

ESTUDIO DE CASO



Servicios meteorológicos frente a la COVID-19 en Cuba: análisis de tres Casos de Estudio

*Meteorological Services to face COVID-19
in Cuba: Analysis of Three Study Cases*



Luis Bartolomé Lecha Estela

luis.lecha@gmail.com • <http://orcid.org/0000-0003-0226-8767>

INSTITUTO DE METEOROLOGÍA, CUBA

Recibido: 2020-09-23 • Aceptado: 2020-10-23

RESUMEN

El trabajo recoge algunas experiencias derivadas de la aplicación de técnicas y procesos de la Meteorología Aplicada en el enfrentamiento a la epidemia de COVID-19 en Cuba, mediante la detección y pronóstico de efectos meteorotrópicos entre el 11 de marzo y el 30 de junio de 2020. Se describen como Casos de Estudio tres situaciones apropiadas para ser consideradas en este contexto, las cuales pueden servir de referencia para el enfrentamiento a esta peligrosa pandemia en otras partes de la región del Caribe y del mundo. Los Casos de Estudio están referidos al empleo de la aplicación *OxyAlert_Beta* para brindar pronósticos biometeorológicos personalizados; el impacto de las nubes de polvo del Sahara como elemento predisponente para la ocurrencia de infecciones respiratorias agudas en la ciudad de Santa Clara; y el papel del contenido de oxígeno del aire calculado por el modelo *PronBiomet* en la ocurrencia de mortalidad asociada a la COVID-19 en la provincia de Villa Clara. En cada estudio se describen las ventajas y aportes de las técnicas y procedimientos informáticos, como soporte esencial de servicios meteorológicos, en función de prevenir y mitigar el impacto de los efectos meteorotrópicos sobre los pacientes ingresados en centros de salud de Villa Clara durante la primera fase de la epidemia en el país.

PALABRAS CLAVE: aplicación *OxyAlert_Beta*; contenido de oxígeno del aire; enfrentamiento a la COVID-19; polvo del Sahara; pronósticos biometeorológicos.



ABSTRACT

The paper collects some experiences derived from the application of techniques and processes of Applied Meteorology, facing Covid-19 epidemic in Cuba, through the detection and forecast of meteor-tropic effects between March 11 and June 30, 2020. Three appropriate situations or Study Cases in this context are considered. They can serve as reference for confronting this dangerous pandemic in other parts of the Caribbean region and the world. The Study Cases refer to the use of the "OxyAlert_Beta" application to provide personalized biometeorological forecasts. The impact of dust clouds from the Sahara as a predisposing element for the occurrence of acute respiratory infections in the city of Santa Clara and the role of the oxygen content of the air calculated by the PronBiomet model in the occurrence of mortality associated with Covid-19 in the province of Villa Clara. In each study, the advantages and contributions of Digital Transformation techniques and procedures are described, as an essential support of meteorological services, in order to prevent and mitigate the impact of meteor-tropic effects on patients admitted to Villa Clara health centers during the first phase of the epidemic in the country.

KEYWORDS: *application OxyAlert_Beta; biometeorological forecasts; COVID-19 epidemic; oxygen content of the air; Sahara dust.*

INTRODUCCIÓN

Los procesos atmosféricos se rigen por las leyes físicas de la hidrodinámica y la termodinámica de la atmósfera, teniendo como principal fuente de calor la radiación solar y el proceso de transformación de ésta una vez que alcanza la superficie terrestre. Para lograr el pronóstico objetivo del estado del tiempo es necesario alcanzar la capacidad de resolver, simultáneamente, los complejos sistemas de ecuaciones matemáticas que gobiernan los movimientos y procesos atmosféricos, dados por: la ecuación de movimiento, la ecuación de continuidad, la ecuación de estado y la primera ley de la termodinámica.

Inicialmente, debido a la carencia de medios adecuados de cálculo matemático, las soluciones analíticas de las ecuaciones de la hidrodinámica de la atmósfera sólo pudieron obtenerse para modelos de la atmósfera muy simples, que no tenían en cuenta los efectos de la fricción, del vapor de agua, de las ondas de movimiento y otras restricciones. Así, durante muchos años el pronóstico numérico objetivo del tiempo no fue posible, siendo en gran medida cualitativo.

Según explican Haltiner y Martin (1968), fue Richardson en 1922 el primero que planteó que las ecuaciones hidrodinámicas se podían resolver mediante métodos numéricos y desa-

rolló la mayoría de los fundamentos teóricos para ello. Básicamente, el método consiste en sustituir las derivadas por diferencias finitas, reduciendo el sistema de ecuaciones diferenciales a un sistema de ecuaciones algebraicas.

A pesar de lo anterior, el pronóstico del tiempo mediante el método de las diferencias finitas no fue posible implementarlo con el uso de calculadoras de mesa, incluso aplicando computadoras electrónicas de las primeras generaciones era necesario realizar numerosas simplificaciones de los modelos para poder obtener los resultados en un tiempo razonable, o sea, en plazos inferiores al plazo del pronóstico.

La forma en que fue progresando en Norteamérica esta rama de la ciencia meteorológica se describe en apretada síntesis en el sitio web *www.meteored.mx*, cuando explica:

“Los primeros modelos de predicción numérica para el estado del tiempo se desarrollaron para la computadora anunciada en el año de 1932, en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, Nueva Jersey, EE.UU. Sin embargo, al ser una herramienta nueva para esa época causaba mucha incertidumbre por lo que fue sometida durante muchos años a investigación antes de ser autorizada para su uso operacional.”

“En 1958 es cuando se aprueba el primer modelo de predicción numérica en apoyo a la realización de pronósticos meteorológicos. Este modelo fue denominado barotrópico y cubría el hemisferio norte. A este modelo le siguió el barotrópico modificado, que consiste en una corrección en la ecuación de divergencia. Posteriormente se desarrollaron modelos baroclínicos, que fueron creados a partir de la ecuación de vorticidad considerando dos niveles de la atmósfera y, gracias a esto, en 1962 se desarrolla un modelo de predicción denominado geostrófico.”

“El Centro Meteorológico Nacional de los Estados Unidos, en 1966 comienza estudios en la aplicación de ecuaciones básicas relacionándolas con seis niveles verticales en la atmósfera, permitiendo la mejora en el uso de técnicas de inicialización y la disponibilidad de recursos computacionales, y en 1971 se crea el primer modelo de área limitada de escala regional.”

“En 1975 se desarrolla un modelo de alta resolución. Este permitía el movimiento de las rejillas más finas logrando resaltar entonces el movimiento de huracanes, ondas tropicales o zonas de tormenta; al mismo tiempo surgen los primeros modelos regionales o de mesoescala. Pero no es hasta el año 1980 cuando se logra un modelo global que permite predecir y modelar la evolución de fenómenos a gran escala en periodos de tiempo de hasta 10 días. A partir de ese año la modelación numérica gana influencia progresivamente, generando simulaciones numéricas de mesoescala, dando paso también al ajuste de modelos con distintas condiciones de contorno (parametrizaciones).”

Este proceso ocurrió de manera más o menos similar en Europa, Japón y la antigua Unión Soviética, pero solamente después del surgimiento de las computadoras con procesadores muy rápidos, del tipo 80486, se logró un balance aceptable entre las simplificaciones aplicadas a los modelos, la calidad de los resultados y el tiempo de ejecución de los cálculos; pero aún hoy este proceso está en marcha y con la aparición de nuevos ordenadores más potentes

y más rápidos, los modelos de pronóstico numérico del tiempo se han ido convirtiendo en las herramientas insustituibles de la meteorología moderna, lo cual incluye el desarrollo y automatización de todo el soporte global de obtención y transmisión de los datos procedentes de la Vigilancia Meteorológica Mundial.

En la actualidad existen varios tipos de modelos para el pronóstico del estado del tiempo: los Modelos Globales, dedicados a la predicción numérica del tiempo a escala planetaria y en los estudios de cambio climático; los Modelos Regionales o de Mesoescala, que sirven para reproducir fenómenos atmosféricos de mesoescala y, por tanto, predecir el estado tiempo de una región determinada o específica; y los Modelos de Microescala, diseñados para simular fenómenos superficiales y turbulentos, como la dispersión de contaminantes.

Los efectos del clima y el tiempo sobre la vida del hombre, animales y plantas se reconocen desde épocas muy remotas, pero se comenzaron a estudiar de manera más rigurosa e interdisciplinaria a escala mundial desde los inicios del siglo XX, dando origen a la Biometeorología como una rama independiente dentro del amplio campo de la meteorología aplicada. Hoy existen variadas instituciones científicas y universidades en todo el mundo que abordan la biometeorología en toda su diversidad y complejidad, siendo uno de los componentes esenciales de la meteorología en el diseño y aplicación de nuevos métodos, procedimientos, servicios climáticos y sistemas de alerta temprana para ayudar al enfrentamiento de los efectos negativos y ya visibles de la variabilidad del clima y el tiempo sobre los seres vivos.

En este contexto, a partir del momento en que se detecta en humanos el virus SARS-CoV-2 en Wuhan, China, la pandemia se expandió por el mundo rápidamente, moviéndose de una región a otra con tipos climáticos y estados del tiempo muy variados, desde el frío invierno continental de China hasta el muy cálido y húmedo clima del trópico insular cubano. Y también aparecieron con rapidez los primeros estudios, tratando de encontrar alguna relación global entre el comportamiento de la pandemia y las condiciones climáticas y/o meteorológicas.

En un primer estudio realizado por *Meteoblue* (2020) se llegó a las conclusiones siguientes:

- “Es poco probable que las temperaturas del aire más altas disminuyan significativamente la propagación del virus.”
- “Las infecciones por COVID-19 parecen ser en gran medida independientes de la influencia del clima externo.”
- “La contención de las infecciones por COVID-19 no puede depender del clima como un factor significativo para ayudar a reducir la propagación de la enfermedad.”

Sus autores reconocen que:

“El estudio no produjo correlaciones visibles para ninguna de las variables, ni en 21 países de los 5 continentes y todas las zonas climáticas mundiales, ni dentro de los 7 países con más detecciones en marzo (China, Italia, España, Francia, Alemania, Suiza, Irán)”.

Y recomiendan realizar:

“Un análisis posterior centrado en el efecto de la temperatura, la humedad relativa y la radiación, eliminando factores de enmascaramiento como los cambios de comportamiento (restricciones públicas), las diferencias de ubicación y la imprecisión de informes.”

Otro artículo temprano analizó la influencia de los valores elevados de temperatura y humedad sobre la transmisión del Coronavirus (Jingyuan, *et al.*, 2020); mientras que Roach (2020) estudia la influencia de factores geográficos como la altitud sobre la prevalencia e impacto de esta enfermedad. Varios de los primeros trabajos realizados sobre este tema estuvieron referidos a la ocurrencia estacional de la influenza y otras infecciones respiratorias (Drummond, *et al.*, 2020; Moriyama, *et al.*, 2020), aspecto que tampoco ha podido ser demostrado en la incidencia y en la dinámica de transmisión espacio-temporal de la COVID-19.

Por otra parte, las influencias de las condiciones meteorológicas sobre los seres vivos (incluyendo además a los virus y bacterias) no son exclusivamente directas o específicas, muchas de las relaciones que existen entre el estado tiempo y los seres vivos se manifiestan de forma no específica o indirecta, y no por eso son menos importantes.

Los pronósticos biometeorológicos son pronósticos especializados del estado del tiempo, dirigidos, precisamente, a identificar y avisar con antelación suficiente la ocurrencia de los llamados efectos meteoro-trópicos, que son: “las condiciones meteorológicas capaces de producir, directa o indirectamente, alteraciones fisiológicas o crisis de salud masivas y diversas entre los grupos más vulnerables de una población dada” (Lecha, 2019).

Los primeros pronósticos biometeorológicos elaborados en Cuba se hicieron a partir del diseño y programación del primer Sistema de Avisos y Alertas para la Salud (SAAS), utilizando el cálculo del contraste interdiario del contenido de oxígeno del aire, según la metodología aprobada por los servicios meteorológicos e hidrometeorológicos de los antiguos países socialistas (1984), pero con salidas cartográficas propias elaboradas a partir de una aplicación complementaria del programa cubano *TeleMap GIS* (Lecha y Delgado, 1996).

Durante varios años, en el pasado, la comunidad biometeorológica no alcanzó consenso sobre el uso del contenido de oxígeno del aire como indicador de los efectos del estado del tiempo sobre la salud humana, pero los estudios recientes de los estadounidenses William Kaelin y Gregg Semenza, junto al británico Peter Ratcliffe, acreedores del premio Nobel de Fisiología o Medicina en el año 2019 por su descubrimiento sobre “cómo las células sienten el oxígeno disponible y se adaptan a él”, ha confirmado el importante papel de dicho índice para la Biometeorología (Domínguez, 2019).

Años más tarde, el desarrollo de las nuevas tecnologías informáticas y de las comunicaciones, especialmente la aparición de Internet, permitieron que (Estrada, *et al.*, 2007) iniciaran en el Centro Meteorológico del Instituto de Meteorología en Villa Clara, Cuba, la corrida diaria del nuevo modelo *PronBiomet* para elaborar el pronóstico diario de los posibles efectos meteoro-trópicos que pudieran afectar a la población local.

Estos pronósticos pasaron un riguroso proceso de validación en Cuba, España y México (Fernández de Arróyabe, *et al.*, 2008; Lecha, *et al.*, 2010; Lecha, *et al.*, 2013), dando inicio al desarrollo de servicios e investigaciones biometeorológicas globales orientados hacia la salud pública, utilizando aplicaciones móviles; al monitoreo y pronóstico de los efectos meteoro-trópicos, como parte de las herramientas fundamentales de la vigilancia en salud para la prevención de estos efectos (Lecha, 2018); todo ello sustentado sobre un novedoso sistema operacio-

nal basado en aplicaciones web (Arroquia-Cuadros, *et al.*, 2020) que trabaja desde un potente servidor situado en la sede del grupo *GeoBiomet* de la Universidad de Cantabria, España.

El presente trabajo muestra varios Casos de Estudio en los cuales se identifica la aplicación de técnicas y procesos informáticos en la detección y pronóstico de los efectos meteoro-trópicos, relacionados directa o indirectamente con la COVID-19 en Cuba.

METODOLOGÍA

La información utilizada en el trabajo comprende dos grupos: la información meteorológica y la epidemiológica. En el caso de la primera, se dispone de la aplicación *OxyAlert_Beta* como una herramienta técnica basada en el modelo biometeorológico cubano *PronBiomet*, y permite ofrecer un pronóstico biometeorológico del contraste interdiario del contenido de oxígeno del aire (el índice DOA) y su marcha cada seis horas hasta 72 horas de antelación para cualquier lugar del mundo (Fernández de Ároyabe, *et al.*, 2015). La herramienta está disponible para teléfonos móviles con sistema operativo Androide y puede descargarse sin costo desde el siguiente enlace: <https://play.google.com/store/apps/details?id=es.geobiomet.oxyalert>.

El modelo cubano *PronBiomet* calcula cada 12 horas la distribución espacio-temporal del cambio en 24 horas de la densidad parcial del oxígeno en el aire (el índice DOA) para Cuba y zonas adyacentes hasta con siete días de antelación. La densidad parcial del oxígeno en el aire se calcula mediante la expresión desarrollada por Ovcharova (1981), a partir de la expresión matemática de la ley de los gases de Clapeyron-Mendeleiev, la cual define la relación física entre el comportamiento del aire atmosférico (su temperatura y presión) con el volumen y la masa (densidad) de los gases que lo integran. Esta ley describe el equilibrio de los gases e integra los resultados de cuatro leyes termodinámicas de los gases, a saber: Boile-Mariotte, Guy Lussac, Charles y Avogadro.

La densidad parcial del oxígeno en el aire se calcula entonces por la expresión:

$$\rho_{O_2} = 80.51 \times (P - e)/T \quad (1)$$

Donde:

ρ_{O_2} ¹: es la densidad parcial del oxígeno en el aire, en g/m³.

P: es la presión atmosférica en hPa.

e: es la tensión del vapor de agua, en hPa.

T: es la temperatura absoluta del aire, equivalente a 273 + T en grados Celsius.

Por otra parte, la tensión de vapor de agua se obtuvo con ayuda de la fórmula:

¹ ρ es la letra griega Ro mayúscula y O₂ representa al oxígeno. Se puede sustituir por la sigla DPOA equivalente a densidad parcial del oxígeno en el aire.

$$e = HR \times E/100 \quad (2)$$

Donde:

e : es la tensión del vapor de agua en hPa.

HR : es la humedad relativa en porciento.

E : es la tensión de saturación del vapor de agua, calculada a partir de la fórmula de Goff-Gratch y dada por la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Log}(E) = & 10.79574 \times (1 - T_1/T) - 5.028 \times \log(T/T_1) + 1.50475 \times 10^{-4} \times [1 - 10^{-8.2969 \times (T/T_1 - 1)}] \\ & + 0.42873 \times 10^{-3} \times [10^{4.76955 \times (1 - T_1/T)} - 1] + 0.78614 \end{aligned} \quad (3)$$

Donde:

E : Tensión de saturación en hPa.

T : Temperatura del aire en grados absolutos.

T_1 : Punto triple del agua (273.16 K, 0.01 °C).

La expresión (4) es una alternativa para el cálculo de la tensión del vapor de agua (e) y se aplica si se conoce la temperatura del punto de rocío (T_d) y la presión atmosférica (P).

$$E = \exp [-X/(T_d+235) + \ln(P) - \ln(622)] \quad (4)$$

Donde:

$$X = 235 \times \log(P) - 1936.4 - T_d \times 25.34 + T_d \times \ln(P) \quad (5)$$

El cálculo de la densidad parcial del oxígeno del aire se utiliza ampliamente en estudios de fisiología experimental, así como en la medicina cósmica y la aplicada a la aviación, ya que forma parte del estudio de los procesos de difusión pulmonar durante la respiración y absorción-concentración del oxígeno del aire en el torrente circulatorio.

Además, para evaluar las condiciones meteorológicas influyentes sobre la provincia se utilizaron otras fuentes de información habituales, tales como: las salidas de los modelos numéricos de pronóstico del tiempo GFS y ECMWF, los datos diarios de las estaciones meteorológicas terrestres y del aire superior, el contenido de los Estados Generales del Tiempo y mapas sinópticos diarios desde el 1 de marzo hasta el 30 de junio de 2020, todo ello complementado con las imágenes diarias del satélite GOES-16 para el monitoreo de las nubes de polvo del Sahara, con lo cual se elaboraba el contenido de los pronósticos biometeorológicos.

Desde el punto de vista epidemiológico se utilizó la información diaria ofrecida en la conferencia de prensa sobre la marcha de la COVID-19 en Cuba, los datos de la incidencia de la COVID-19 en Villa Clara, aportados por el Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología, así como la ocurrencia diaria de las infecciones respiratorias agudas (IRA) y

Nota del autor: En las fórmulas que se presentan, todas las magnitudes en rojo son fracciones donde el símbolo "/" separa el numerador del denominador.

crisis agudas de asma bronquial (CAAB) registradas en las estadísticas de los servicios de urgencia médica de la ciudad de Santa Clara desde el 1 de marzo hasta el 5 de mayo de 2020, que fueron suministrados por el departamento de estadísticas de la Dirección Municipal de Salud en Santa Clara.

Se analizó el comportamiento de las condiciones biometeorológicas influyentes sobre Cuba y especialmente en la región central del país desde el 1 de marzo hasta el 30 de junio de 2020, para identificar la ocurrencia de días con efectos meteoro-trópicos significativos y su posible asociación con el comportamiento de la COVID-19 en estos territorios, utilizando para ello técnicas tradicionales de la exploración de datos y tablas de contingencia, con ayuda del programa *MS Office 2013*.

Los datos recopilados, toda la información analizada y los resultados correspondientes se emplearon en el estimado diario del comportamiento de la COVID-19, como parte de la prevención y mitigación del impacto de la epidemia en la provincia de Villa Clara y en el municipio especial de la Isla de la Juventud.

DESARROLLO

A partir de los análisis comparativos entre los datos epidemiológicos y meteorológicos disponibles, fue posible identificar varios tipos de asociaciones biometeorológicas entre la ocurrencia de efectos meteoro-trópicos, el comportamiento de las infecciones respiratorias agudas y la incidencia de la COVID-19 en las escalas local y regional, cuyas características se explican en los Casos de Estudio siguientes.

REGULARIDADES Y ASOCIACIONES EN LA FASE INICIAL DE LA EPIDEMIA

Desde el punto de vista biometeorológico, el tránsito estacional del invierno al verano en Cuba presenta varias regularidades conocidas (Lecha, 2019), las cuales ocurren por características muy específicas del clima local o por la mayor variabilidad del estado del tiempo en esta época del año; y como consecuencia, se originan varios tipos de efectos meteoro-trópicos con capacidad de actuar como un factor predisponente en la ocurrencia de crisis de salud, por ejemplo: largos períodos de días sin lluvia (sequías), aumento de la contaminación atmosférica por el aumento del polvo en suspensión y la presencia de hollín producto de las quemas de caña e incendios forestales, el aumento notable del contraste térmico entre el día y la noche, la disminución de la nubosidad y el consecuente aumento de los niveles de radiación solar incidente (especialmente del espectro ultravioleta) y de las temperaturas diurnas del aire y del suelo.

Desde el punto de vista de los procesos atmosféricos, en marzo aún es frecuente la llegada de sistemas frontales, los cuales producen generalmente cambios contrastantes del estado del tiempo y pueden generar condiciones biometeorológicas peligrosas, como sucede cuando ocurren líneas de tormentas prefrontales con tiempo severo o forman parte de la formación de intensas bajas extratropicales en zonas cercanas al occidente del país, las cuales dan origen a los conocidos *Sures de Cuaresma*.

Ya en abril los procesos predominantes son, por lo general, de buen tiempo y se caracterizan por la influencia persistente de centros anticiclónicos continentales durante varios días, los cuales en la medida que se van transformando en anticiclones oceánicos, producen cambios a corto plazo importantes de la presión atmosférica, dan lugar a la ocurrencia de días muy cálidos y con sensaciones de calor muy intenso, afectando a la población local que en los meses precedentes no ha estado expuesta a tales temperaturas porque las condiciones invernales o confortables del estado del tiempo eran las predominantes.

Entonces, tal diversidad de los posibles efectos meteoro-trópicos, genera regularmente un aumento estacional de las crisis de salud entre los grupos o individuos más vulnerables de la población local, las cuales se caracterizan en esta época del año por aumentos de las alteraciones de la presión arterial, de las crisis cardiovasculares, de las crisis agudas de asma bronquial (CAAB) y al final del período poco lluvioso (bimestre marzo-abril), el aumento de enfermedades dermatológicas, de la vista y efectos fisiológicos diversos asociados a las sensaciones diurnas de calor muy intenso.

En las primeras 18 semanas del presente año la incidencia de las IRA en el municipio de Santa Clara fue predominante dentro del conjunto de las enfermedades respiratorias, con más del 60% en ese período y llegando a más del 80 % entre las semanas epidemiológicas 13 y 15. Las CAAB fueron la segunda enfermedad respiratoria de mayor frecuencia, con máximos principalmente en las semanas más frías del primer cuatrimestre del año, seguida por los síndromes febriles y las neumonías, ambas con frecuencias semanales inferiores al 10%. Desde la semana 16 ya se inicia un descenso en la ocurrencia semanal de las IRA, pero aparece un aumento de los síndromes febriles a partir de la semana 17, dado por un incremento significativo de los casos de dengue en este municipio, brote que estuvo motivado por el inicio adelantado de las lluvias de primavera en la segunda quincena de abril y el desarrollo consecuente de las poblaciones del mosquito *Aedes Aegypti*.

Es en este contexto que aparece la COVID-19 en el país el día 11 de marzo, con el reporte de tres turistas italianos positivos en el municipio de Trinidad. Casi simultáneamente Santa Clara confirma también su primer caso y dos nuevos casos más el día 18. A partir del 22 de marzo comienzan los reportes de casos positivos desde otros municipios de la provincia.

Como muestra la combinación de la figura 1, dentro del período de máxima incidencia de las IRA en el municipio de Santa Clara se observan dos máximos bien definidos. El primero, ocurre los días 23 y 24 de marzo con más de 500 casos cada uno (pico 1) y el segundo ocurre entre el 31 de marzo y el 2 de abril, con un promedio de 416 casos diarios (pico 2). Entre cinco y siete días después se observan aumentos de los casos positivos a la COVID-19 en varios municipios del nordeste de la provincia.

El primer máximo sucede durante la influencia de un anticiclón continental migratorio en proceso de transformación, en el cual hubo importantes cambios de las condiciones meteorológicas; pero el segundo máximo tuvo lugar asociado a la entrada de un frente frío que provocó un cambio de tiempo muy contrastante sobre el centro del país, por el paso de las sensaciones de hipoxia (zonas rojas) antes de la entrada del frente, a las sensaciones de

hiperoxia (zonas azules) posteriores a la llegada del mismo (ver figura 2).

El monitoreo diario y el pronóstico de los efectos meteoro-trópicos, a partir de los cambios en 24 horas del contenido de oxígeno en el aire (el índice DOA) se apoya totalmente en bases de datos, programas y procesos informáticos automatizados que son la base de los diferentes tipos de pronósticos biometeorológicos.

ASOCIACIÓN DE LAS IRA CON LA INFLUENCIA DEL POLVO DEL SAHARA

Desde hace años se ha estado reportando la llegada durante los primeros meses del verano de nubes de polvo procedentes del Sahara hasta la región del Caribe y Cuba. Diversos estudios realizados demuestran que el contenido de este polvo incluye numerosos agentes patógenos y elementos contaminantes que son capaces de afectar la salud humana, provocando por lo general aumentos de enfermedades respiratorias, asma bronquial, crisis alérgicas, trastornos en la vista y dermatológicos, por el contacto directo con las partículas de polvo.

Este año la llegada de nubes de polvo hasta Cuba sucedió más temprano que en años anteriores, con una extensión y concentración también mayor a lo usual. La figura 3 muestra la intensa nube de polvo que influyó durante varios días sobre una extensa área del océano Atlántico, el mar Caribe y Cuba a partir del 10 de abril de 2020. El máximo secundario de las IRA que se muestra en la figura 1a y que ocurre después del 10 de abril estuvo en estrecha asociación con la influencia de esta nube de polvo, al igual que los máximos de IRA siguientes los días 15 y 18 de abril.

Como consecuencia del aumento de las IRA en un período coincidente con el aumento de los casos positivos de la COVID-19 en la ciudad de Santa Clara, especialmente por el evento

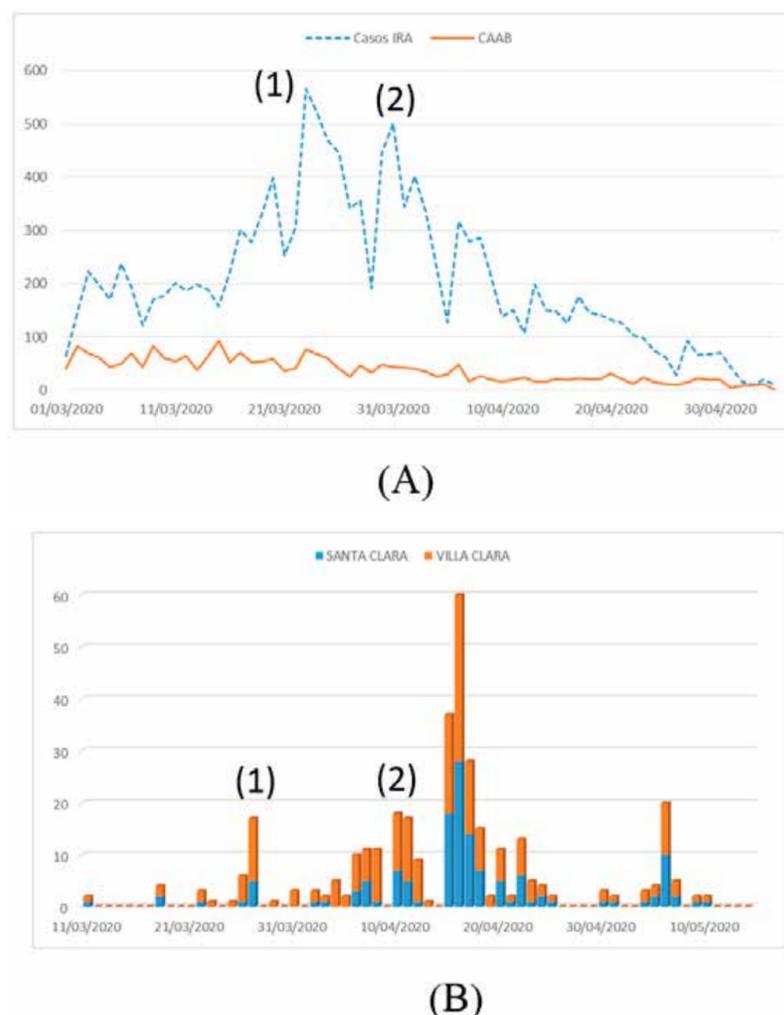


Figura 1. A) Marcha diaria de las IRA y CAAB en Santa Clara durante el bimestre marzo-abril de 2020; B) Incidencia diaria sincrónica de la Covid-19 en Santa Clara y en Villa Clara.

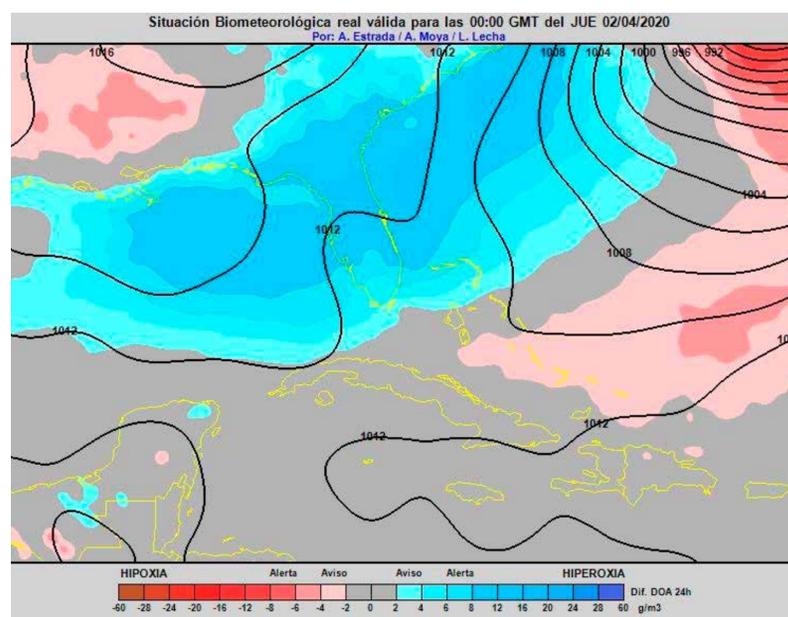


Figura 2. Mapa del cambio en 24 horas del contenido de oxígeno del aire sobre Cuba correspondiente al día 2 de abril de 2020 a las 7 pm hora local.

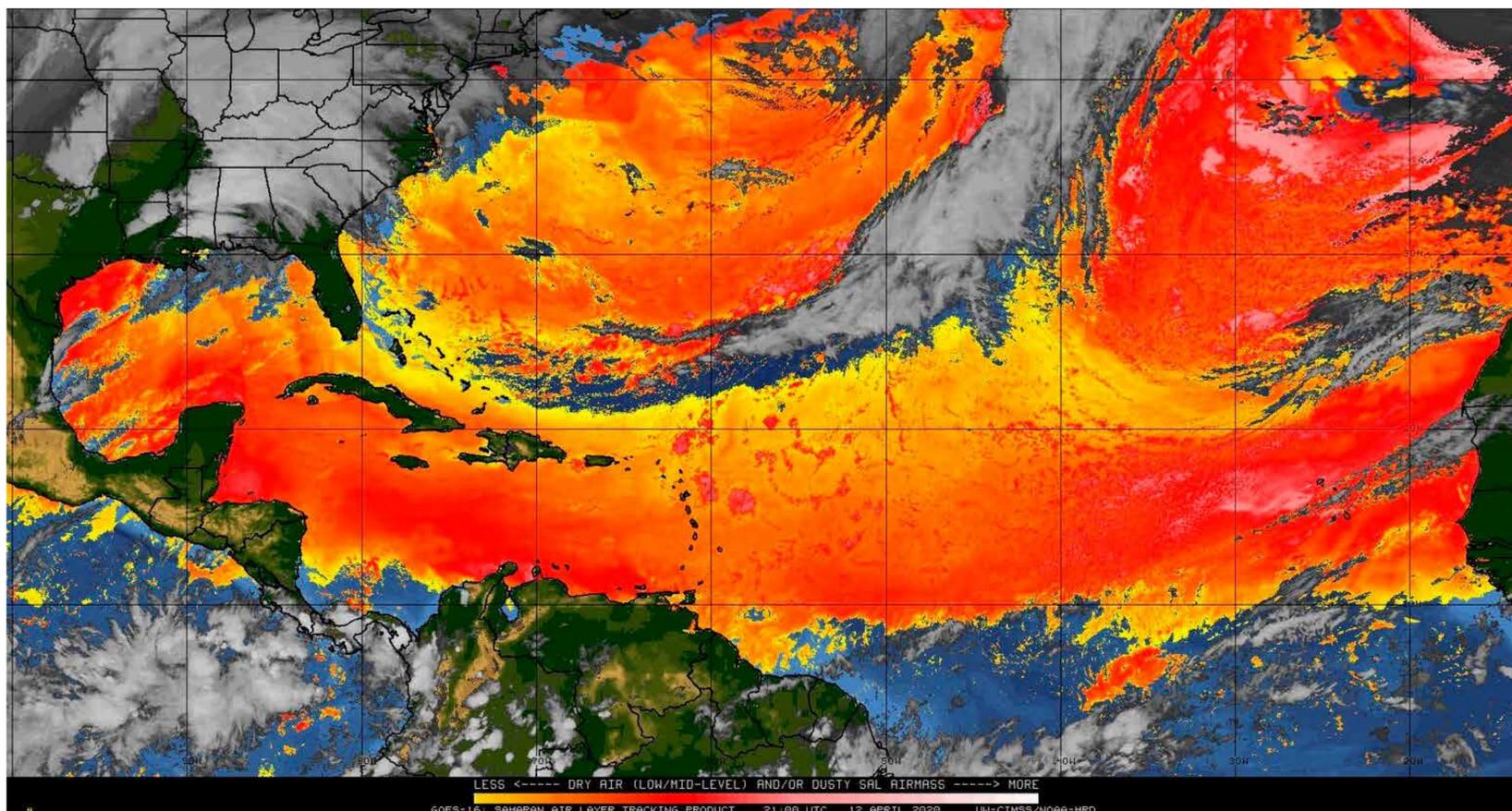


Figura 3. Intensa nube de polvo afectando a Cuba el 12 de abril de 2020 a las 21:00 GMT.

Fuente: <http://tropic.ssec.wisc.edu/real-time/sal/salmain.php?&prod=split&time=>

del Hogar de Ancianos No. 3 de dicha ciudad, se produjo una tensión adicional sobre los servicios de urgencia médica y elevó el riesgo de confundir los posibles pacientes portadores de COVID-19 con los casos debidos a otras enfermedades respiratorias. Esto llevó a la decisión de aislar también todos los casos con síntomas respiratorios y hacerles después las pruebas rápidas o los test PCR, priorizando así la salud del personal médico expuesto en los servicios de urgencia y cortando de raíz la posible transmisión local.

A partir de esta ejemplo inicial, el monitoreo y pronóstico de la influencia de las nubes de polvo se mantuvo durante todo el período siguiente, siendo una buena experiencia de asociación y uso de las tecnologías digitales sustentadas en satélites meteorológicos como apoyo a los servicios meteorológicos para el manejo epidemiológico de la epidemia y el proceso de toma de decisiones.

USO DE LA APLICACIÓN *OxyAlert* _ *BETA* PARA EL MANEJO DE LOS CASOS CRÍTICOS Y GRAVES

La aplicación *OxyAlert* _ *Beta* se diseñó y programó para teléfonos celulares con sistema operativo Androide, con el propósito de calcular y pronosticar hasta con 72 horas de antelación la variación en 24 horas (interdiaria) del contenido de oxígeno del aire en el lugar del mundo donde se encuentre su usuario, para lo cual usan las salidas del modelo global *Global Forecast System* (GFS, 2020) y las funciones de localización de los teléfonos móviles. El personal médico en contacto con los pacientes activos, y en particular con los casos críticos y graves, puede disponer de los resultados que ofrece esta aplicación, tanto en forma de texto como mediante gráficos del índice DOA y de la marcha interdiaria pronosticada del contenido de oxígeno del aire (ver figura 4).

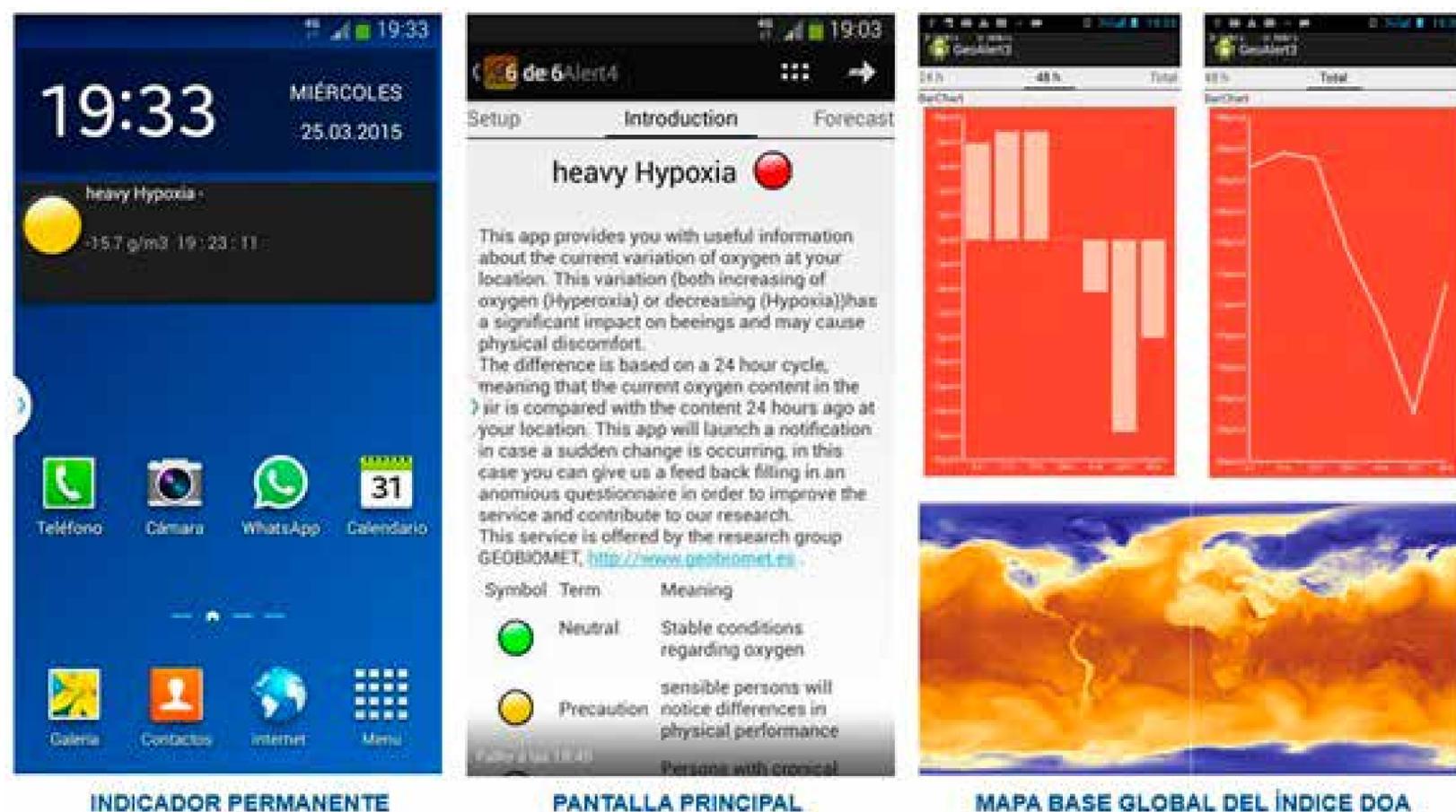


Figura 4. Pantallas diferentes de la aplicación *OxyAlert_Beta* y mapa base del índice DOA global.

En Villa Clara durante la primera etapa de la epidemia de COVID-19 fallecieron doce pacientes: seis hombres y seis mujeres, todos con más de 50 años, diez con más de 70 años y siete con más de 80 años, en su mayoría relacionados con el evento de transmisión local ocurrido en el Hogar de Ancianos No. 3 de Santa Clara, o sea, una población altamente vulnerable.

La mayoría de los casos fallecidos en Villa Clara ocurrieron a razón de uno por día y en días diferentes; pero hay una concentración de casos fallecidos en Cuba y en la provincia entre los días 22 y 28 de abril de 2020. Como se observa en la combinación gráfica de la figura 5, este período se caracterizó por cambios interdiarios contrastantes del estado del tiempo, provocados por la aproximación e influencia sobre Cuba de un frente frío, seguido de altas presiones continentales, entre los días 26 y 28 de abril, fechas en que ocurren los máximos de mortalidad asociada a la COVID-19 en Cuba y en Villa Clara. Antes de la llegada del frente predominaron las sensaciones de hipoxia en la región y después del paso del frente se imponen condiciones de hiperoxia (zonas azules en los mapas de la figura 5), justificando el cambio

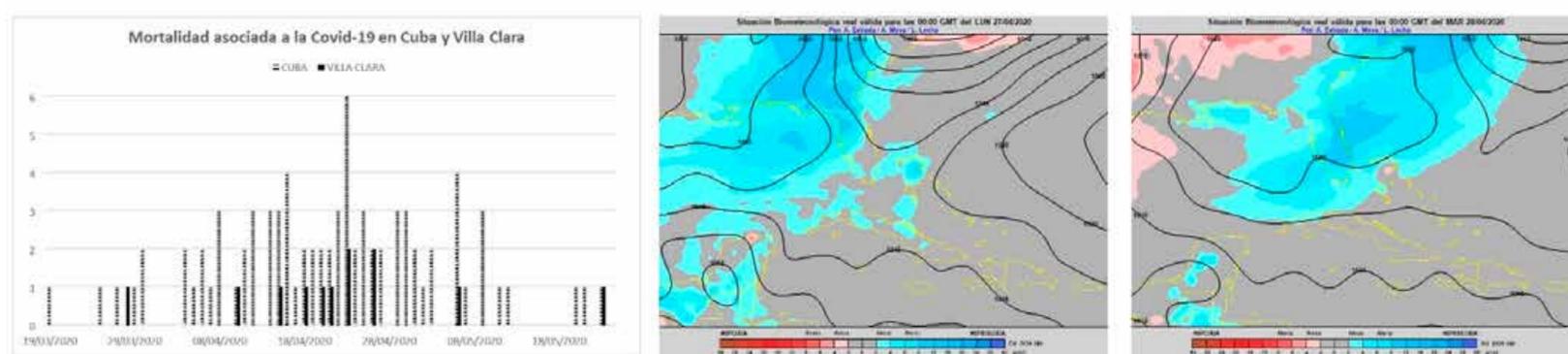


Figura 5. Combinación gráfica que relaciona los máximos de la mortalidad diaria por COVID-19 en Cuba y Villa Clara con la ocurrencia de efectos meteorológico-trópicos los días 27 y 28 de abril de 2020, asociados a condiciones biometeorológicas de hiperoxia por cambio de tiempo muy contrastante.

muy contrastante del estado del tiempo y la ocurrencia de efectos meteoro-trópicos con capacidad de afectar la salud de las personas vulnerables, como era el caso de los pacientes activos en estado crítico y grave.

En nueve de los doce fallecidos en Villa Clara (75%) fue posible establecer una asociación entre la fecha del deceso con la presencia de efectos meteoro-trópicos, razón por la cual el uso de las técnicas y procesos informáticos son esenciales para elevar la rapidez y calidad de los servicios meteorológicos, y especialmente de los pronósticos biometeorológicos, como parte del variado conjunto de herramientas necesarias para la prevención de la mortalidad asociada a los pacientes más vulnerables afectados por la COVID-19.

DISCUSIÓN

Es cierto que no existen aún datos suficientes para evaluar la posible relación estadística que pudiera existir entre el comportamiento de determinadas variables meteorológicas individuales y la incidencia diaria de la COVID-19. De hecho, ya se mencionó que los resultados existentes en este sentido han reportado la no existencia de relaciones directas entre la transmisión de la enfermedad y la dinámica de varios elementos meteorológicos individuales. Sin embargo, los estudios referidos no utilizan índices complejos como la densidad parcial del oxígeno del aire, por lo cual la aplicación de pronósticos biometeorológicos personalizados como los descritos en el presente estudio resultan herramientas muy efectivas, aún en proceso de desarrollo, para el enfrentamiento a esta pandemia.

Las técnicas y procedimientos más actuales, derivados de la aplicación masiva de las tecnologías informáticas y las comunicaciones en los servicios meteorológicos, han contribuido al desarrollo y empleo de los nuevos modelos numéricos de pronóstico de variables meteorológicas, refuerzan el valor aplicado, la confiabilidad y el impacto de los servicios habituales o especializados de pronóstico del tiempo, desde el proceso de captación de los datos, su transmisión y distribución global como parte de la Vigilancia Meteorológica Mundial, hasta el uso de potentes sistemas de computadoras que permiten la corrida de estos complejos modelos numéricos, encaminados a identificar y avisar con tiempo suficiente de antelación la presencia de efectos meteoro-trópicos, a partir de los cambios diarios e interdiarios de la densidad parcial del oxígeno en el aire.

Este complicado proceso operacional que ocurre en las escalas global, regional, nacional y local, se puede realizar actualmente en muy poco tiempo gracias a las técnicas y procedimientos de las tecnologías informáticas y de las comunicaciones, de manera que los pronósticos del tiempo especializados para el sector de la salud humana (aplicable a otros sectores y usuarios) pueden llegar a ser personalizados, de tal forma que las contrapartes médica o epidemiológica pueden diseñar y aplicar acciones terapéuticas y/o preventivas en grupos de población o individualmente, en el contexto de los procedimientos vigentes para el tratamiento de los procesos respiratorios graves que sufren los pacientes con COVID-19, especialmente cuando llegan a la fase de necesitar respiradores artificiales.

Como ventaja adicional, el uso de la aplicación *OxyAlert_Beta* permite al personal médico de cualquier lugar del mundo estar permanentemente informado sobre el comportamiento de este índice complejo hasta con 72 horas de antelación, actuando así de manera muy efectiva en la prevención y mitigación de la elevada mortalidad asociada a esta enfermedad.

Los Casos de Estudio presentados muestran una diversidad importante de asociaciones entre la COVID-19 y las condiciones biometeorológicas influyentes, tanto con procesos meteorológicos regionales de escala sinóptica como los frentes, anticiclones continentales migratorios o la presencia de nubes de polvo del Sahara, como con los contrastes interdiarios locales asociados a la variabilidad del contenido de oxígeno del aire.

También los efectos meteoro-trópicos pueden actuar como agentes predisponentes para el aumento de la ocurrencia de otras enfermedades respiratorias, enmascarando los casos positivos a la COVID-19, complicando el proceso de pesquisa que se efectúa a nivel comunitario y provocando mayores obstáculos en las labores de identificación y aislamiento oportuno de los casos positivos.

CONCLUSIONES

El desarrollo de las tecnologías de la información y de las comunicaciones, integradas con rapidez en la Meteorología, ha sido esencial para transformar esta ciencia, permitiendo el diseño, desarrollo y aplicación de novedosos sistemas de observación, monitoreo y transmisión de los datos, la solución de complejos sistemas de ecuaciones diferenciales como fundamento de eficientes servicios meteorológicos y climáticos, apoyados en modelos numéricos de elevada complejidad, todo lo cual permite por primera vez el uso de los servicios especializados de pronósticos biometeorológicos como contribución efectiva y rápida al enfrentamiento de las complicaciones más graves y no deseadas de la COVID-19 en Cuba y en otras regiones donde puedan ser implementados.

AGRADECIMIENTOS

Es necesario agradecer la ayuda y facilidades dadas por el Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología del Ministerio de Salud Pública en Villa Clara, así como por el departamento de estadísticas de la Dirección Municipal de Salud de Santa Clara para la obtención de los datos epidemiológicos utilizados en este trabajo, así como por los consejos y sugerencias recibidas para facilitar la interpretación y el uso aplicado de los pronósticos biometeorológicos.

REFERENCIAS

Arroquia-Cuadros, B., Marqués-Mateu, Á., Sebastia, L. y Fdez-Arróyabe, P. (2020). A web-based support system for biometeorological research. *Int J Biometeorol.* <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01985-y>

- Domínguez, Nuño (9 de octubre de 2019). Premio Nobel de Medicina para los descubridores del sensor de oxígeno esencial para la vida animal. [Periódico El País, España]. Recuperado de: https://elpais.com/elpais/2019/10/07/ciencia/1570432506_098731.html.
- Drumond, B., Angelo, J., Xavier, D.R., Catao, R., Gurgel, H. y Barcellos, C. (2020). Dengue spatiotemporal dynamics in the Federal District, Brazil: occurrence and permanence of epidemics. *Ciencia y Salud Colectiva*, 25(5); 1641-1652. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020255.32952019>.
- Estrada, A., Moya, A., Lecha, L. y Ciómina, E. (2007). Los pronósticos biometeorológicos: una vía para reducir las crisis de salud en la población cubana. En: Memorias del IV Congreso Cubano Meteorología, La Habana, diciembre 4-8.
- Fdez-Arróyabe, P., Lecha, L. y Ciómina, E. (2008). Development of an international teamwork of biometeorological forecast testers for the validation of PronBiomet health warning system: an applied study. En: Resúmenes del XVIII Congreso de la Soc. Int. Biometeorol., Tokio, Japón, Hum1-O14.
- Fdez-Arróyabe, P., Lecha, L. y Schmidt, F. (2015). Desarrollo de servicios climáticos orientados hacia la salud pública, basados en aplicaciones móviles: OxyAlert. En: Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación; 591:599. Universidad de Zaragoza-AGE. ISBN: 978-84-92522-95-8.
- GFS - Global Forecast System (2020). National Centers for Environmental Information, NOAA. Recuperado de: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>.
- Haltiner, G.J. y Martin, F.L. (1968). *Dynamical and Physical Meteorology*. Ed. Academia, La Habana; 470 pp.
- Lecha, L. (2018). Biometeorological forecasts for health surveillance and prevention of meteor-tropic effects. *Int. Jour. Biomet.*, 62, 5; 741-771. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1405-2/>.
- Lecha, L. (2019). *Pronósticos Biometeorológicos* [eBook]. Ed. Citmatel, La Habana; 210 p. ISBN 978-959-237-752-3.
- Lecha, L. y Delgado, T. (1996). On a regional health watch and warning system. En: Proceedings of the 14th Int. Congress of Biometeorology, Ljubljana, Slovenia, 2, 3; 94-107.
- Lecha, L., Fdez-Arróyabe, P., Ciómina, E. y De la Vega, T. (2010). Validación del servicio global de pronósticos biometeorológicos. Resultados de Cuba y España. En: *Salud y Desastres: experiencias cubanas*, Vol II. Ed. Ciencias Médicas, La Habana; 35-45.
- Lecha, L., Meulenert, A. y García, O. (2013): Validación del servicio de pronósticos biometeorológicos en el estado de Jalisco, México. Parte 1: el modelo numérico y sus características. En: Memorias del XXII Congreso de la Organización Mexicana de Meteorología A.C. y VII Congreso Internacional de Meteorología, Veracruz, Jalisco, México; 22 pp.
- Meteoblue (2020). Influence of weather on Corona-Virus infections. *Meteoblue study Corona-weather 20200320v102.odt*; 17 p. <https://content.meteoblue.com/es/content/view/full/6335>, consultado el 13 de octubre de 2020.

Meteored (2020). Reseña histórica de los modelos de predicción numérica en América. Disponible en: www.meteored.mx/noticias/divulgacion/modelos-de-prediccion-numerica-y-su-uso-en-la-meteorologia.html, consultado el 13 de octubre de 2020.

Moriyama, M., Hugentobler, W.J. y Iwasaki, A. (2020). Seasonality of respiratory viral infections. *Annu Rev Virol*, 7; 2.1-2.19. <https://doi.org/10.1146/annu-rev-virology-012420-022445>.

Ovcharova, V.F. (1981). Cálculo del contenido de oxígeno en el aire sobre la base de parámetros meteorológicos (presión, temperatura y humedad) para el pronóstico de los efectos de las condiciones de hipoxia [en ruso]. *Prob. Climatoterapia, fisioterapia y rehabilitación*, 2; 29-34.

Roach, J. (2020). How altitude relates to prevalence and impacts of Covid-19. *Accuweather*, texto publicado en <https://www.accuweather.com/en/weather-news/coronavirus-daily-briefing-updates-june-28-29/768850>.

Copyright © 2020 Lecha-Estela, L. B.



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.