y disminución de daños entre los productores ante el impacto de eventos meteorológicos severos.

Un estudio en la provincia de **Las Tunas**, identificó que el clima típico de la provincia es de Sabana Tropical (Awa) con aparición frecuente en años con sequía de clima Estepario (BS), especialmente en la zona norte donde predomina el clima Seco y Subhúmedo seco. La aplicación de un servicio de información agrometeorológica en dicha provincia, demostró su importancia en la adopción de medidas por parte de los agricultores para contrarrestar los efectos negativos que tiene la variabilidad climática, especialmente en los impactos de la sequía y en los rendimientos agrícolas de diferentes cultivos en la provincia.

El 95% de los agricultores encuestado afirma que la información meteorológica es importante para su trabajo y que se mantienen informado del comportamiento del tiempo por la entrega del parte y por la radio de su municipio que los difunde en programas campesinos. El 100% destaca que utiliza la información agrometeorológica para planificar lo que hará en próximos días (siembra, cosecha, limpia, riego y aplicación productos); un 15% con fines legales y comerciales (por ejemplo, la tramitación o reclamación de pólizas de seguro, transportación de productos al mercado).

El análisis de la temperatura y las precipitaciones en el ciclo de los cultivos estudiados, corrobora la influencia de la variabilidad climática en los rendimientos agrícolas. Los eventos meteorológicos extremos influyen significativamente en el desarrollo de la producción agrícola en cualquiera de las fases del ciclo del cultivo, así como en su rendimiento final. Las afectaciones por sequía y lluvias intensas han provocado que durante los años 2012-2017 la Empresa de Seguros en la provincia Las Tunas haya indemnizado a productores agrícolas con más de 23 millones de pesos de los cuales el 83% corresponde a los eventos antes mencionados.

Otros logros de la Agrometeorología de Las Tunas son: elevación del rigor científico y el conocimiento sobre la importancia de la Agrometeorología en función de elevar los rendimientos agrícolas como medida de adaptabilidad a la variabilidad del clima en los agricultores; capacitación a los productores agrícolas sobre los beneficios de la aplicación de la Agrometeorología en el incremento de la producción de alimentos; ahorros de recursos materiales y financieros de los agricultores, evitando pérdidas económicas por las condiciones meteorológicas en la recogida y transporte de la cosecha; disminución de enfermedades en los cultivos; y ahorro de energía y combustible debido al menor uso de bombas y turbinas en los sistemas de riego y de maquinarias en la preparación de tierras.

## ACUICULTURA

Aunque no tan frecuentes; dentro de la meteorología agrícola, específicamente dentro de la biometeorología animal, se encuentran los estudios destinados a la acuicultura. Con el propósito de establecer las bases para la implementación de un nuevo servicio agrometeorológico dirigido a este sector, se tuvo en cuenta que los fenómenos meteorológicos con mayores impactos negativos son las lluvias intensas y la sequía. Los análisis en embalses seleccionados de las provincias de Villa Clara y Santiago de Cuba, mostraron que los rangos de la temperatura del agua resultaron adecuados para el desarrollo de cuatro especies comerciales: claria (*Claria gariepinus*), tilapia (Géneros *Oreochromys*), tenca (*Tinca tinca L.*) y carpa (*Cyprinus carpio L.*).

Se constató que la temperatura del agua tiene una asociación positiva tanto con la temperatura del aire (extremas y medias), como con el acumulado de precipitaciones. También se constató una correlación negativa entre la humedad relativa del aire (extremos y medios) y la velocidad del viento. Aun cuando los problemas presentes en la producción acuícola son de naturaleza multicausal, en una etapa primaria, el conocimiento de la marcha de las variables meteorológicas y la respuesta que pueden manifestar los peces, posibilita realizar mejor los planes de producción. En los elementos a considerar

en la información especializada están las afectaciones que provocan los fenómenos meteorológicos extremos. El diseño de los servicios debe hacerse lo más personalizado posible, dada la diversidad presente en los emplazamientos y particularidades de los reservorios de agua en Cuba. También se desarrollaron acciones de superación tanto para los especialistas del servicio meteorológico como del sector productivo.

## ► **SERVICIOS FUNDAMENTALES**

### **ALERTA TEMPRANA PARA LA SEQUÍA**

Para apoyar el Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía, se recopilaron en un Catálogo todos los servicios meteorológicos y climáticos que se brindan por el Instituto de Meteorología. La importancia del catálogo radica en que muestra los servicios potencialmente utilizables, por parte de autoridades gubernamentales, instituciones y usuarios involucrados en la implementación del Manejo Sostenible de Tierras.

Mediante la extensión de los servicios meteorológicos y climáticos en las áreas de intervención del Programa Mundial de Alimentos, se garantizó la entrega sistemática de los Boletines de la Vigilancia del Clima y de la Sequía Meteorológica y Agrícola, así como la información agroclimática, con frecuencia decenal y mensual a los sitios de intervención y sitios demostrativos por vía impresa, correo electrónico y correo nauta. En esta información se incorporaron importantes aspectos climáticos y agrometeorológicos especiales para el mejor planeamiento del recurso agua y el manejo sostenible de tierras.

En las áreas de intervención también se realizaron intercambios sistemáticos con los productores, con el objetivo de su capacitación en la utilización de la información meteorológica, climática y agrometeorológica, así como para entender mejor sus reales necesidades. Esta tarea se llevó a cabo mediante seminarios y conversatorios dirigidos a proporcionar los conocimientos básicos para la interpretación y manejo de la información técnica proporcionada y dar a conocer su utilidad.

Se fortaleció el Sistema de Alerta Temprana para la sequía, mediante la elaboración de un procedimiento de aviso de peligro. Este procedimiento está concebido para el trabajo operativo durante la configuración, desarrollo, permanencia y fin de un evento de sequía. Está dirigido a los tomadores de decisiones y su objetivo es establecer la organización y actuación de las instituciones involucradas de todos los componentes del sistema. Además, se logró: integrar los resultados del Sistema de Alerta Temprana, para mejorar la eficacia de las intervenciones antes, durante y después del impacto de estos eventos; señalar las zonas de mayor peligro asociados a sequía y huracanes donde pudiera ser afectada la producción local de los alimentos; e incrementar las capacidades para el manejo operacional de la sequía, combinando medidas de reducción de vulnerabilidades para garantizar la disminución de los riesgos.

## **INCENDIOS FORESTALES**

Los incendios forestales constituyen uno de los problemas más graves que amenazan los bosques y la vegetación en general en todo el mundo. Los incendios, en general, provocan verdaderas catástrofes ambientales, causan deforestación, pérdida de la flora y la fauna asociada al bosque, contaminación de las aguas, degradación de los suelos, deterioro de las condiciones ambientales en asentamientos humanos, contaminación atmosférica con perjuicio a la salud humana, a la aviación, al transporte, etc. han causado la muerte de seres humanos, provocan pérdidas económicas y a la infraestructura productiva.

Cuba es un país especialmente sensible a la ocurrencia de incendios, debido a sus características climatológicas y composición de su vegetación. Un gran número de estos siniestros ocurren cada año en áreas de bosques y pastizales, dejando tras sí una estela de daños en su valor y utilización, así como perjuicios importantes al medio ambiente la economía y la sociedad cubanas.

Durante el año 2003 como resultado de una acción de colaboración entre el Instituto de Meteorología de Cuba y el Ins-

tituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE) de Brasil se posesionó Cuba, dentro del sistema brasileño “*QUEIMADAS*” para la detección y vigilancia de incendios en la vegetación con satélites. A partir de entonces el territorio cubano no ha dejado de ser vigilado ni un día por varios satélites con el objetivo de detectar focos de calor activos y monitorea su evolución. Utilizando como base de información primaria los datos e informaciones que aporta “*Queimadas*” se implementó por el Centro de Meteorología Agrícola del Instituto de Meteorología el “*Sistemas de Avisos y Alerta Temprana de Incendios en Vegetación*” (SAATIN) con el objetivo de brindar servicios científico-técnico especializados sobre el tema en el país.

En esta etapa de la investigación se perfeccionaron los principales procesos automatizados del sistema mediante el desarrollo de varias tareas, entre las que se destacan:

- \* Implementación del acceso directo y permanente a los datos de focos detectados por satélites en “*Queimadas*”;
- \* generación y transmisión de la información para su visualización en Google Earth;
- \* transmisión de correos automáticos a los usuarios en tiempo cuasi real adjuntando los datos de los focos detectados en sus áreas de interés; y
- \* creación de una página Web de uso operativo para el manejo de datos de focos de calor y de usuarios del sistema.

Por otra parte, se desarrolló e implementó un sistema de trabajo metodológico homogéneo que permitió la realización de la gestión y análisis integrado de la información de incendios utilizando aplicaciones de los sistemas de información geográfico. Se recomienda, continuar perfeccionando y actualizando el SAATIN en la medida en que evolucionen nuevos sistemas computacionales, se incremente los usuarios o surjan nuevas necesidades de información.

## INCREMENTO ARTIFICIAL DE LA LLUVIA

Un servicio de gran aplicación práctica del Instituto de Meteorología desde la segunda mitad del siglo XX ha sido el que se inserta en el actualmente conocido como Programa de Incremento Artificial de la Lluvia (PIALL). Siempre ha resultado un tanto difícil la evaluación de la efectividad de la siembra de nubes, debido a la imposibilidad de conocer cómo pudieran haber evolucionado por sí solas esas nubes de no haberse sembrado. Un intento interesante para disminuir esta incertidumbre, se desarrolló en un proyecto del Programa de Meteorología en el año 2015, que utiliza un método objetivo para la evaluación de las campañas operativas de incremento de la lluvia.

Al aplicar el método objetivo destinado a la evaluación de la siembra de nubes para el incremento de la lluvia en Cuba, se tomaron los datos de radar para definir áreas nubosas circulares con 25 km de radio que son muestreadas desde el surgimiento hasta su disipación. Empleando un modelo unidimensional de nube cúmulo se calculan los topes máximos de las nubes sembradas y no sembradas. A partir de esta información se determina el índice de sembrabilidad y la distribución espacio-temporal sobre el territorio nacional. Se obtuvieron las zonas con mayores potencialidades para la realización de siembra de nubes que se sitúan preferiblemente en la región occidental de junio a agosto, aunque en el resto del país también existen altos niveles de sembrabilidad durante estos meses. El conocimiento de las potencialidades de siembra, así como su distribución espacio-temporal permiten la utilización efectiva de los recursos necesarios, incluyendo el avión laboratorio, para la realización de las campañas y experimentos de incremento de la lluvia.

En la investigación realizada, se evaluó la campaña operativa del año 2009 y las de los años 2006, 2007 y 2009 en conjunto. Para el año 2009 se obtuvo un incremento promedio por unidad sembrada de 5.9 millones de m<sup>3</sup> de lluvia. En la evaluación de los tres años en conjunto el incremento promedio por unidad sembrada fue de 6.3 millones de m<sup>3</sup> de lluvia. La marcha temporal conjunta de la intensidad de la lluvia en las unida-



des sembradas y de control, pone de manifiesto que los ciclos de desarrollo-disipación se comportan de modo similar para ambas, pero con una fuerte amplificación para las tratadas, brindando una evidencia excelente del efecto de siembra.

El método adoptado opera de forma totalmente objetiva como herramienta para la evaluación de las campañas de siembra de nubes de corta duración que no admiten esquemas aleatorizados. Se eleva la efectividad de las valoraciones al eliminar los sesgos que introduce la manipulación de los datos por parte del evaluador. El método puede aplicarse en todas las provincias de Cuba y en cualquier país que cuente con radares meteorológicos y que solicite el servicio de siembra de nubes para el incremento de la lluvia.

## **CALIDAD DEL AIRE**

### **► INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS**

Una meritoria contribución fue la elaboración del Inventario Nacional de Emisiones Atmosféricas de las Principales Fuentes Fijas tomando como año Base el 2016. Conocer las características de las emisiones atmosféricas por fuentes fijas es una valiosa herramienta para el manejo de la calidad del aire, la mitigación del cambio climático y la gestión ambiental.

Los resultados del Inventario Nacional de Emisiones de las principales Fuentes Fijas muestran la emisión a la atmósfera de más de 359 mil toneladas de  $\text{SO}_2$ . Mientras que para el  $\text{NO}_2$  se emiten alrededor 101 mil toneladas al año. Por otro lado, el  $\text{PM}_{10}$  y el  $\text{PM}_{2.5}$  potencialmente dañinos a la salud humana alcanzan más de 88 mil toneladas al año (Tabla 2). Las provincias que más emiten  $\text{SO}_2$  a la atmósfera son Holguín, Artemisa, Camagüey y Cienfuegos, ya que en ellas se encuentran potentes centrales termoeléctricas y refinerías.

Los municipios más emisores de contaminantes gaseosos ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{COVDM}$ ) son Moa, Mariel y Nuevitas. Por lo tanto, se deben mantener medidas de control y regulación ambiental

**TABLA 2. EMISIONES DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PRINCIPALES POR PROVINCIAS DURANTE EL 2016, EN TONELADAS AL AÑO.**

Provincia	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	CO	COVDM
PRI	214,4	2 691,1	103,3	39,7	306,4	7,8
ART	7 629,0	69 403,3	2 455,9	1 843,3	2 835,6	70,8
LH	12 264,6	29 087,9	2 435,4	1 277,1	7 609,5	161,4
MAY	4 270,1	5 815,3	1 7594,7	1 0464,0	465,7	22,9
MAT	5 413,7	21 799,6	2 022,9	1 357,0	556,9	22,2
VCL	4 232,1	6 710,8	5 034,9	2 357,7	4 062,5	6,3
CFO	31 462,6	39 522,6	4 099,9	3 336,2	1 558,5	127,7
SS	747,0	3 511,3	2 031,8	1 136,6	36,7	1,8
CA	5 007,1	6 493,6	2 734,8	1 223,5	2 330,5	4,3
CAM	8 239,4	44 293,1	3 498,8	1 506,7	583,1	46,4
LTU	4 270,6	6 372,3	4 178,0	2 729,5	1 328,6	24,3
HOL	13 639,0	110 167,8	4 259,0	3 243,6	7 663,0	1 883,8
GRM	662,4	643,2	1 888,5	1 072,8	73,8	24,2
SC	3 038,0	11 502,1	1 970,6	1 145,6	569,0	34,4
GTMO	69,1	102,3	463,7	259,4	3,2	0,3
IJ	744,2	1 000,8	200,7	97,207	841,1	1,1
<b>Total</b>	<b>101 903,2</b>	<b>359 117,0</b>	<b>54 972,7</b>	<b>33 089,9</b>	<b>30 824,1</b>	<b>2 439,6</b>

Nota: código de provincias según la ONEI.

para disminuir las emisiones, además de implementar planes de reducción de emisiones con mejoras tecnológicas.

Mediante la modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos, realizada en las principales ciudades de Cuba se logró conocer, cómo varía en el tiempo y el espacio la concentración de una sustancia contaminante. Ello constituye una herramienta muy útil en las decisiones ambientales, en el desarrollo local y en la planificación con sentido de sostenibilidad. Se modeló la dispersión de los contaminantes en los plazos horarios, diarios y anuales, tomando en cuenta las concentraciones máximas admisibles (Cma) de los contaminantes estudiados para identificar el índice de calidad del aire de forma espacial y temporal tomando como base el año 2016. También se pudo establecer de forma experimental un

pronóstico de hasta 72 horas de la dispersión de los contaminantes estudiados en tres ciudades del país, disponible en la página web del SPNOA.

Los inventarios de emisiones, la modelación de la dispersión de los contaminantes principales y el pronóstico experimental de la calidad del aire, son una valiosa contribución a la gestión de la calidad del aire. Estos nuevos conocimientos permiten estudiar el posible impacto potencial de la contaminación atmosférica sobre la salud humana. También pueden ser utilizados por las autoridades empresariales y ambientales para la aplicación de medidas de reducción de contaminantes.

### ► **EMISIONES BIOGÉNICAS**

Las plantaciones de cítricos ocupan considerables superficies, principalmente en la región occidental de Cuba, donde las mayores zonas están en Jagüey Grande, provincia de Matanzas, y en Ceiba, provincia de Mayabeque. Sus emisiones biogénicas pudieran interactuar con otros componentes y jugar un importante papel en la química de la atmósfera de dicha región.

Con el objetivo de estimar las emisiones biogénicas y su evaluación espacio-temporal en las principales plantaciones de cítricos de la región occidental de Cuba (Jagüey Grande y Ceiba), fue utilizado el modelo GloBEIS (Global Biosphere Emission and Interaction System), desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental y el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas de los Estados Unidos. Este modelo calcula con bastante precisión las emisiones biogénicas de los Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos (COVBs, por sus siglas en inglés), monóxido de carbono y monóxido de nitrógeno del suelo. Como datos de entrada al modelo fueron determinados el índice de área foliar (LAI, por sus siglas en inglés) y la radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés), a partir de la radiación solar incidente y la nubosidad para las áreas de estudio, entre otras variables ambientales. El índice de área foliar constituye un indicador eficaz de la actividad fotosintética con una influencia bien marcada sobre las emisiones.

Las plantas emiten cantidades elevadas de terpenos en presencia de la luz y la temperatura, así como en situaciones de contaminación atmosférica y de sequía moderada. Por sus características inflamables también contribuyen a aumentar el riesgo de incendios. Una parte considerable de los COVBs, lo constituyen los terpenos volátiles, hidrocarburos formados por unidades básicas de cinco átomos de carbono. A escala mundial, el 90 por ciento, de los compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera son de origen biológico, sobre todo de plantas vivas.

Al ejecutar el modelo GloBEIS fue necesario el conocimiento del uso del suelo, así como las características topográficas y geográficas del terreno. Las corridas del modelo GloBEIS se realizaron puntualmente para las dos zonas citrícolas existentes en la región occidental, considerando los valores del índice de área foliar por defecto para las plantaciones citrícolas que contiene el modelo y los valores obtenidos por los trabajos desarrollados en Cuba. También fue imprescindible contar con los datos climatológicos de estaciones de referencia cercanas y de uso del suelo.

El modelo Globeis calcula las emisiones biogénicas de isopreno, monoterpenos totales, otros compuestos orgánicos volátiles (OCOV), así como las emisiones de los suelos de monóxido de nitrógeno.

Las emisiones biogénicas estimadas para el año 2015, en las plantaciones citrícolas de Jagüey Grande y Ceiba, estuvieron en el orden de las 2654.1 toneladas, correspondiendo casi en su totalidad a las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos (99.1%). ya que las emisiones de monóxido de nitrógeno fueron muy pequeñas.

Del total de emisiones de compuestos orgánicos volátiles, las emisiones de monoterpenos totales constituyeron el (40.45%) mientras que de otros Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos (59.53%), y las emisiones de isoprenos (0.02%) muy escasa en este caso. Esto se debe a que las diferentes especies

de cítricos no son una fuente considerable de isopreno porque su producción y emisión depende directamente del metabolismo fotosintético de las reservas de las hojas.

En el caso particular del monóxido de nitrógeno (NO), las emisiones muestran un aumento sostenido a partir de abril alcanzando los máximos valores en julio y agosto, coincidiendo con los meses de mayor temperatura tanto del aire como del suelo (Figura 9). La similitud de los tipos de suelos, en conjunto con la diferencia poco significativa de la temperatura del aire (no se dispone de datos de temperatura del suelo), condiciona que la extensión del área sembrada sea la variable determinante en las emisiones. Este fenómeno se debe a que la acción bacteriológica aumenta con el aumento de la temperatura.

Las emisiones diarias de NO van desde 0.7 kg a 1.3 kg en Ceiba y desde 1.5 kg a 2.4 kg en Jagüey y las anuales son en Ceiba 8.3 kg y en Jagüey Grande de 16.2kg, justificándose la mayor emisión de NO en Jagüey, únicamente por la mayor extensión de la plantación.

Los métodos de estimación de la radiación PAR, utilizados en esta investigación, son un referente nacional al poderse

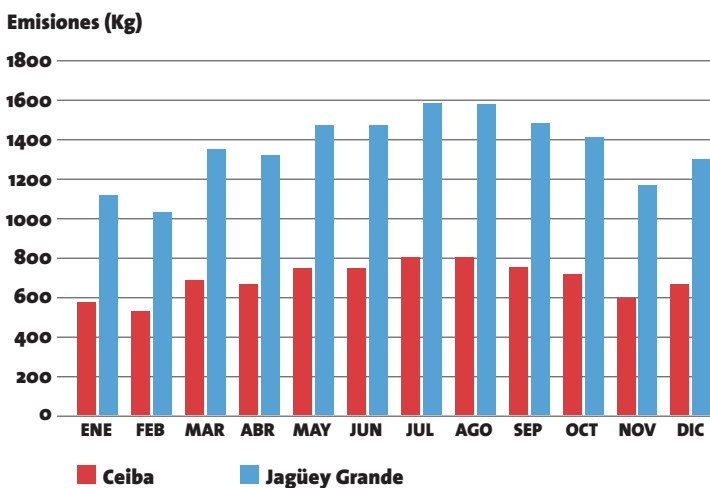


Figura 9. Emisiones mensuales de monóxido de nitrógeno en Ceiba y Jagüey Grande.

aplicar en cualquier área agrícola o forestal de Cuba. La estimación de emisiones naturales, y en particular las de origen biológico, constituye una valiosa contribución a la gestión de la calidad del aire.

## ► AEROSOLIOS ATMOSFÉRICOS

Los aerosoles atmosféricos juegan un importante rol en el sistema climático modificando el balance energético de este a través del forzamiento radiativo atmosférico. Los aerosoles afectan el clima al interactuar con la radiación solar a través de dos efectos fundamentales: directos e indirectos. En el caso del primero, atenuando la radiación solar mediante los procesos de absorción y dispersión y en el caso indirecto, al actuar como núcleos de condensación de las nubes, modificando así las propiedades ópticas de éstas. El mejor conocimiento de los efectos directos, de interacción de los aerosoles atmosféricos con la radiación solar, es un factor de vital importancia dado que pequeñas variaciones del forzamiento radiativo directo pueden provocar cambios que van desde, efectos de enfriamiento, hasta efectos de calentamiento.

Teniendo en cuenta la importancia que reviste el estudio de estos componentes de la atmósfera, se han realizado varios estudios acerca de las propiedades ópticas y microfísicas de los mismos, con especial hincapié en el Espesor Óptico de Aerosoles (EOA), como medida adimensional de la carga de aerosoles presente en la atmósfera.

Debido a la gran dependencia del EOA con la longitud de onda ( $\lambda$ ), varios equipos que emplean filtros centrados en varias longitudes son utilizados. Uno de estos es el fotómetro solar diseñado y construido por la empresa francesa *CIMEL Electronique*. La red robótica para la medición de aerosoles (AERONET) está compuesta por un número grande de equipos de este tipo, con altos estándares de calidad y homogeneidad del dato debido a los estrictos protocolos de calibración y operación. Un fotómetro de este tipo se encuentra operativo en Camagüey desde 2008 gracias al Convenio Marco de Colaboración entre la Uni-

versidad de Valladolid en España y el Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET). Este equipo contribuye a la Red Ibérica de Medición de Aerosoles (RIMA) y a la vez a AERONET.

Teniendo en cuenta el periodo en el que se encuentra operando el fotómetro solar en Camagüey, único de este tipo instalado en el país, se han empleado también otras fuentes de datos para la caracterización del EOA en Cuba. A partir de las medidas de banda ancha de la estación actinométrica de Camagüey y para condiciones de cielo despejado, se obtuvo la serie de 33 años (1981-2013) del EOA de banda ancha (EOABA). Para el análisis se excluyeron los periodos de influencia de las dos erupciones volcánicas de mayor impacto en la atmósfera en el siglo XX (El Chichón y el Pinatubo) con el fin de determinar la línea base del EOABA para la estación. Los mayores valores de EOABA se hallaron en los meses de verano (JJA), con valores medios por encima de 0.15 (Figura 10).

Los resultados obtenidos en la estación Camagüey, fueron extendidos a las estaciones actinométricas de Topes de Collantes, Jovellanos y La Fe. Estas estaciones forman parte del Servicio de Diagnóstico de Radiación Solar para Cuba (SDRS,

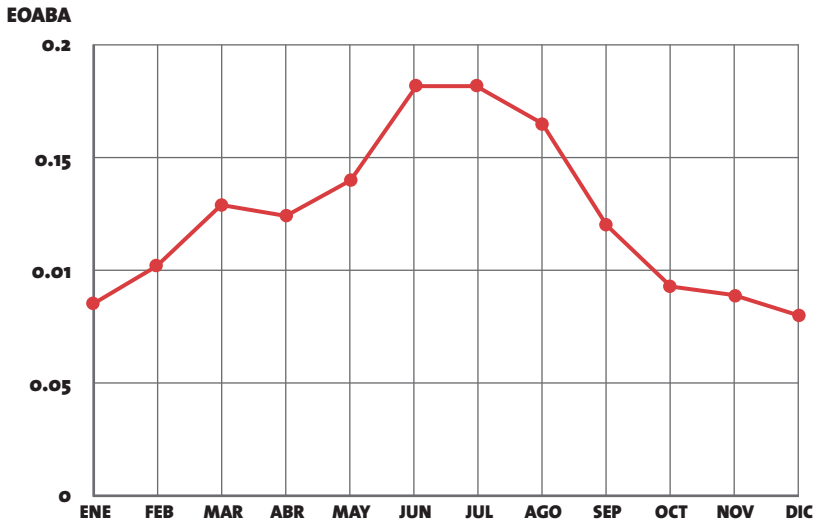


Figura 10. Medias mensuales del EOABA para Camagüey en el periodo 1981-2013.

*www.goac.cu/actino*) operativo desde el 2010 por el Grupo de Óptica Atmosférica de Camagüey (GOAC). Finalmente, a partir de los resultados que se obtuvieron en las restantes estaciones, en 2015 quedó operativo el Servicio de Espesor Óptico para Cuba (SEOC, *www.goac.cu/seoc*), único de su tipo en el país, el cual se nutre de forma automática del SDRS y contribuye en tiempo casi real al diagnóstico de la cantidad de aerosoles presentes en la atmósfera.

Con los datos de fotometría solar que desde el 2008 son medidos en Camagüey, se obtuvo la caracterización mensual y estacional del EOA para las 8 longitudes de onda del equipo (340, 380, 440, 500, 675, 870, 1020 y 1640 nm), además del parámetro o exponente de Angstrom (AE) en los cinco rangos de longitudes de onda (440-870, 380-500, 440-675, 500-870 y 340-440 nm). Este último parámetro es empleado como medida del tamaño de partícula. También, empleando la clasificación que se muestra en la Tabla 3 se identificaron los tipos de aerosol presentes en el sitio y se analizó la frecuencia para cada caso.

**TABLA 3. CLASIFICACIÓN EMPLEADA POR TIPO DE AEROSOL.**

Tipo	EOA <sub>440</sub>	AE <sub>440-870</sub>
Marino (MR)	≤ 0.18	≤ 1.05
Continental (CN)	≤ 0.18	> 1.05
Quema de biomasa (QB)	> 0.35	> 1.50
Contaminación (CO)	> 0.18 y ≤ 0.35	> 1.50
Polvo desértico (PO)	> 0.18	≤ 1.00
Desértico Mezclado (DM)	> 0.18	> 1.00 y ≤ 1.50

La media para todo el periodo del EOA<sub>500</sub> es de 0.15 (±0.05) y del AE<sub>440-870</sub> es de 0.81 (±0.21) con la mayor cantidad de valores diarios de EOA<sub>500</sub> entre 0.05 y 0.20. Esta distribución de frecuencia es similar a la hallada con anterioridad para el EOABA.

Las medias diarias en todas las longitudes de onda muestran un marcado ciclo anual a lo largo de todo el periodo de estudio, con picos en los meses de verano y mínimos en los de invierno.



Las medias mensuales en 500 nm corroboran lo anterior, con un máximo en el mes de Julio de 0.24 ( $\pm 0.12$ ) y un mínimo en Noviembre de 0.10 ( $\pm 0.03$ ).

Tal y como se aprecia en la Figura 11, el aerosol de tipo marino es el más frecuente sobre la estación seguido del tipo desértico y continental. El menos común es el producto de la quema de biomasa, con apenas el 0.5% de los días computados.

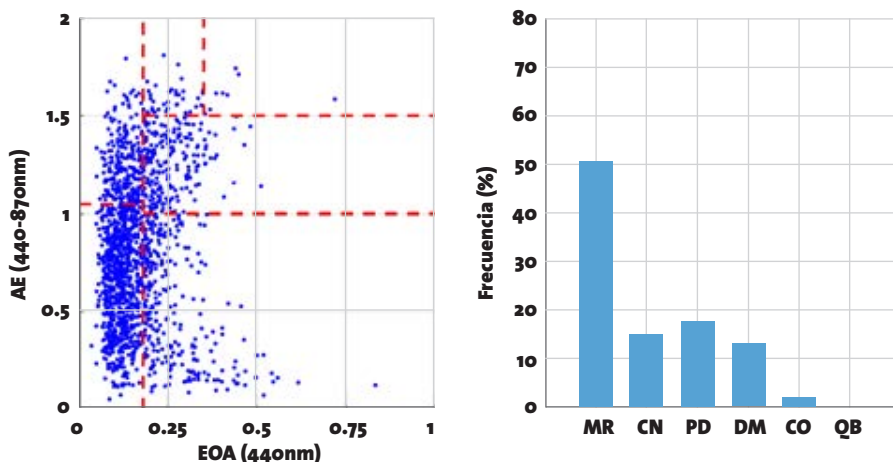


Figura 11. Diagrama de dispersión con la clasificación usada (izquierda) y frecuencia de ocurrencia por tipo de aerosol en Camagüey.

Los picos mostrados en los meses de verano son producto de una marcada presencia de aerosol desértico, con más del 50% de los días (Figura 12). Los máximos hallados en los meses de verano se corresponden con los resultados obtenidos para el EOABA.

El área de estudio tiene poca afectación de aerosoles producto de la contaminación, con poco más del 2% de los días con esta característica lo que se debe a la ubicación del sitio del fotómetro (alrededor de 8 km del centro de la ciudad)

Otra de las fuentes de datos empleadas globalmente para la caracterización óptica de los aerosoles atmosféricos es la generada por satélites. Los sensores gemelos denominados Espec-

trorradiómetro de Resolución Moderada (MODIS, por sus siglas en inglés) fueron montados a bordo de los satélites Terra y Aqua, los que fueron lanzados en 1999 y 2002 respectivamente. Ambos satélites producen una cobertura casi completa del planeta y son una fuente importante de información al respecto.

Previamente a cualquier uso de datos de satélite, se impone la comparación con datos en tierra para obtener la correlación

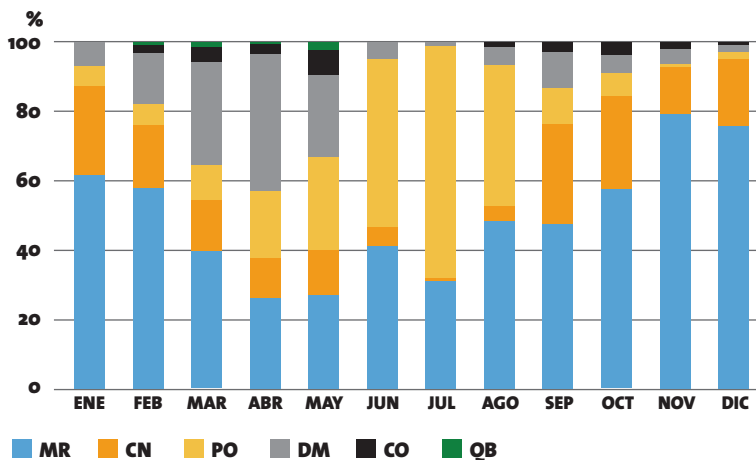


Figura 12. Frecuencia de tipo de aerosol por meses en Camagüey.

necesaria de los datos satelitales. En el caso del EOA, los datos de MODIS han sido validados ampliamente con datos de fotometría solar, mayormente con equipos vinculados a AERONET. Es por ello que se realizó la comparación entre el EOA de MODIS con el medido por fotometría solar (EOA<sub>500</sub> llevado a 550 nm con el empleo del AE) y el EOABA que se obtiene de las mediciones actinométricas en Camagüey. Para ello se delimitaron los rangos de 0-25, 25-50, 50-75 y 75-100 km de distancia de la instalación del fotómetro de Camagüey, empleándose los datos del nivel L2 de MODIS. Para todos los casos se obtuvo el Error Medio Cuadrático (RMSE) y el Sesgo (BIAS).

Los mejores resultados se obtuvieron para los rangos de distancia de 0 km a 25 km (R<sub>1</sub>) y de 25 km a 50 km (R<sub>2</sub>) respecto a la

estación donde está instalado el fotómetro solar. El RMSE para los datos combinados de ambos satélites fue de 0.0668 (R1) y de 0.0762 (R2) el mismo orden de magnitud superior a la del error (0.02 unidades de EOA) de medición del EOA por el fotómetro solar, el menor entre los tres instrumentos que se han comparado en el presente estudio. Sin embargo, estos valores del RMSE son un 230 y un 280 % superiores al error del fotómetro solar.

La comparación realizada empleando los valores medios del EOA tanto de MODIS como de AERONET muestra resultados algo mejores, aunque en el mismo orden de magnitud. El RMSE para la combinación de los dos satélites resultó ser de 0.0609 (R1) y 0.0657 (R2), un 200 % y 220 % superiores al del fotómetro solar.

Teniendo en cuenta la comparación realizada con anterioridad, se emplearon los datos derivados del nivel L2 de MODIS, para obtener la climatología del EOA<sub>550</sub> para todo el país. Para ello se empleó una rejilla rectangular de 1° de longitud x 0.5° de latitud con el objetivo de contar con un mayor número de datos para cada celda.

El promedio de EOA<sub>550</sub> para todo el país para ambos satélites combinados es de 0.169 (Tabla 4). Aunque no existe diferencias significativas entre los promedios de ambos satélites, con Terra se obtuvo una media superior que con Aqua.

**TABLA 4. ESTADÍGRAFOS GENERALES DEL EOA<sub>550</sub> DERIVADOS DE MODIS PARA CUBA.**

	<b>Terra</b>	<b>Aqua</b>	<b>Combinado</b>
Promedio	0.174	0.163	0.169
Desv. est	0.026	0.019	0.023
Máximo	0.262	0.214	0.262

Otro aspecto importante para la caracterización de los aerosoles atmosféricos sobre Cuba es el estudio de las zonas de procedencia de los mismos. Con el uso del modelo de Trayectoria Integrada Lagrangiana Híbrida de Partícula Única (HYSPLIT, <http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) fueron obtenidas

las retro trayectorias medias de las 5 estaciones actinométricas del país para el periodo 2001-2015. Para ello se obtuvieron primero las retro trayectorias diarias de cada estación y luego se procesaron a través de un análisis de clúster.

Los trazados medios a diferentes escalas temporales muestran un predominio de retro trayectorias orientadas hacia la región del atlántico, al este de Cuba. Los clústeres medios anuales mostraron un agrupamiento en zonas específicas de procedencia de las masas de aire que arriban al país, desde la región del atlántico y desde la parte continental de Norteamérica. Como ejemplo, en la Figura 13 se muestran las retro trayectorias para la estación de Camagüey. Asimismo, el análisis de las retro trayectorias medias por períodos del año indica un predominio hacia una u otra región en dependencia del período analizado (mayor contribución de la región atlántica en el período lluvioso y mayor contribución de la región de Norteamérica en el período poco lluvioso).

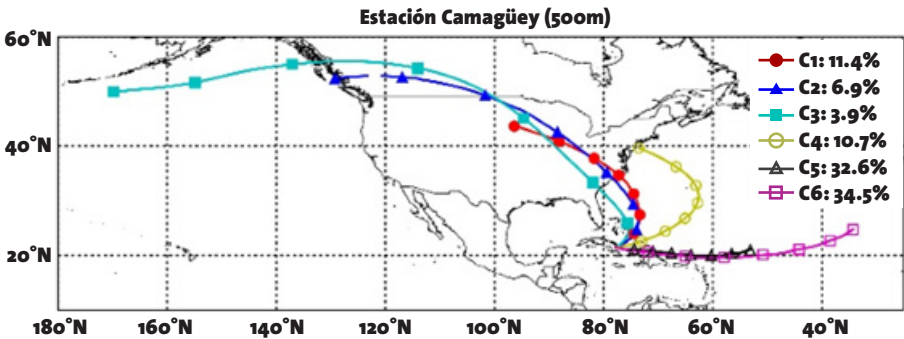


Figura 13. Retro trayectorias medias (6 clústeres) para la estación de Camagüey.

Aún más concentradas se muestran las retro trayectorias hacia una determinada región en los trimestres diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto. En el primero con un predominio de las mismas hacia la región de Norteamérica, aunque con la presencia de algunas retro trayectorias hacia el atlántico y en el segundo período con el agrupamiento de las retro trayectorias hacia el atlántico. Los trimestres marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre se comportan como meses de

tránsito entre una condición y otra. Los resultados derivados de las zonas de procedencia y las retrotrayectorias obtenidas constituyen evidencia de que el incremento del EOA en los meses de verano, de conjunto con el incremento del polvo en la región, se debe al arribo de masas de aire provenientes de los desiertos en África.

## ► GASES CONTAMINANTES Y RIESGOS PARA LA SALUD

El estudio de los gases contaminantes y la química de las precipitaciones sigue siendo una prioridad para la comprensión global de muchos temas ambientales contemporáneos, como por ejemplo: la contaminación del aire, la deposición ácida, la eutrofización de los ecosistemas, los ciclos biogeoquímicos y el cambio climático.

Logros importantes fue la caracterización de la composición química de la lluvia y los aspectos fundamentales del problema de la acidez en regiones de Cuba. En la mayor parte de las regiones las concentraciones de calcio contribuyen a neutralizar la acidez de las precipitaciones, lo cual evita la existencia de lluvias ácidas. La acidez libre de las lluvias sólo es evidente en áreas donde es mayor la influencia de las emisiones de los gases antropogénicos precursores probablemente debido a las fuentes locales y a las menores concentraciones de los compuestos neutralizantes, como ocurre en Pinares de Mayarí, Gran Piedra y Palo Seco (Figura 14).

Por primera vez se informó las concentraciones de los aniones orgánicos formiato y acetato y de los elementos traza Mn, Fe, Zn, Cu, Ba, Se, Pb, Ni y Co. El origen antrópico determinado para los elementos Zn, Se y Pb muestra la necesidad de introducir procesos de producción ambientalmente racionales por los riesgos de estas especies para la salud humana y los ecosistemas.

El análisis de las especies permitió determinar que las especies orgánicas acetato y formiato contribuyeron más a la acidez de la lluvia en las estaciones rurales que en las urbanas. De ahí que evitar la quema de biomasa constituye una de las

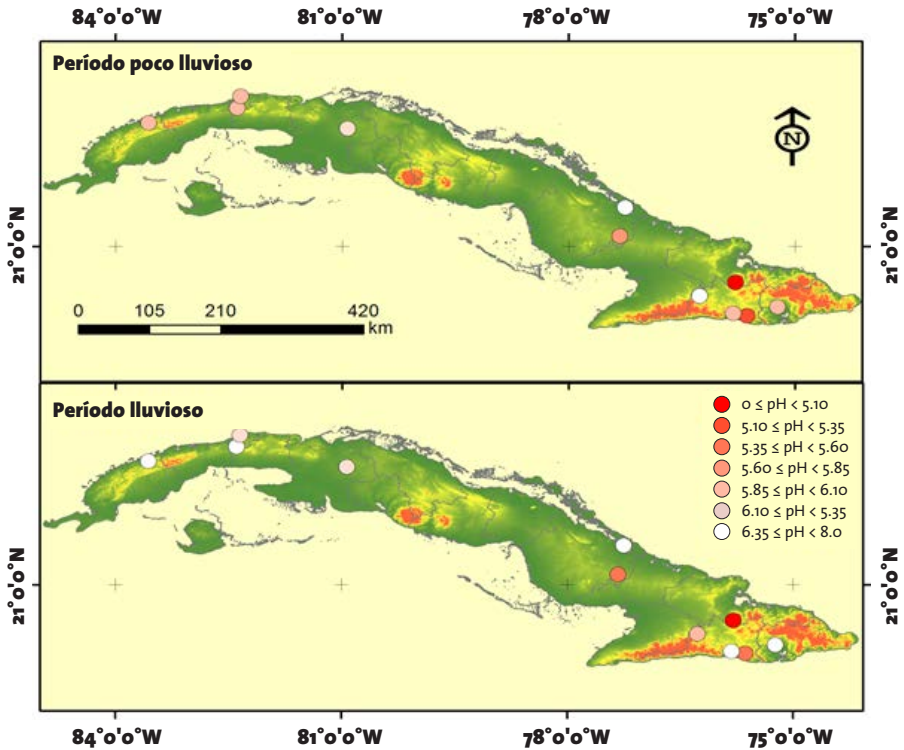


Figura 14. Valores promedio de pH ponderados por volumen para los períodos poco lluvioso (noviembre 2008-abril 2009, noviembre 2009-abril 2010) y lluvioso (mayo 2009-octubre 2009) en diferentes zonas de Cuba.

medidas prioritarias a implementar por los agricultores con la finalidad de prevenir las lluvias ácidas y sus efectos.

A nivel país, las fuentes antropogénicas de los macro componentes químicos de las precipitaciones más probables fueron la quema de combustibles fósiles en termoeléctricas, la industria del níquel, las fábricas de cemento y la quema de biomasa en terrenos cultivados con caña de azúcar.

Otro resultado importante fue el estudio de la composición química de la lluvia asociada a los tipos de situaciones sinópticas que afectan a Cuba y la influencia de las zonas de procedencia de las masas de aire. En la estación de Casablanca

existen evidencias de que las lluvias más contaminadas son las asociadas a las Zonas Frontales (TSS VII) y Anticiclones migratorios (TSS VIII); y por ende la atmósfera (Figura 15).

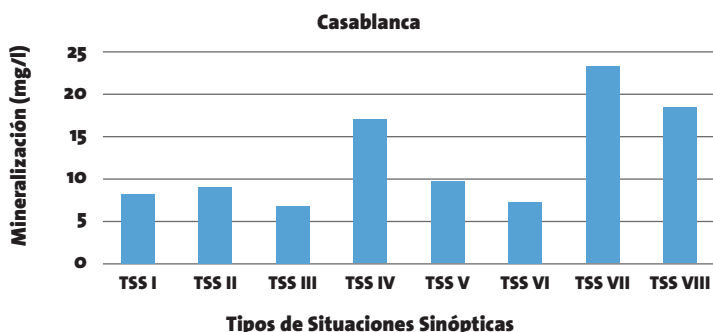


Figura 15. Valores de mineralización promedio en las situaciones sinópticas (TSS) que afectaron Casablanca durante el período 2010-2014.

Por otra parte se analizó la variación espacial de  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  en la cuenca de la bahía de La Habana durante el período diciembre 2013 - mayo 2014. Este resultado fue la base para la determinación del establecimiento de estaciones fijas automáticas en San Miguel del Padrón y en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas para el monitoreo permanente de la contaminación atmosférica en la cuenca de la bahía de La Habana.

Las precipitaciones juegan un papel preponderante en la remoción de los compuestos atmosféricos solubles, sobre todo en los países con clima húmedo. De esta forma, la química de las precipitaciones, constituye un valioso instrumento para la gestión de la calidad del aire, al estimar el grado de contaminación del aire, sobre todo en las estaciones del sistema de vigilancia donde no se realiza monitoreo de gases y aerosoles. Mediante la química de las precipitaciones también se pueden identificar las posibles fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos, así como evaluar la influencia de variables meteorológicas, tipos de situaciones sinópticas y zonas de procedencia de las masas de aire en los mecanismos de transporte de los contami-

nantes y en consecuencia ayuda a los tomadores de decisión a desarrollar planes y acciones dirigidos a mejorar la calidad del aire en Cuba.

En cuanto a los riesgos para la salud, la Organización Mundial de la Salud confirmó que la contaminación atmosférica constituye el riesgo ambiental para la salud más importante del mundo. En la actualidad, en Cuba son mínimos los datos de concentración de contaminantes en el aire (inmisiones). El conocimiento de estas inmisiones es una herramienta necesaria para la verificación de modelos de calidad del aire y efectividad de las medidas de gestión ambiental que se implementan.

De ahí la necesidad de medir las concentraciones de contaminantes atmosféricos en diferentes localidades urbanas y rurales de Cuba y a partir de ellas obtener una aproximación sobre los riesgos a la salud de la población y de la vegetación expuestos a dichas concentraciones. Para ello se utilizó una matriz multicriterio que tuvo en cuenta: condiciones meteorológicas, topografía local, calidad del aire, magnitudes de las emisiones de la fuente más cercana, distancia de los receptores a fuentes más cercanas, población o vegetación expuesta. Posteriormente se obtuvo un índice de riesgo para la salud y para la vegetación.

Las inmisiones de los contaminantes atmosféricos se obtuvieron mediante muestreo activo, pasivo y automático en estaciones del sistema de vigilancia de la contaminación atmosférica (SNVCA), el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM), las estaciones automáticas (EAMA) del InSTEC y San Miguel del Padrón (SMP), y sitios de La Habana.

Se determinó que el  $O_3$  constituye el contaminante que más afecta áreas de Cuba, mientras que el  $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$ , y los  $NO_2$  constituyen problemas en La Habana y el  $SO_2$  es un problema para sitios localizados bajo la influencia de fuentes fijas potentes con emisiones altas de este gas contaminante (termoelectricas, refinerías y fábricas de cemento). En las EAMA las



inmisiones máximas se alcanzaron en horarios de la mañana, con excepción del  $O_3$  que fueron en la tarde. Se corroboró el aporte de la contaminación transfronteriza del continente Norteamericano en la formación del  $O_3$ .

Las estaciones urbanas con mayor probabilidad de observar efectos adversos para la salud fueron las de SMP por exposición a  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $MP_{10}$  y  $MP_{2.5}$ ; Nuevitas por  $SO_2$ ; Casablanca y Universidad de Oriente por  $O_3$  (Tabla 5). Las estaciones rurales con mayor probabilidad de observar efectos adversos para la vegetación fueron Güira de Melena por exposición a  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ; y Bainoa y La Palma por  $O_3$  (Tabla 6).

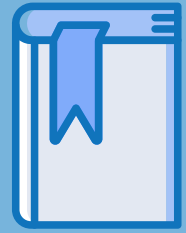
Por lo tanto se deben mantener medidas de control y regulación ambiental para mitigar las emisiones de estos contaminantes y/o sus precursores en dichas áreas. Además de implementar planes de reducción con mejoras tecnológicas. Los resultados obtenidos son de gran utilidad para las autoridades ambientales y de la salud para conocer desde un enfoque de riesgo, el estado de la calidad del aire y los potenciales efectos a los que se exponen los habitantes y la vegetación. También son de interés para las actividades de ordenamiento territorial.

**TABLA 5. JERARQUIZACIÓN DE LOS ÍNDICES DE RIESGOS PARA LA SALUD DE LA POBLACIÓN (IRsp).**

<b>Riesgo</b>	<b>IRspSO<sub>2</sub></b>	<b>IRspNO<sub>2</sub></b>	<b>IRspO<sub>3</sub></b>
Riesgo Alto	Nuevitas, SMP	SMP	SMP, Casablanca Univ. Oriente
Riesgo Medio	Univ. Oriente, INHEM	Univ. Oriente, INHEM	Nuevitas, Casablanca, Bayamo, INHEM, INSTEC
Riesgo Bajo	Casablanca, INSTEC, Bayamo, Manzanillo	Casablanca, Nuevitas, Manzanillo, Bayamo, INSTEC	Manzanillo

**TABLA 6. JERARQUIZACIÓN DE LOS ÍNDICES DE RIESGOS PARA LA VEGETACIÓN (IRv).**

<b>Riesgo</b>	<b>IRvSO<sub>2</sub></b>	<b>IRvNO<sub>2</sub></b>	<b>IRvO<sub>3</sub></b>
Riesgo Alto	Güira de Melena	Güira de Melena	Güira de Melena, Bainoa, La Palma
Riesgo Medio	Bainoa, La Palma	Veguitas, Bainoa, La Palma	-
Riesgo Bajo	C. Cienfuegos, Veguitas	C. Cienfuegos	Veguitas, C. Cienfuegos



# PUBLICACIONES

*Esta sección muestra el listado de las publicaciones, producto de la ejecución de los proyectos del Programa en el período 2015-2019.*

## PRONÓSTICO DEL TIEMPO Y METEOROLOGÍA MARINA

Almarales, D., M. Martín, y L. F. Córdova, 2018: Simulación de surgencia y oleaje para huracanes en la región oriental de Cuba. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(3), 67-81.

Calzada, A., R. Casals, y O. E. Pérez, 2015: La modelación numérica del oleaje y su introducción al análisis de respuestas ante derrames de hidrocarburos en el mar, *Revista Transporte Desarrollo y Medio Ambiente*, No. 2. (ISSN: 1025-4838).

Calzada, A., I. Delgado, C. Ramos, F. E. Pérez, D. Carracedo, A. Rodríguez, D. Reyes, D. Chang y J. Cabrales, 2018: Modelo de trayectoria para simular derrames de petróleo en el mar, XXVII Congreso Nacional y XII Internacional de Meteorología, Xalapa, México. <http://www.ommac.org/congreso2019/convocaommac2019.html>.

Calzada, A., I. Delgado, C. Ramos, F. E. Pérez, D. Reyes, D. Carracedo, A. Rodríguez, D. Chang y J. Cabrales, 2018: PETROMAR-3D, modelo cubano de trayectoria y destino de manchas de petróleo. Principales resultados y perspectivas, XI Congreso de Ciencias del Mar (MarCuba). ISBN: 978-959-300-137-3.

Calzada, A., K. Fernández, F. E. Pérez, D. Reyes, y D. Carracedo, 2016: Generación de mallas no estructuradas como herramienta en la modelación de procesos marinos, *Revista Cubana de Meteorología*, 21(2), 188-198.

Calzada, A., F. E. Pérez, D. Reyes, y R. Casals, 2015: Modelación de los derrames de petróleo mediante el empleo de PETROMAR; *Revista Cubana de Meteorología*, 21(2), 57-69.

Calzada, A., I. Delgado, C. Ramos, D. Reyes, y D. Carracedo, 2017: El modelo PETROMAR, nueva versión. *Memorias del IX Congreso Cubano de Meteorología*, La Habana, Cuba (ISBN: 978-959-7167-60-0).

- Calzada, A.E., F. Pérez, D. Reyes, A. Pérez y R. Casals, 2015: Empleo de modelos lagrangianos como herramientas a los servicios especializados. Memorias del VIII Congreso Cubano de Meteorología. La Habana, 1-4 diciembre 2015. ISBN: 978-959-7167-55-66.
- Calzada, A., F. Pérez, D. Reyes, A. Pérez y R. Casals, 2015: Evaluación de la eficiencia del modelo cubano de trayectoria de petróleo, PETROMAR-3D, a través de expediciones y softwares profesionales. X Congreso de Ciencias del Mar (MarCuba). La Habana, Cuba (en soporte digital). ISBN: 978-959-300-080-2.
- Carracedo, D., D. Reyes, A. Calzada, I. Delgado, C. Ramos y A. Rodríguez, 2018: Utilidad del modelo PETROMAR 3D para la selección oportuna de las técnicas de respuestas, XI Congreso de Ciencias del Mar (MarCuba). ISBN: 978-959-300-137-3.
- Cedeño, Y., 2015: Influencia de la Oscilación Ártica en la frecuencia de los frentes fríos que arriban a la región occidental de Cuba. Revista Cubana de Meteorología, 21(1).
- Cedeño, Y., 2015: Oscilación Ártica y las temperaturas en el occidente de Cuba, Revista Cubana de Meteorología, 21(2).
- Córdova, O. L., M. García y A. López, 2018: Cronología de las inundaciones costeras en la provincia de Ciego de Ávila. Período 1960-2017. Revista Cubana de Meteorología, 24, 136-145.
- Domínguez-Chovert, A., M. Sierra-Lorenzo, y N. Quintana-Rodríguez, 2015: Implementación de los procesos de selección adaptativa y reestructuración de rejillas en el modelo de pronóstico del tiempo ARPS. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 16(2), 201-215.
- Fabiao, A. W., I. Mitrani, and J. Cabrales, 2018: Possibilities of using the potential of ocean thermal energy in waters borders of Mozambique. Revista Cubana de Física, 35(1)

P-ISSN: 0253-9268, E-2224-7939, 24:31. Disponible en [http://www.revistacubanadefisica.org/index.php/rcf/issue/view/RCF\\_35n1\\_2018](http://www.revistacubanadefisica.org/index.php/rcf/issue/view/RCF_35n1_2018).

Ferrer, A. L., C. González, M. Sierra e I. Borrajero, 2017: Evaluación de la sensibilidad en la inicialización del modelo WRF-ARW empleado para pronosticar el comportamiento de la temporada invernal 2014-2015 sobre la región de Cuba. Memorias del IX Congreso de Meteorología. ISBN: 978-959-7167-60-0.

Hidalgo, A., e I. Mitrani, 2016: Variabilidad climática de las inundaciones costeras en el litoral Gibara-Playa Guardalavaca, provincia Holguín, Cuba. IV Congreso de Meteorología Tropical, Convención Trópico-2016. ISBN: 978-959-7167-59-4.

Hidalgo, A., e I. Mitrani, 2018: Metodología para el estudio de las inundaciones costeras en Cuba. Aplicación a la costa norte de la provincia Holguín. XI Congreso de Ciencias del Mar (MarCuba-2018). ISBN: 978-959-300-137-3.

Hidalgo, A., I. Mitrani y G. Pérez, 2017: Nueva clasificación de las inundaciones costeras en Cuba. Revista Cubana de Meteorología, 23, 209-216.

Hidalgo, A., I. Mitrani y G. Pérez, 2017: Cronología y Clasificación de las inundaciones costeras en Cuba. Memorias del IX Congreso Cubano de Meteorología. ISBN: 978-959-7167-60-0.

Hidalgo, A., I. Mitrani, y G. Pérez, 2018: Cronología y nueva clasificación de las inundaciones costeras en el archipiélago cubano. Resultados de su aplicación al paso de los huracanes Matthew e Irma. X Congreso Internacional sobre Desastres. ISBN: 978-959-21-1515-6.

Jústiz, A. C., y C. González, 2018: Patrones Sinópticos troposféricos asociados a los frentes fríos en el occidente de Cuba, Revista Cubana de Meteorología, 24(2), 159-174.

- Machado, A., y A. Hidalgo, 2018: Inundaciones costeras en la provincia de Villa Clara en los últimos 132 años. Análisis del huracán Irma. XI Congreso de Ciencias del Mar (MarCuba-2018). ISBN: 978-959-300-137-3.
- Mitrani, I., 2017: Los problemas del medio marino y costero. Memorias del Panel de la Sociedad Amigos del País “Estudios Prospectivos cubanos frente al Cambio Climático”. <http://www.seapcuba.cult.cu/wp-content/uploads/2017/>.
- Mitrani, I., J. Cabrales, A. Vichot, O. O. Díaz, y A. Bezanilla, 2018: Representación numérica de la salinidad y temperatura superficiales en aguas cubanas, con diversos modelos climáticos, Memorias del XI Congreso de Ciencias del Mar, MARCUBA-2018, La Habana, 15-19 octubre 2018, ISBN: 978-959-300-137-3.
- Mitrani, I., O. O. Díaz, A. Vichot, J. Cabrales, y A. Bezanilla, 2017: Parámetros oceanográficos en las aguas cubanas y posible evolución futura, (en soporte digital), Memorias del IX Congreso Cubano de Meteorología, La Habana, ISBN: 978-959-7167-60-0.
- Mitrani, I., O. O. Díaz, A. Vichot, J. Cabrales, e Y. Povea, 2017: Una valoración de los parámetros físicos del océano alrededor de Cuba, proyectados hacia el futuro. Memorias V Congreso de Cambio Climático de la XI Convención Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, ISBN: 978-959-300-127-4.
- Mitrani, I., O. O. Díaz, A. Vichot, I. Hernández, A. Hidalgo, E. García, J. A. Rodríguez, y J. Cabrales, 2018: Las inundaciones costeras y la estructura termohalina en aguas aledañas a Cuba. Memorias de la 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, La Habana, 26-30 noviembre 2018, ISBN: 978-959-261-585-4.
- Mitrani, I., I. Hernández, E. García, A. Hidalgo, O. O. Díaz, A. Vichot, A. Pérez, y J. A. Rodríguez, 2016: The coastal flood regime

around Cuba, the thermohaline structure influence and its climate tendencies. *Journal of Environment and Ecology Research*, 4(2). Disponible en <http://www.hrpub.org/journal/jour-archive.php?id=40&lid=844>, ISSN: 2331-6268.

Mitrani, I., I. Hernández, E. García, A. Hidalgo, O. O. Díaz, A. Vichot, A. Pérez, and J. A. Rodríguez, 2015: The coastal flood regime around Cuba, the thermohaline structure influence and its climate tendencies. *Memorias del I Coloquio Iberoamericano Diálogo de saberes y políticas de ciencia, tecnología e innovación con perspectiva de género, OWSD, Cuernavaca, Morelos, México*, 23-25 de Junio de 2015, Topico1.1 *Mujeres en Ciencias Físicas, Matemáticas y Ciencias de la Tierra* (en soporte digital).

Mitrani, I., I. Hernández, E. García, A. Hidalgo, O. O. Díaz, A. Vichot, A. Pérez, and J. A. Rodríguez, 2015: The coastal flood regime at the Havana city shore area, its climate tendencies and possibilities of its numerical prediction. *Memorias del Congreso Internacional de las Ciencias del Mar, MarCuba, COI, La Habana, Palacio de Convenciones*, 16-20 noviembre 2015 (en soporte digital) ISBN:978-959-300-080-2.

Mitrani, I., I. Hernández, E. García, A. Hidalgo, O. O. Díaz, A. Vichot, A. Pérez, y J. A. Rodríguez, 2015: Particularidades y tendencias de las inundaciones costeras en el malecón habanero; posibilidades de su predicción numérica al paso de huracanes. *Memorias del VIII Congreso Cubano de Meteorología, La Habana*, 1-4 diciembre 2015. ISBN: 978-959-7167-55-66.

Mitrani, I., A. Hidalgo, N. Hernández, B. Martínez, y C. Alvarez, 2015: Afectación por eventos severos en la zona costera del Municipio de Banes. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(2). Disponible en: <http://www.met.inf.cu/Link/Revistas.html>, ISSN:0864-151X.

Mitrani, I., A. Pérez, A. Vichot, Y. Alonso, and Y. González, 2018: Numerical forecast of weather and wind waves, using



WRF and WW3, on the Cuban Archipelago and comparison with MM5+WW3, *Revista de Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 19(1). Disponible en: <http://www.iga.cu/publicaciones/revista/ctye-volumen19-1.html>.

Mitrani, I., A. Pérez, J. Cabrales, Y. Povea, M. Hernández, y O. O. Díaz, 2019: Pronóstico de inundaciones costeras en Cuba por huracanes, utilizando una combinación de modelos numéricos. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(2). Disponible en <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/issue/view/47>.

Pérez, A., I. Mitrani, O. O. Díaz, C. Wettre, and L. R. Hole, 2019: A numerical prediction system combining ocean, waves and atmosphere models in the Inter-American Seas and Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(1). Disponible en <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/issue/view/46>.

Pila, E., y C. González, 2017: Caracterización de las bajas extra-tropicales en el occidente de Cuba, *Revista Cubana de Meteorología*, 23(1), 20-42.

Pila, E., y C. González, 2017: Patrones troposféricos asociados con la afectación de Bajas Extratropicales en el occidente de Cuba. *Memorias del IX Congreso de Meteorología*. ISBN: 978-959-7167-60-0.

Povea, Y., e I. Mitrani, 2016: Particularidades de las inundaciones costeras en la bahía de Mariel. *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*, Segunda época, 17(2). Disponible en <http://www.iga.cu/publicaciones/revista/ctye-17-2.html>. ISSN 1729-379, 130-144.

Ramos, C., A. Calzada, F. E. Pérez, I. Delgado, D. Carracedo, D. Reyes y A. Rodríguez, 2018: Implementación de un modelo numérico para la predicción del comportamiento de petróleo derramado en el lecho marino, XI Congreso de Ciencias del Mar (MarCuba). ISBN: 978-959-300-137-3.

- Reguera, V., y S. Barcia, 2019: Cronología de inundaciones costeras por penetración del mar, en la provincia Cienfuegos. *Revista Cubana de Meteorología*, 25, 278-289.
- Reyes, D., J. Cabrales, A. Calzada, D. Carracedo, A. Rodríguez, C. Ramos, e I. Delgado, 2018: Caracterización de los datos atmosféricos y oceánicos para generar corridas operativas ante un derrame de petróleo en el mar con el modelo de trayectoria PETROMAR-3D, XI Congreso de Ciencias del Mar (MarCuba). ISBN: 978-959-300-137-3.
- Rodríguez, A., A. Calzada, C. Ramos, D. Reyes, D. Carracedo, I. Pérez, 2018: Análisis estocástico para considerar posibles afectaciones costeras ante derrames de petróleo, XXVII Congreso Nacional de Meteorología, Xalapa, México. <http://www.ommac.org/congreso2019/convocaommac2019.html>.
- Rodríguez, A., A. Calzada, C. Ramos, I. Pérez, D. Reyes, D. Carracedo, F. E. Pérez, D. Chang y J. Cabrales, 2018: Análisis estocástico para considerar posibles afectaciones costeras ante derrames de petróleo, XI Congreso de Ciencias del Mar (MarCuba). ISBN: 978-959-300-137-3.
- Rodríguez-Genó, C. F., M. Sierra-Lorenzo, y A. L. Ferrer-Hernández, 2016: Modificación e implementación del método de evaluación espacial MODEMod para su uso operativo en Cuba. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 17(1), 18-31.
- Sabari-Martínez, E. E., y M. Sierra-Lorenzo, 2015: Simulación de un vórtice de velocidades barotrópicas mediante una técnica de refinamiento adaptativo. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(1), 18-30.
- Sierra-Lorenzo, M., I. Borrajero-Montejo, M. Hinojosa-Fernández, A. Roque-Carrasco, C. F. Rodríguez-Genó, L. Vázquez-Proveyer, y A. L. Ferrer-Hernández, 2016: Herramientas de detección, reporte evaluación para salidas de modelos de pronóstico numérico, *Revista Cubana de Meteorología*, 22(2), 150-163.

- Sierra-Lorenzo, M., A. M. León-Mecías, A. Domínguez-Chovert, y E. E. Martínez-Sabari, 2017: Mallas adaptativas usando wavelet para diferencias finitas en modelos de pronóstico numérico del tiempo. *Ciencias Matemáticas*, 31(2), 159-169.
- Sierra-Lorenzo, M., A. M. León-Macias, and L. Álvarez-Escudero, 2018: Solving shallow water equations by the sparse point representation method. *Revista Investigación Operacional*, 39(1), 54-66.
- Valderá, N., M. Ballester, y A. L. Sánchez, 2018: La persistencia como referencia en la estimación de la habilidad de las predicciones del tiempo a corto plazo. *Revista Cubana de Meteorología*, 24, 29-43.
- Vázquez-Proveyer, L., M. Sierra-Lorenzo, R. C. Cruz-Rodríguez, y A. Bezanilla-Morlot, 2017: Estudios de sensibilidad en la interacción numérica océano-atmósfera. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, enero-junio, 18(1), 59-70.

#### **CLIMA DE CUBA Y SUS APLICACIONES**

- Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, 2014: Análisis de la marcha interanual de fenómenos meteorológicos para las tres estaciones que triangulan la provincia de La Habana, Cuba. *Cienc. Tierra y Esp.*, 15(1), 12-22.
- Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, 2014: Análisis de la marcha interanual de la rapidez del viento en superficie en tres estaciones meteorológicas involucradas en el desarrollo eólico en Cuba. *ECOSOLAR*, 50, octubre-diciembre 2014, <http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/ecosolar/revista50.htm>, ISSN 1028 6004, RNPS 2220.
- Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, 2015: Actualización de los parámetros asociados a la ocurrencia de tormentas eléctricas en zonas de desarrollo eólico. *Memorias del VIII Congreso Cubano de Meteorología*, Hotel Habana Libre, La Habana, del 1 al 4 de diciembre del 2015, publicación elec-

trónica, ISBN 978-959-7167-55-6, METEOROLOGIA/PDF/Memorias.pdf, pp. 212-220.

Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, 2016: Climatología de fenómenos meteorológicos en La Habana. Memorias de la 18 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, CCIA 2016. Palacio de las Convenciones, La Habana, del 21 al 25 de noviembre de 2016, ISSN 978-959-261-533-5, Unidad: XVIII CONV/SIGEDI.pdf, pp. 422-428.

Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, 2016: Actualización de los parámetros asociados a la ocurrencia de tormentas en zonas de desarrollo eólico. Ingeniería Energética, 37, 3, 176-185, <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/481>.

Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, 2016: Caracterización de la marcha anual de fenómenos meteorológicos en Cuba, clasificados según el código de tiempo presente. Revista Cubana de Meteorología, 22(1), 3-28, <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2016/n1/01.pdf>.

Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, 2016: Estudio de la marcha diaria de fenómenos meteorológicos clasificados según el código de tiempo presente. <http://www.iga.cu/publicaciones/revista/ctye17no2-art3.html>. Cienc. Tierra y Esp., 17(2), 145-159.

Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero-Montejo, 2018: Distribución espacial de fenómenos meteorológicos en Cuba clasificados a partir del tiempo presente I. Revista Cubana de Meteorología, 24(1), 95-110, ISSN: 0864-151X, <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/262/302>.

Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero-Montejo, 2018: Distribución espacial de fenómenos meteorológicos en Cuba clasificados a partir del tiempo presente II. Revista Cubana de Meteorología, 24(1), 111-127, ISSN: 0864-151X, <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/263/303>.

- Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, 2018: Distribución espacial de los fenómenos tormentas eléctricas y relámpagos en Cuba clasificados según el código de estado de tiempo presente. Memorias de la Convención Internacional CUBAINdustria 2018, Palacio de la Convenciones, La Habana, Cuba, del 18 al 22 de junio del 2018. ISSN 1607-6281, F:\Cuba-Industria 2018\Data\RECLIEN.pdf, pp 135-145.
- Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, 2018: Índice de afectación por fenómenos meteorológicos a instalaciones energéticas. Memorias de la 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, Palacio de la Convenciones, La Habana, Cuba, del 26 al 30 de noviembre del 2018. ISSN 978-959-261-585-4, 19CCIA2018/PDF/CITREI.pdf, pp 124-31.
- Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, R. Álvarez, 2015: Estudio de la marcha anual de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas. <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2015/n2/01.pdf>. Revista Cubana de Meteorología, 21(2), 3-15,
- Álvarez, L., I. Borrajero, R. Álvarez, L. Aenlle, M. Barcenás, 2014: Actualización de la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba. Memorias de la 17 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, Palacio de Convenciones de La Habana, del 24 al 28 de noviembre del 2014, [17CONVINGARQ (Unidad:)/PDF/CIIED.pdf pp. 168-180], ISBN 978-959-261-467-3.
- Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, M. Barcenás, 2014: Análisis de la calidad de series largas de registros de código de estado del tiempo presente para las estaciones de Cuba. Revista Cubana de Meteorología, 20(1), 3-9, <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n1/1.pdf>.
- Álvarez-Escudero, L., I. Borrajero, M. Barcenás, 2014: Análisis de la marcha interanual de fenómenos determinados por el código de tiempo presente para las estaciones de Cuba. Revista Cubana de Meteorología, 20(2), 56-69,

<http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revisiones/2014/n2/6.pdf>.

Álvarez-Escudero, L., Y. González-Mayor, I. Borrajero, A. Bezani-lla, 2015: Experiencia de un pronóstico climático a largo plazo con el modelo WRF para el territorio cubano. Memorias del VIII Congreso Cubano de Meteorología, Hotel Habana Libre, La Habana, del 1 al 4 de diciembre del 2015, publicación electrónica, ISBN 978-959-7167-55-6, METEOROLOGIA/PDF/Memorias.pdf, pp. 776-0791.

Barcia, S., Y. Castro, E. Caballero, R. Angulo, R. Cordero, R. Delgado, E. Viera, 2017: Estudio preliminar de la isla de calor estival de la ciudad de Cienfuegos y su relación con la forma urbana. Revista Cubana de Meteorología, 23(3), ISSN: 0864-151X, pp. 276-289.

Barcia, S., E. Caballero, R. Angulo, R. Cordero, R. Delgado, E. Viera, 2017: Microclima urbano de la ciudad de Cienfuegos y su interrelación con el diseño y el planeamiento urbano. Memorias del IX Congreso Cubano de Meteorología. ISBN: 978-959-7167-60-0.

Barcia, S., y colectivo de autores, 2018: Microclima urbano de la ciudad de Cienfuegos y su interrelación con el diseño y el planeamiento urbano. Memorias de la XVI Convención Internacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo. OTU 2018. ISBN: 978-959-7167-63-1.

Benavides, A., Y. Castro, y colectivo de autores, 2018: Microclima urbano y su interrelación con el planeamiento y el diseño urbano. Caso de estudio Santa Clara. Memorias de la XVI Convención Internacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo 2018. ISBN: 978-959-7167-63-1.

Castro-Conrado, Y., E. Fernández-Figueroa, A. Álvarez-López, 2017: Morfología urbana y microclima térmico para la rehabilitación urbana. Memorias del XI Simposio Internacional Desafíos en el Manejo y Gestión de Ciuda-

des. Impactos del desarrollo en las ciudades históricas. Camagüey. ISBN: 978-959-7203-26-1.

Castro, Y., M. Otero, R. Osés, L. Gómez, y colectivo de autores, 2017: Estudio del microclima térmico a partir de la forma urbana en la ciudad de Santa Clara. Memorias del IX Congreso Cubano de Meteorología. ISBN: 978-959-7167-60-0.

Castro, Y., y colectivo de autores, 2018: Morfología urbana y microclima térmico para la rehabilitación de las ciudades. Caso de estudio, ciudades del centro de Cuba. Memorias de la XVI Convención Internacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo. OTU 2018. ISBN: 978-959-7167-63-1.

Cutié, V., C. Fonseca, B. Lapinel, y otros, 2018: Catálogo de Servicios Meteorológicos y Climáticos del Instituto de Meteorología para el Manejo Sostenible de Tierras. Proyecto 2/OP-15/GEF, 49 pp.

Delgado, R., y A. Peña, 2019: Cartografía de variables climáticas basada en gradientes, sistemas de experto y estaciones de referencia. Revista Cubana de Meteorología, 25(2), 181-190. Disponible en [rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/464/639](http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/464/639).

Domínguez-Hurtado, I. M., C. Soto-Valero, A. Machado-Montes de Oca, e Y. Salmón-Cuspinera, 2019: Influencia de factores meteorológicos en la acuicultura de aguas interiores. Revista Cubana de Meteorología, 22(2), 151-160. Disponible en <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/462>.

Domínguez-Hurtado I. M., A. S. Moya-Álvarez, y A. Estrada-Moreno, 2017: Aplicación de las salidas del modelo GFS/NCEP en la predicción agrometeorológica. Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio, 18(1). Disponible en <http://www.iga.cu/publicaciones/revista/ctye18no1-art1.html>.

Domínguez Hurtado, I. M., Y. Salmón Cuspinera, L. Domínguez, y A. Llanes Morell, 2016: Agrometeorología operativa

para la agricultura familiar y de pequeña escala. Memorias AGROCENTRO 2016, VII Edición de la Conferencia Científica Internacional sobre Desarrollo Agropecuario y Sostenibilidad. ISBN: 978-959-312-174-3.

Domínguez-Hurtado, I. M., R. Rodríguez-Rojas, e Y. Salmón-Cuspinera, 2018: Bases agrometeorológicas para la acuicultura. Memorias VII Encuentro de Tecnologías y Gestión del Conocimiento TECNOGESC 2018. ISBN: 976-959-312-213-9.

Dominguez-Hurtado, I. M., Y. Z. Salmon-Cuspinera, and A. Chacon-Iznaga, 2019: "Design and implementation of training program for the introduction of agrometeorological services in Cuba. Case studies: Aquaculture and family farming systems". Academia Journal of Educational Research. ISSN: 2315-7704.

García-Santos, Y., L. Álvarez-Escudero, 2018: Climatología de las tormentas eléctricas determinadas a partir del código de estado de tiempo pasado. Revista Cubana de Meteorología, 24(2), 201-215, ISSN: 0864-151X, <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/426>.

García-Santos, Y., L. Álvarez-Escudero, 2018: Significación del tiempo pasado en la determinación de la ocurrencia de las tormentas eléctricas. Revista Cubana de Meteorología, 24(2), 216-225, ISSN: 0864-151X. Disponible en <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/427>.

Montero-Avilés, H., e Y. Núñez-Acosta, 2019: Flujo de información para la capacitación agrometeorológica de los productores agrícolas a pequeña escala en Las Tunas. Monteverdia, 12(1). Disponible en <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/monteverdia/article/view/2720>.

Núñez-Acosta, Y., Y. Guerrero- Guevara, E. Estrada-Sao, e I. Via-monte- Gesen, 2018: Influencia de las variables agroclimáticas en los procesos productivos agrícolas en la CPAAsalto al Polvorín en el municipio Puerto Padre. Revista digital



de Medio Ambiente “Ojeando la agenda”. ISSN 1989-6794, N° 52. <https://ojeandolaagenda.com/2018/03/30/influencia-de-las-variables-agroclimaticas-en-los-procesos-productivos-agricolas-en-la-cpa-asalto-al-polvorin-en-el-municipio-puerto-padre/>.

Ortiz, P. L., Y. L. Vega, O. V. Ramirez, B. A. Herrera, and S. B. Gutiérrez, 2017: Temporal-Spatial Model to Predict the Activity of Respiratory Syncytial Virus in Children Under 5 Years Old from Climatic Variability in Cuba. *Int J Virol Infect Dis.* 3(1): 030-024.

Peña, A., R. Delgado, R. Rodríguez, L. Savon, Y. Baza, y R. Hernández, 2018: Metodología de estudios agroclimáticos a microescala para agricultura de precisión en regiones de montañas de las Antillas Mayores. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8, 27-30.

Rojas-Díaz, Y., M. Carnesoltas-Calvo, E. Perigó-Román, A. Aragón-Matos, L. Álvarez-Escudero, 2015: La vigilancia meteorológica ante el peligro por tormentas eléctricas. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 19(3), 76-84, ISSN: 1028-0871.

Roque, A., U. Montenegro, y A. Peña, 2018: Particularidades del viento en la región oriental del país. *Revista Cubana de Meteorología*, 24, 335-348.

Stigter, K., S. Walker, H. Das, I. M. Dominguez-Hurtado, and D. Nanja, 2015: Meeting farmers' needs for agrometeorological services: A review with case studies. Part IV: Historical case of study. 2015. *Italian Journal of Agrometeorology*, 1, 59-65. Disponible en [http://agrometeorologia.it/documenti/Rivista2015\\_1/meeting\\_farmers\\_needs\\_for\\_agrometeorological\\_services\\_a\\_review\\_with\\_case\\_studies\\_part\\_iv\\_historical\\_case\\_studies.pdf](http://agrometeorologia.it/documenti/Rivista2015_1/meeting_farmers_needs_for_agrometeorological_services_a_review_with_case_studies_part_iv_historical_case_studies.pdf).

Vega Y. L., P. L. Ortiz, B. H. Acosta, O. R. Valdés, S. G. Borroto, A. G. Arencibia, G. B. González, and G. G. Guzmán, 2018: Influenza's Response to Climatic Variability in the Tro-

pical Climate: Case Study Cuba. *Virologica Sinica* 7: 1000179.  
doi: 10.4172/2161-0517.1000179.

Vega Y, L., O. V. Ramírez, B. A. Herrera, and P. L. Ortiz, 2017: Impact of Climatic Variability in the Respiratory Syncytial Virus Pattern in Children Under 5 Years-Old Using the Bultó Climatic Index in Cuba. *Int J Virol Infect Dis*; 2(1): 014-013.

## **CALIDAD DEL AIRE**

Andrade, M., N. Rojas, M. Melamed, O. Mayol-Bracero, M. Gutter, L. Dawidowski, J. C. Antuña-Marrero, C. Rudamas, L. Gallardo, R. Mamani-Paco, M. Andrade, and N. Huneus, 2016: Fostering a collaborative atmospheric chemistry research community in the Latin America and Caribbean Region, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97, 1929-1939, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00267.1>.

Antuña-Marrero, J. C., M. d. S. Mesquita, and A. Rodríguez, 2016: Norway and Cuba evaluate bilateral climate research results, *Eos*, 97, <https://doi.org/10.1029/2016EO051311>.

Antuña-Marrero, J. C., A. De Frutos Baraja, and R. Estevan Arredondo, 2016: Joint aerosol research between Cuba and Spain proves fruitful, *Eos*, 97, <https://doi.org/10.1029/2016EO060125>.

Antuña-Marrero, J. C., E. Landulfo, R. Estevan, B. Barja, A. Robock, E. Wolfram, P. Ristori, B. Clemesha, F. Zaratti, R. Forno, E. Armandillo, Á.E. Bastidas, Á.M. de Frutos Baraja, D.N. Whiteman, E. Quel, H.M. Barbosa, F. Lopes, E. Montilla-Rosero, and J.L. Guerrero-Rascado, 2017: LALINET: The First Latin American-Born Regional Atmospheric Observational Network. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 98, 1255-1275, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00228.1>.

Antuña-Marrero, J. C., V. Cachorro Revilla, F. García Parrado, Á. de Frutos Baraja, A. Rodríguez Vega, D. Mateos, R. Estevan Arredondo, and C. Toledano, 2018: Comparison of

aerosol optical depth from satellite (MODIS), sun photometer and broadband pyrhelimeter ground-based observations in Cuba. *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 2279–2293, <https://doi.org/10.5194/amt-11-2279-2018>.

Antuña-Marrero, J. C., F. García, R. Estevan, B. Barja, & A. Sánchez-Lorenzo, 2019: Simultaneous dimming and brightening under all and clear sky at Camagüey, Cuba (1981–2010). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 190, 45–53, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.201905004>.

Antuña-Sánchez J. C., N. Díaz, R. Estevan, A. M. de Frutos, y J. C. Antuña-Marrero, 2015: Diseño de una cámara de nubes usando Raspberry Pi, *Óptica Pura Aplicada* 48 (3) 199–205, <https://doi.org/10.7149/OPA.48.3.199>.

Barcelona, L., R. López, M. Martínez, S. Pire, A. Hernández, y L. F. Cuesta, 2016: Calidad del aire en la ciudad Universitaria José Antonio Echeverría por partículas e inmisiones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. *Revista de postgrado UCE Ciencia* 3, ISSN 2306–3556.

Bolufé, J., E. Carrillo, C. Sosa, Y. González, O. Cuesta, R. Manso, y R. Franhouser, 2017: Calidad del aire asociada a fuentes móviles en avenidas de La Habana. III Coloquio de Transporte y Medio Ambiente, XI Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo.

Cuesta, O., 2016: Evaluación de la contaminación atmosférica producto de las fuentes fijas en el municipio Mariel, Artemisa, Cuba. IV Congreso de Meteorología Tropical, Convención Trópico-2016. ISBN: 978-959-7167-59-4.

Cuesta, O., J. Bolufé, Y. González, y L. Menéndez, 2016: Calidad del aire y tráfico vehicular en la calle Reina, La Habana, Cuba, aspectos de interés. SUIMA 2016, Convención CUJAE.

Cuesta O., J. Bolufé, Y. González, L. Menéndez, Y. Canciano, C. Sosa, E. Carrillo, R. Manso, J. Madrazo, A. Clappier, L. Belalcazar, y R. Frankhauser, 2016: Características del tráfico

vehicular, la calidad del aire y las variables meteorológicas en la calle Reina. IV Congreso de Meteorología Tropical, Convención Trópico-2016. ISBN: 978-959-7167-59-4.

Cuesta, O., J. Bolufé, Y. González, C. Sosa, E. Carrillo, R. Manso, J. Madrazo, A. Clappier, C. Barcarcel, y R. Franhouser, 2017: Contaminación atmosférica por fuentes móviles en la calle Reina, La Habana. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(2), 78-98.

Cuesta, O., A. Collazo, Y. González, M. Fonseca, A. Fernández, Y. Rodríguez, E. García, E. Carrillo, C. Sosa, R. Manrique, P. Sánchez, R. Manso, L. Batule, R. López, G. Marcelo, A. Alonso y L. Menéndez, 2015: Diagnóstico del medio ambiente atmosférico producto de las principales fuentes fijas de La Habana. Publicación electrónica ISBN 978-959-7167-43-3. *Memorias del VIII Congreso Cubano de Meteorología*. Hotel Habana Libre, La Habana, Cuba.

Cuesta, O., C. Sosa, C. Iraola, Y. González, V. Núñez, A. Fonte, C. Imbert, S. Barcia, Y. Gómez, y D. Portal, 2017: Inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(2), 178-198.

Cuesta, O., Wallo, A., R. López, y A. Maren, 2014: Deposición atmosférica de los principales compuestos del nitrógeno en bosques tropicales, la Palma, Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 20, 16-27.

Díaz, N., L. Fernández, J. C. Antuña-Sánchez, J. Rosas, A. Rodríguez, F. García, e I. Y. Platero, 2015: Diseño de una fuente conmutada y galvanómetro digital para calibración de respuesta angular de sensores de radiación solar, *Apuntes de Ciencia y Sociedad*, 05 (02) 243-248.

Fonte, A., O. Cuesta, y C. Sosa, 2017: Estimación de emisiones contaminantes atmosféricas en la provincia de Camagüey desde fuentes fijas. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(2), 67-77.

- García, F., R. Estevan, J. C. Antuña-Marrero, J. Rosas, I. Y. Platero, J. C. Antuña-Sánchez, y N. Díaz, 2015: Determinación de la Línea Base del Espesor Óptico de Aerosoles de Banda Ancha y comparación con datos de fotómetro solar, *Óptica Pura y Aplicada*, 48 (4), 249-258, <https://doi.org/10.7149/OPA.48.4.249>.
- Grutter, M., J. C. Antuña-Marrero, and C. Rudamas, 2016: Mexico City hosts a course on remote sensing for Latin Americans, *Eos*, 97, <https://doi.org/10.1029/2016EO051059>.
- Guerrero-Rascado, J. L., E. Landulfo, J. C. Antuña, H. M. J. Barbosa, B. Barja, Á. E. Bastidas, A. E. Bedoya, R. da Costa, R. Estevan, R. N. Forno, D. A. Gouveia, C. Jiménez, E. G. Larroza, F. J. S. Lopes, E. Montilla-Rosero, G. A. Moreira, W. M. Nakaema, D. Nisperuza, D. Alegria, M. Múnera, L. Otero, S. Papandrea, J. V. Pallotta, E. Pawelko, E. J. Quel, P. Ristori, P. F. Rodrigues, J. Salvador, M. F. Sánchez, and A. Silva, 2016: Latin American Lidar Network (LALINET) for aerosol research diagnosis on network instrumentation, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 138-139, pp. 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.01.001>.
- López, R., 2012: Componentes iónicos de la lluvia, sus fuentes de emisión y condiciones meteorológicas estacionales en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología* 18, 178-15.
- López, R., 2013: Metales trazas en precipitaciones pluviales de zonas urbanas y rurales de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología* 19, 83-88.
- López, R., 2013: Sulfatos y nitratos en las lluvias y tipos de situaciones sinópticas, período noviembre 2008 - abril 2010. *Revista Cubana de Meteorología* 19, 106-112.
- López, R., 2014: Ácidos orgánicos durante el período noviembre 2008- abril 2010 en las lluvias de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología* 20, 41-44.

- López, R., P. Expósito, y A. Collazo, 2017: Influencia de las zonas de procedencia de las masas de aire en la composición química de lluvias en localidades de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología* 23, 290-311.
- López, R., A. Collazo, E. García, P. Expósito, y A. J. Perdomo, 2016: Composición iónica de la lluvia y Tipos de situaciones sinópticas en Cuba: Efectos en la contaminación atmosférica. *Revista Cubana de Meteorología* 22, 141-149.
- López, R., A. Collazo, y F. Hernández, 2014: Acidificación de las precipitaciones: causas, efectos, condiciones meteorológicas, políticas de gestión y estado actual en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología* 20, 165-176.
- Madrazo, J., A. Clapier, L. C. Belalcazar, O. Cuesta, H. Contreras, and F. Golay, 2018: Screening differences between a local inventory and the Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). *Science of the Total Environment*, 631-632, 934-941.
- Manso, R. W., J. Bolufé, e Y. González, 2019: Emisiones naturales a la atmosfera: caso de estudio. Emisiones de compuestos orgánicos volátiles en empresas citrícolas de Cuba. *Memorias de la XII Convención Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana.*
- Manso, R., O. Cuesta, E. Carrillo, y C. Sosa, 2016: Evaluación de las emisiones de gases por quema de combustible fósil y por biomasa forestal. Estudio de caso. *SUIMA 2016, Convención CUJAE.*
- Manso, R., O. Cuesta, E. Carrillo, y C. Sosa, 2017: Gestión del uso de bioenergía como cogenerador de energía eléctrica para mejorar la calidad del aire en La Habana. *VIII Congreso de Gestión Ambiental, XI Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo.*

- Manso, R., O. Cuesta, E. Carrillo, y C. Sosa, 2017: Propuesta del uso de fuentes de bioenergía para mejorar calidad del aire en La Habana. *Memorias del IX Congreso Cubano de Meteorología*. ISBN: 978-959-7167-60-0.
- Marrero-Díaz, Y., O. Cuesta-Santos, y M. Suárez-Benítez, 2018: Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas de Holguín, Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(3), 268-277.
- Platero, I. Y., R. Estevan, F. García, 2015: Climatología del albedo de superficie en la Estación Actinométrica de Camagüey, *Óptica Pura y Aplicada*, 48 (4) 259-269, <https://doi.org/10.7149/OPA.48.4.259>.
- Préndez, M., R. López, and E. Carrillo, 2014: Physical and Chemical Components of Cuba's Rain: Effects on Air Quality, *International Journal of Atmospheric Sciences*, 2014, Article ID 680735, 8 pages, doi:10.1155/2014/680735.
- Rodríguez, I., O. Cuesta, Y. González, A. E. Collazo, y L. R. Batule, 2015: Evaluación de la calidad del aire en Güira de Melena a partir de las emisiones de sus principales fuentes fijas. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(1), 103-119.
- Rodríguez, D., L. Echevarría, O. Cuesta, E. Carrillo, A. Sánchez, y M. V. Miló, 2015: Dispersión local de contaminantes en la ciudad de Pinar del Río. Modelo Screen 3. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(2), 59-70.
- Rodríguez, D., A. Quintero, Y. González, O. Cuesta, y A. Sánchez, 2015: Variación de la estabilidad y la altura de la capa de mezcla en la ciudad de Pinar del Río. Su relación con las condiciones sinópticas. *Revista Brasileña de Meteorología*, 30(1), 1-15.
- Rodríguez-Vega, A., J. C. Antuña-Marrero, M. D. S. Mesquita, A. Robock, T. Toniazzo, and O. H. Otterå, 2017: How well

does the European Centre for Medium-Range Weather Forecasting Interim Reanalysis represent the surface air temperature in Cuban weather stations? *Int. J. Climatol.* <https://doi.org/10.1002/joc.5239>.

Rodríguez, A., and J. C. Antuña-Marrero, 2017: Standardizing the determination of the molecular backscatter coefficient profiles for LALINET lidar stations using ERA-Interim Reanalysis, *Optica Pura y Aplicada*, 50, pp. 103-114, <https://doi.org/10.7149/OPA.50.1.49013>.

Thomason, L. W., M. von Hobe, M. Hermann, T. Deshler, C. Timmreck, M. Toohey, A. Stenke, J. P. Schwarz, R. Weigel, S. Fueglistaler, F. J. Prata, J. P. Vernier, H. Schlager, J. E. Barnes, J. C. Antuña-Marrero, D. Fairlie, M. Palm, E. Mahieu, J. Notholt, M. Rex, C. Bingen, F. Vanhellemont, A. Bourassa, J. M. C. Plane, D. Klocke, S. A. Carn, L. Clarisse, T. Trickl, R. Neely, A. D. James, L. Rieger, J. C. Wilson, and B. Meland, 2016: Stratospheric aerosol –Observations, processes, and impact on climate, *Reviews of Geophysics*, 54, <https://doi.org/10.1002/2015RG000511>.

Vidal, I., R. López, O. Cuesta, J. Bolufé, y E. García, 2018: Condiciones meteorológicas en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(2), 146-158.

### **INSCRIPCIONES EN EL REGISTRO DE DERECHO DE AUTOR**

Castro-Conrado, Y., 2016: Morfología urbana y microclima térmico para la rehabilitación urbana. Caso de estudio Sagua la Grande. Certificación de Registro, inscrita con el número 3716-12-2016.

Sánchez, A. L., N. Valderá, M. Sarmientos, y C. M. González, 2019: Sistema Integrado para la Verificación de los Pronósticos del Tiempo (SIVER). Registro de Software en el Centro Nacional de Derecho de Autor.



## **LIBROS**

Mitrani, I., 2017: Meteorología Marina. INSMET/AMA/CITMATEL, ISBN: 978-959-300-060-4 (E-Book), La Habana, Cuba, 270 pp, Venta online: Empresa CITMATEL, [www.citmatel.inf.cu](http://www.citmatel.inf.cu).

Mitrani, I., E. García, A. Hidalgo, I. Hernández, I. Salas, R. Pérez-Parrado, O. O. Díaz, A. Vichot, A. Pérez-Bello, R. Cangas, L. Álvarez, O. E. Pérez, C. M. Rodríguez, A. L. Pérez-Hernández, A. Morales, J. Viamontes, J. Pérez-Canet, y J. A. Rodríguez, 2017: Las inundaciones costeras en Cuba. Influencia de la estructura termohalina. Agencia de Medio Ambiente, (Ed.), ISBN: 978-3000-061-1, (E-Book), La Habana, Cuba, 160 pp, Venta online: Empresa CITMATEL, [www.citmatel.inf.cu](http://www.citmatel.inf.cu).

## **CONTRIBUCIÓN A LIBROS**

Moreno C, A. Roque, L. Álvarez, I. Mitrani, R. Pérez, I. Borrajero, R. Pérez-Parrado, M. Limia, A. Hidalgo y colaboradores, (2017): Doce Preguntas y Respuestas Sobre Energía Eólica. Libro de la editorial Cubasolar, ISBN 978-959-7113-51-5.

## **TESIS DE MAESTRÍAS Y DOCTORADO VINCULADAS AL PROGRAMA DEFENDIDAS EN EL PERÍODO 2015-2018**

Báez, E., 2018: Sistema de monitoreo automatizado ante inundaciones costeras en el tramo desembocadura Río Cuchillo-Cabo Cruz, Niquero. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental, Universidad de Granma.

Bolufé, J., 2017: Influencia del medio ambiente atmosférico sobre las crisis agudas de asma bronquial en La Habana. Tesis de Maestría en Ciencias Meteorológicas, Instec.

Cedeño, Y., 2015: Influencia de la Oscilación Ártica en el comportamiento de las temporadas invernales en el occidente de Cuba. Tesis de Maestría en Geografía, Medio

Ambiente y Ordenamiento Territorial. Escuela de Geografía, Universidad de La Habana.

Castro-Conrado, Y., 2016: Morfología urbana y microclima térmico para la rehabilitación urbana. Caso de estudio Sagua la Grande. Tesis de Doctorado en Ciencia. UCLV.

González, Y., 2016: Pronóstico de dispersión de contaminantes atmosféricos a escala local utilizando el sistema de modelos AERMOD. Tesis de Maestría en Ciencias Meteorológicas, Instec.

Hidalgo, A., 2016: Metodología para el estudio climático de las inundaciones costeras en Cuba. Tesis de Maestría en Ciencias Meteorológicas, Instec.

Jústiz, A., 2017: Patrones Circulatorios significativos asociados a los sistemas frontales que afectan a Cuba, en el trimestre diciembre-febrero. Tesis de Maestría en Ciencias Meteorológicas, Instec.

Pila, E., 2018: Configuraciones sinópticas asociadas al comportamiento estacional de las Bajas Extratropicales que afectan a Cuba. Tesis de Maestría en Ciencias Meteorológicas, Instec.

Sosa, C., 2018: Gestión de la contaminación del aire en un municipio industrial. Estudio de caso Mariel. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental, Instec.

Trujillo, G., 2017: Perfeccionamiento de la estimación de la cobertura nubosa sobre Cuba a partir de las imágenes del satélite GOES-E. Tesis de Maestría en Ciencias Meteorológicas, Instec.

Valderá, N., 2017: Método de la Persistencia para la estimación de la habilidad de las predicciones del Centro de Pronósticos del Tiempo del Instituto de Meteorología de Cuba. Tesis de Maestría en Ciencias Meteorológicas, Instec.



# RESULTADOS OBTENIDOS

## PRONÓSTICO DEL TIEMPO Y METEOROLOGÍA MARINA

Calzada, A., F. E. Pérez, D. Reyes, C. Ramos, I. Delgado, D. Chang, D. Carracedo, J. Cabrales, R. Pérez-Parrado, R. Casals, G. Paz, y M. Boligán, 2016: *“Actualización de los algoritmos y métodos del modelo PETROMAR en Python con la introducción de escenarios reales”*.

Calzada, A., I. Delgado, C. Ramos, D. Reyes, D. Carracedo, F. E. Pérez, J. Cabrales, y A. Rodríguez, 2017: *“Análisis integral del desarrollo de un derrame de petróleo en el mar con presencia de fenómenos meteorológicos extremos”*.

Calzada, A., I. Delgado, C. Ramos, F. E. Pérez, D. Chang, D. Reyes, D. Carracedo, J. Cabrales, O. González, R. Casals, A. Rodríguez, R. Pérez-Parrado, B. Sánchez, Y. Torres, M. Cid, E. Cadrelo, M. Boligan, A. Victorero, G. Paz, R. Galardi, Y. Lamorena, y M.A. Suárez, 2017: *“Características finales de la versión 2.1 del modelo de trayectoria. Principales aplicaciones, evaluaciones y formas de activación del sistema”*.

Córdova, L. F., R. Casals, P. González, A. Iglesia, M. Martín, D. Almarales, R. Torres, R. Pérez-Parrado, O. E. Pérez, D. Montero, J. Cabrales, A. Calzada, P. J. Pérez, y N. Hernández, 2017: *“Simulación de los incrementos del nivel del mar durante condiciones extremas del estado del tiempo impuestas por ciclones tropicales en Cuba”*.

Córdova, L. F., Y. Méndez, R. Pérez-Parrado, O. E. Pérez, J. Cabrales, J. C. Fernández, A. Pérez, y A. Calzada, 2018: *“Estudio de variantes de mallas no estructuradas de los mares adyacentes a Cuba, para su aplicación en un sistema de cálculo de oleaje y surgencias”*.

Ferrer, A. L., C. González, M. Sierra, e I. Borrajero, 2017: *“Evaluación de la sensibilidad en la inicialización del modelo WRF-ARW empleado para pronosticar el comportamiento de la temporada invernal 2014-2015 sobre la región de Cuba”*.

- González, C., M. Ballester, Y. Cedeño, E. Pila, A. Ortega y M. Sarmiento, 2016: *“Caracterización del comportamiento de las temporadas invernales en el occidente de Cuba”*.
- Hidalgo, A., G. Pérez, I. Mitrani, N. Hernández, O. L. Córdova, V. Regueira, W. Ramírez, C. M. González, A. Machado, E. Perigó, L. Lorenzo, K. Agüero, L. A. Araujo, V. Vinajera, J. Jiménez, M. Boligán, L. Sánchez, A. Mursulí, F. E. Ortega, M. J. Castellanos, M. F. Rojas, J. Proenza, E. Armas, A. Victorero, N. Laborde, F. Medinilla, F. Ferral, I. Machado, L. García, M. Pérez, E. Leyva, E. Báez, P. De Varona, R. Cangas, R. Aroche, Y. Álvarez, E. Chang, Z. Reyes, M. E. Mano, y M. Pozo, 2016: *“Cronología de las inundaciones costeras por penetración del mar en el archipiélago cubano”*.
- Jústiz, A., C. González, y E. Pila, 2017: *“Clasificación de las diferentes características de la circulación general de la atmósfera asociadas a los frentes fríos, en el periodo diciembre-febrero de las temporadas invernales en Cuba, en particular, en su región occidental, para su predicción estacional”*.
- Lecha, L. B., L. M. Sánchez, E. Soler, A. Guevara, e Y. Verdecía, 2018: *“Características de las variaciones espacio-temporal de los mecanismos elementales de circulación en el hemisferio norte y su relación con los tipos de situaciones sinópticas influyentes sobre Cuba”*.
- Mitrani, I., J. Cabrera, Y. Povea, A. Pérez, O. Díaz, A. Ferrer, I. Borrajero, Y. Alonso, A. Vichot, A. Hidalgo, y M. Hinojosa, 2016: *“Representación de las inundaciones costeras en Cuba en condiciones severas, mediante modelos numéricos regionales”*.
- Mitrani, I., J. Cabrera, A. Vichot, O. Díaz, y A. Bezanilla, 2017: *“Representación numérica de la salinidad y la temperatura superficiales en aguas cubanas, con diversos modelos climáticos”*.
- Moya, A. S., y J. M. Ortega, 2017: *“Sistema automatizado de pronóstico de temperatura, humedad, viento y precipitaciones”*.

Pila, E., A. Jústiz, y C. González, 2017: “*Método Sinóptico Estadístico para el Pronóstico estacional de la Temporada invernal en la región occidental de Cuba*”.

Sierra, M., 2018: “*Estudio de la factibilidad de paralelizar el acoplamiento e integración adaptativa del modelo ARPS a las salidas del WRF*”.

Sierra, M., I. Borrajero, A. Roque, C. F. Rodríguez, L. Vázquez, M. Hinojosa, y A. L. Ferrer, 2016: “*Desarrollo de herramientas de detección y reporte automático.*”

Sierra, M., I. Borrajero, A. L. Ferrer, Y. Morfa, Y. Morejón, y M. Hinojosa, 2017: “*Estudios de sensibilidad del SisPI a cambios de la PBL, la cantidad de niveles verticales y las parametrizaciones de microfísica y cúmulos, a muy alta resolución*”.

Sierra, M., E. E. Martínez, y A. Chovert, 2015: “*Acoplamiento e integración adaptable del modelo ARPS. Evaluación computacional de los métodos adaptativos*”.

Trujillo, G., M. Ballester, y A. L. Sánchez, 2017: “*Método para verificar los pronósticos de cobertura nubosa y porcentaje de área cubierta por lluvia*”.

Valderá, N., M. Ballester, y A. L. Sánchez, 2017: “*Método de pronóstico persistente*”.

Valderá, N., A. L. Sánchez, M. Ballester, M. Sarmientos, S. Barcia, C. M. González, C. González, y E. Pila, 2017: “*Verificación de los pronósticos del tiempo de 24 horas*”.

## **CLIMA DE CUBA Y SUS APLICACIONES**

Álvarez, L., e I. Borrajero, 2015: “*Estudio de las marchas anual y diaria de fenómenos meteorológicos clasificados según el código de tiempo presente*”.

- Álvarez, L., e I. Borrajero, 2016: *“Distribución espacial de fenómenos meteorológicos en Cuba clasificados a partir del código de tiempo presente”*.
- Barcia, S., A. V. Guevara, Y. Estrada, y M. Otero, 2018: *“Conceptualización de términos y selección de índices bioclimáticos para aplicar en Cuba”*.
- Cutié V., C. Fonseca, B. Lapinel, y D. Boudet, 2017: *“Catálogo de servicios meteorológicos y climáticos del Instituto de Meteorología para el manejo sostenible de tierras”*.
- Castro, Y., R. Osés, G. Saura, M. Otero, L. Gómez, J. Socarrás, N. Ruiz, M. I. Agüero, M. Purón, I. Martínez, C. Pérez, M. Ávila, W. Hernández, S. Barcia, R. Cordero, E. Caballero, E. Viera, R. Angulo, R. Delgado, E. Fernández, A. Álvarez, A. Benavidez, J. Gómez, D. Alba, y A. Fonseca, 2015: *“Caracterización de las ciudades de Santa Clara y Cienfuegos desde el punto de vista climático, ambiental y urbano”*.
- Castro, Y., R. Osés, G. Saura, M. Otero, L. Gómez, J. Socarrás, N. Ruiz, M. I. Agüero, M. Purón, I. Martínez, C. Pérez, M. Ávila, W. Hernández, S. Barcia, R. Cordero, E. Caballero, E. Viera, R. Angulo, R. Delgado, E. Fernández, A. Álvarez, A. Benavidez, J. Gómez, D. Alba, y A. Fonseca, 2016: *“Monitoreo del microclima térmico urbano a partir de las zonas tipológico-formales en las ciudades de Santa Clara y Cienfuegos”*.
- Castro, Y., R. Osés, G. Saura, M. Otero, L. Gómez, J. Socarrás, N. Ruiz, M. I. Agüero, M. Purón, I. Martínez, C. Pérez, M. Ávila, W. Hernández, S. Barcia, R. Cordero, E. Caballero, E. Viera, R. Angulo, R. Delgado, E. Fernández, A. Álvarez, A. Benavidez, J. Gómez, D. Alba, y A. Fonseca, 2017: *“Microclima térmico, su relación con la morfología urbana y propuesta de recomendaciones al planeamiento y al diseño en las ciudades de Santa Clara y Cienfuegos”*.
- Domínguez, I. M., L. E. Pérez-Borroto, Y. Pérez, L. Domínguez, Y. Salmón, R. Rodríguez, A. Chacón, R. Díaz, F. Ramos, A.

Machado, F. A. Pedraza, A. Llanes, y J. M. Ortega, 2016: *“Servicio agrometeorológico operativo para la agricultura familiar y de pequeña escala”*.

Domínguez, I. M., R. Osés, A. Machado, L. E. Pérez-Borroto, F. A. Pedraza, e Y. Z Salmón, 2018: *“Caracterización de las principales variables y fenómenos meteorológicos que influyen sobre la acuicultura”*.

Domínguez, I. M., Y. Z Salmón, y A. Machado, 2018: *“Bases para la implementación de un nuevo servicio agrometeorológico dirigido a la acuicultura”*.

Domínguez, I. M., Y. Z Salmón, y A. Chacón, 2018: *“Diseño e implementación de un sistema de capacitación estructurado”*.

González, R., A. A. Hernández, O. Batista, O. Benedico, y A. López, 2018: *“Potencialidad acuífera territorial para el ordenamiento agroclimático de cultivos agrícolas en Ciego de Ávila”*.

Hernández, A. A., A. López, S. López, Y. Valentín, J. D. Alonso, y O. Benedico, 2017: *“Potencialidades edafoclimáticas para el ordenamiento de los cultivos agrícolas en Ciego de Ávila”*.

Hernández, A. A., O. Batista, S. López, A. López, R. González, J. D. Alonso, O. Benedico, e Y. Valentín, 2018: *“Compendio de mapas temáticos para el ordenamiento agroclimático territorial de cultivos agrícolas en Ciego de Ávila. Gestión para su introducción”*.

INSMET e INRH, 2017: *“Procedimiento para el funcionamiento del sistema de alerta temprana de la sequía en Cuba”*.

INSMET e INRH, 2018: *“Servicios del tiempo y el clima extendidos a las áreas de intervención del OP15 y el PMA”*.

Linares, Y., O. Valdés, P. L. Ortiz y B. Acosta, 2016: *“La estacionalidad del Virus Sincitial Respiratorio y la influencia de la*



*variabilidad climática. Propuesta de un modelo de pronóstico-espacio temporal para Cuba”.*

Mejías, E., D. Chang, F. González, C. Pérez, y D. H. Rodríguez, 2016: *“Automatización de procesos para el Sistema de Avisos y Alerta Temprana de Incendios en la vegetación (SAATIN)”.*

Mejías, E., D. Chang, R. Vázquez, D. H. Rodríguez, e I. Pérez, 2017: *“Estudio y evaluación del comportamiento de focos de calor detectados por satélites en Cuba”.*

Núñez, Y. A., A. Baldoquín, E. Estrada, M. T. Ricardo, J. Vidal, I. M. Domínguez, A. Agramonte, J. A. Figueredo, y P. Noris, 2018: *“Influencia de la variabilidad climática y eventos extremos en el desarrollo productivo de los cultivos de interés en las unidades productivas”.*

Núñez, Y. A., A. Baldoquín, E. Estrada, M. T. Ricardo, J. Vidal, I. M. Domínguez, A. Agramonte, J. A. Figueredo, y P. Noris, 2018: *“Flujo de información agrometeorológica para los agricultores”.*

Ortiz, P. L., Y. Linares, O. Valdés, B. Acosta, y S. Borroto, 2017: *“Contribución de la variabilidad climática sobre los virus Influenza. Propuesta de un modelo”.*

Ortiz, P. L., Y. Linares, A. Águila, A. Fernández, M. Rodríguez, M. T. Illnait, M. A. León, y M. Guadalupe, 2018: *“Efecto de la variabilidad climática sobre los enteropatógenos bacterianos causantes de EDA en Cuba”.*

Peña, A., R. Delgado, U. Montenegro, L. Rodríguez, Y. Savón, R. Baza, y R. Hernández, 2017: *“Metodología de monitoreo y evaluación de las variables y factores formadores del clima para una línea base climática de los ecosistemas de montañas en la región oriental de Cuba”.*

Pérez, C. A., E. M. Rodríguez, y L. Jiménez, 2015: *“Mejoramiento del método objetivo para la evaluación de los proyectos operativos de incremento de la lluvia”*.

Pomares, I., D. Nieves, y L. Jiménez, 2015: *“Determinación de la sembrabilidad en diferentes regiones de Cuba mediante el uso del modelo unidimensional de nubes”*.

Rodríguez, R., I. M. Domínguez, V. Núñez, F. A. Pedraza, A. Yáñez, L. E. Pérez-Borroto, S. Barcia, A. Frías, M. Fontes, y A. Mollineda, 2018: *“Metodología para realizar el diagnóstico y caracterización de la producción agrícola de hortalizas y vegetales en las ciudades de Santa Clara y Cienfuegos”*.

Roque, A., U. Montenegro, y A. Peña, 2017: *“Particularidades del viento en la región oriental de Cuba para su aplicación al pronóstico del tiempo y la energía eólica”*.

## **CALIDAD DEL AIRE**

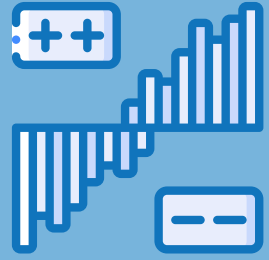
Cuesta, O., C. Sosa, C. Iraola, L. Menéndez, Y. González, V. Núñez, A. Fonte, C. Imbert, S. Barcia, Y. Gómez, D. Portal, y A. Collazo, 2016: *“Inventario Nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas”*.

Cuesta, O., Y. González, C. Sosa, V. Núñez, C. Iraola, J. Bolufé, A. Fonte, C. Imbert, S. Barcia, Y. Gómez, D. Portal, Y. Marrero, J. Norlan, R. Manso, y R. López, 2018: *“Modelación de la dispersión de los principales contaminantes atmosféricos y su contribución a la gestión ambiental”*.

García, F., J. C. Antuña-Marrero, R. Estevan, A. Rodríguez, B. Barja, J. C. Antuña-Sánchez, e I. Y. Platero, 2016: *“Comparación del espesor óptico de los aerosoles de MODIS con mediciones en tierra en Cuba”*.

García, F., J. C. Antuña-Marrero, R. Estevan, y A. Rodríguez, 2017: *“Climatología del espesor óptico de aerosoles para Cuba (2001-2015)”*.

- García, F., J. C. Antuña-Marrero, A. Rodríguez, R. Estevan, J. R. Lachicott, J. C. Antuña-Sánchez, y J. E. Díaz, 2018: *“Climatología del espesor óptico de aerosoles y el exponente de Angstrom para Camagüey a partir de mediciones en superficie”*.
- López, R., J. Bolufé, C. Sosa, E. García, R. Manso, O. Cuesta, y C. Iraola, 2018: *“Determinación cualitativa de los riesgos a los que están expuestos los habitantes y la vegetación por los contaminantes atmosféricos SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, MP<sub>10</sub> y O<sub>3</sub>”*.
- López, R., E. García, A. Collazo, P. Expósito, Y. Cala, O. Cuesta, C. Sosa, L. Menéndez, y M. Martínez, 2015: *“Mecanismos de transporte de los contaminantes de la lluvia a escala regional y local en zonas de Cuba”*.
- Manso, R., J. Bolufé, Y. González, R. López, E. Carrillo, J. C. Peláez, I. Borrajero, C. Iraola, O. Cuesta, C. Sosa, y A. Baró, 2018: *“Estimación de las emisiones biogénicas provenientes de las plantaciones cítricas en la región occidental de Cuba”*.
- Rodríguez, A., J. C. Antuña-Marrero, F. García, R. Estevan, y J. C. Antuña-Sánchez, 2018: *“Retrotrayectorias medias de los aerosoles para las cinco estaciones actinométricas cubanas”*.
- Sánchez, P., R. López, Y. González, y J. Canciano, 2015: *“Caracterización de las inmisiones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en la cuenca de la bahía de La Habana, período diciembre 2013-mayo 2014”*.



# PROYECTOS DEL PROGRAMA

## PROYECTOS EJECUTADOS EN EL PERÍODO 2015-2019

1. Dra. Maibys Sierra Lorenzo. “*Sistema de Predicción a muy corto plazo basado en el Acoplamiento de Modelos de Alta Resolución y Asimilación de Datos*”. (2015-2016).
2. Dra. Cecilia González Pedroso y Lic. Elier Pila Fariñas. “*Caracterización y Pronóstico de la temporada invernal en Cuba*”. (2015-2017).
3. Dra. Ida Mitrani Arenal. “*Representación, mediante modelos numéricos, de la sobreelevación del nivel del mar y del oleaje que generan inundaciones costeras en Cuba y su influencia en derrames de petróleo*”. (2015-2017).
4. MSc. Axel Hidalgo Mayo. “*Procedimiento para la ejecución y uso de las observaciones del estado de la superficie marina desde estaciones costeras, en la predicción del oleaje e inundaciones costeras en territorio cubano*”. (2015-2016).
5. MSc. Amílcar Calzada Estrada. “*Perfeccionamiento de la aplicación PETROMAR para la obtención de un pronóstico eficiente de la deriva de petróleo en mares interamericanos*”. (2015-2017).
6. MSc. Reinaldo Casals Taylor. “*Integración de herramientas avanzadas de modelación de oleaje y niveles del mar para la predicción de inundaciones costeras en Cuba*”. (2016-2018).
7. Dra. Maritza Ballester Pérez y MSc. Nathalí Valderá Figueredo. “*Sistema de verificación de los pronósticos del tiempo a corto plazo*”. (2015-2017).
8. MSc. Arisleidys Peña de la Cruz. “*Línea Base Climática para los ecosistemas de montaña de la región oriental de Cuba*”. (2015-2017).

9. Dra. Yami Castro Conrado. *“Microclima Urbano en Ciudades del centro de Cuba en interrelación con el Planeamiento y el Diseño Urbano”*. (2015-2017).
10. Dra. Lourdes Álvarez Escudero. *“Estudio de la distribución espacial de fenómenos meteorológicos en Cuba a partir del código de tiempo presente II”*. (2015-2016).
11. MSc. Virgen Cutié Cancino. *“Sistema integrado de servicios meteorológicos y climáticos, incluyendo los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) de eventos hidrometeorológicos extremos, en las áreas de intervención comprendidas en el Proyecto 2 del OP15 del GEF y el PMA”*. (2015-2018).
12. MSc. Eva Mejias Sedeño. *“Evaluación del comportamiento de focos de calor detectados por satélites en Cuba. Automatización de procesos para el Sistema de Avisos (SAATIN)”*. (2015-2017).
13. Lic. Carlos Alberto Pérez Sánchez. *“Optimización de la efectividad de la siembra de nubes para incrementar las precipitaciones en Cuba”*. (2015-2015).
14. Dr. Alexis Hernández Mansilla. *“Ordenamiento agroclimático de cultivos de importancia económica en apoyo a la producción de alimento en Ciego de Ávila”*.(2015-2018).
15. MSc. Ismael Domínguez Hurtado. *“Agrometeorología operativa para la agricultura familiar y de pequeña escala”*. (2015-2016).
16. MSc. Ismael Domínguez Hurtado. *“Bases agrometeorológicas para el desarrollo de la acuicultura dulceacuícola en Cuba”*. (2017-2018).
17. MSc. Yusniel Alberto Núñez Acosta. *“La utilización de la información Agrometeorológica en Las Tunas, una alternativa para disminuir los efectos de la variabilidad climática en la Agricultura de pequeña escala”*. (2017-2018).

18. Dra. Rosemary López Lee. *“Contribución a la gestión de la calidad del aire en Cuba: gases contaminantes y componentes químicos de la lluvia y su relación con las fuentes de emisión y condiciones meteorológicas”*. (2015-2015).
19. Dra. Rosemary López Lee. *“Evaluación de riesgos para la salud humana y la vegetación por los contaminantes atmosféricos SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, MP<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> en áreas de Cuba”*. (2016-2018).
20. Dr. Osvaldo Cuesta Santos. *“Emisiones de contaminantes provenientes de fuentes fijas y su contribución a la contaminación atmosférica”*. (2015-2018).
21. MSc. Frank García Parrado. *“Propiedades ópticas y microfísicas de los aerosoles atmosféricos en Cuba y sus zonas de procedencia para regiones específicas del país”*. (2016-2018).
22. MSc. Ricardo Manso Jiménez. *“Emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles en áreas citrícolas de la región occidental de Cuba”*. (2017-2018).
23. Dra. María Guzmán. *“Impacto del clima sobre el Aedes aegypti, el dengue, enfermedades diarreicas agudas, las infecciones respiratorias por los virus Influenza y Virus Sincitial Respiratorio en el contexto de otras variables ambientales, demográficas, epidemiológicas y microbiológicas”*. (2016-2019).
24. Dra. Lourdes Álvarez Escudero. *“Actualización del mapa de niveles cerámicos de Cuba”*. (2017-2019).
25. Dr. Vladimir Núñez Caraballo. *“Evaluación de la calidad del aire a partir de las emisiones de las fuentes móviles y fijas de Villa Clara”*. (2017-2019).
26. Dra. Maibys Sierra Lorenzo. *“Sistema de Predicción a muy corto plazo basado en el Acoplamiento de Modelos de Alta Resolución y Asimilación de Datos II”*. (2017-2019).

27. Lic. Alina Roig Rassi. *“Determinación de la influencia de los aerosoles en la radiación solar incidente en la superficie”*. (2017-2019).
28. MSc. Luis Sánchez Suárez. *“Influencia de los procesos de la circulación atmosférica en la génesis de los efectos meteorotrópicos que ocurren en Cuba. Parte 1: Fundamentos para la prevención y mitigación de sus impactos”*. (2018-2019).
29. Lic Edgar Quintana Valdés. *“Homologación de los datos de las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) con las estaciones meteorológicas convencionales”*. (2018-2019).

### **PROYECTOS EN EJECUCIÓN**

30. Dra. Ida Mitrani Arenal. *“Modelación numérica de la circulación en los mares adyacentes a Cuba, tomando en cuenta la influencia de los ríos sudamericanos y su posible enlace con la actividad ciclónica a mediano y largo plazo”*. (2018-2020).
31. MSc. Axel Hidalgo Mayo. *“Proyección de las inundaciones costeras en el archipiélago cubano”*. (2018-2021).
32. MSc. Sinaí Barcia Sardiñas. *“Efectos meteorotrópicos peligrosos asociados a las sensaciones térmicas extremas en Cuba: sus características y formas de prevención”*. (2018-2020).
33. Dr. Eudimio Martínez Chapman. *“Visibilidad atmosférica horizontal, variaciones y tendencia a largo plazo en sitios urbanos y rurales de La Habana y Holguín”*. (2018-2020).
34. Lic. Rosabel Rodríguez Rojas. *“Evaluación ecotoxicológica de la producción de hortalizas y vegetales en el entorno urbano de las ciudades de Santa Clara y Cienfuegos”*. (2018-2020).
35. Dra. Rosemary López Lee. *“Calidad del aire, condiciones meteorológicas y enfermedades respiratorias en La Habana”*. (2019-2022).



36. Lic. Frank García Parrado. *“Rescate de datos actinométricos y caracterización de la radiación solar para 5 estaciones actinométricas en el país”*. (2019-2021).
37. MSc. Mayda Castellanos Bravet. *“Efectos del tiempo, el clima y el transporte de contaminantes sobre las infecciones respiratorias agudas en la población infantil de la provincia de Camagüey”*. (2019-2021).
38. Lic. Jorge Félix Hernández Capote. *“Sistema de predicción para fenómenos meteorológicos que afectan la agricultura en las provincias de la Habana, Artemisa y Mayabeque”*. (2019-2021).
39. Lic. Ismael Pomares Ponce. *“Evaluación de la interacción aerosol-nubesprecipitación: Una primera aproximación en Cuba”*. (2019-2021).
40. MSc. Frank Ernesto Ortega Pereira. *“Perfeccionamiento del sistema de vigilancia de las inundaciones costeras en la ciudad de Baracoa”*. (2019-2021).
41. Dra. Cecilia Fonseca Rivera. *“Evaluación de productos de estimación cuantitativa de la precipitación por satélites meteorológicos para su uso en el diagnóstico de la sequía en Cuba”*. (2019-2021).
42. Lic. Ursinio Montenegro Moracén. *“Caracterización Climática de las provincias montañosas de la Región Oriental de Cuba”*. (2019-2021).
43. Lic. Yosdanis Estrada Legrá. *“Herramienta para la confección de mapas sinópticos y trihorarios para el Sistema Meteorológico Nacional”*. (2019-2020).
44. Ing. Alexnurín Columbié Peña. *“Influencia del evento ENOS en el rendimiento de cultivos agrícolas en la Isla de la Juventud”*. (2019-2020).