

# Validación del servicio de pronósticos biometeorológicos en el estado de Jalisco, México. Parte 1: el modelo numérico y sus características.

Luis B. Lecha Estela<sup>1</sup>, Ángel R. Meulenert Peña<sup>2</sup>, Hermes U. Ramírez Sánchez<sup>2</sup> y Alfredo Celis<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudios y Servicios Ambientales (CESAM) de Villa Clara, Cuba  
[luis.lecha@gmail.com](mailto:luis.lecha@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto de Astronomía y Meteorología (IAM) de la Universidad de Guadalajara, Jalisco, México  
[ameulene@astro.iam.udg.mx](mailto:ameulene@astro.iam.udg.mx)

<sup>3</sup> Centro Universitario de Ciencias de la Salud (CUCS) de la Universidad de Guadalajara, Jalisco, México  
[alfredo\\_celis@yahoo.com](mailto:alfredo_celis@yahoo.com)

## RESUMEN

A partir del modelo numérico desarrollado en Cuba por Lecha y Delgado (1996), con el fin de prevenir los efectos de los cambios bruscos del estado del tiempo sobre la salud de la población, Estrada *et. al.*, 2007 actualizaron y perfeccionaron este resultado, dando origen al nuevo modelo de pronóstico biometeorológico "**PronBiomet**", que se fundamenta en el cálculo a escala sinóptica de la diferencia en 24 horas (interdiaria) de la densidad parcial del oxígeno en el aire, a partir de los pronósticos objetivos hasta 180 horas de antelación de la presión atmosférica al nivel del mar, la temperatura y humedad del aire disponibles en la base de datos del Sistema Global de Pronósticos GFS ([http://nomad5.ncep.noaa.gov/ncep\\_data/index.html](http://nomad5.ncep.noaa.gov/ncep_data/index.html)).

En el primer semestre del año 2013 se programa y aplica en las condiciones operativas del Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara una versión del modelo **PronBiomet** personalizada para México, la cual permite disponer de la información necesaria para iniciar la validación del servicio operativo de pronósticos biometeorológicos en el estado de Jalisco. Este proceso se realizará durante un año en instituciones de salud seleccionadas del estado, lo que permitirá hacer al modelo las pruebas y ajustes necesarios, establecer los procedimientos requeridos para su empleo y desarrollar el proceso de capacitación que conlleva el uso operativo del mismo.

En el presente trabajo se explican los aspectos relacionados con el diseño y programación del modelo, sus principales características, las interfaces con los usuarios, los tipos de salidas operacionales y sus ventajas de empleo. Este servicio resulta muy novedoso y útil en las condiciones actuales de enfrentamiento a los efectos desfavorables para la salud humana, asociados a las variaciones del clima y a los cambios bruscos del estado del tiempo.

## INTRODUCCIÓN

El hombre vive inmerso en el medio atmosférico y desde que nace su desarrollo tiene lugar en estrecha y continua interdependencia con el entorno físico-geográfico circundante, que incluye las características predominantes de la variabilidad del clima local y del estado del tiempo diario. Desde la segunda mitad del siglo pasado la comunidad biometeorológica se planteó la tarea de desarrollar sistemas de alerta temprana dirigidos a detectar y prevenir los efectos desfavorables del estado del tiempo sobre el hombre, y en este sentido, han sido 3 las vías principales que se han utilizado para lograr tales propósitos, a saber:

- Los métodos que se fundamentan en el cálculo de los componentes del balance de calor del cuerpo humano.
- Los métodos que consideran los efectos de los distintos tipos de situaciones sinópticas y masas de aire sobre la salud humana, y
- Los métodos de pronóstico que se basan en el comportamiento de índices biometeorológicos complejos que pueden o no incluir los flujos de radiación solar.

También pueden encontrarse aplicaciones mixtas donde se combinan varios de los métodos antes mencionados, como es el caso del modelo cubano "**PronBiomet**", por cuanto éste utiliza la diferencia en 24 horas de la densidad parcial del oxígeno en el aire (índice DOA) como indicador biometeorológico complejo para pronosticar la ocurrencia de los efectos meteorotrópicos; pero considera también la dinámica de cambio y las características biotrópicas de las situaciones sinópticas que influyen sobre la región de pronóstico.

Los primeros métodos operativos de pronósticos biometeorológicos comienzan a aparecer a mediados de la década de los 90 del siglo pasado. Es, precisamente, a comienzos de esta década cuando el Prof. Wolf H. Weihe (1992) define a la biometeorología como: "*una ciencia de adaptación*", introduciendo así un nuevo concepto dinámico que ponía la atención en las capacidades de los individuos de lidiar con las condiciones del entorno atmosférico y otras influencias medioambientales.

Un año después Bucher y Haase (1993) señalan conceptos fundamentales que es apropiado recordar:

- "La naturaleza de las denominadas reacciones meteorotrópicas es una función de la intensidad de los factores actuantes y de la exposición a ellos, así como de la capacidad de adaptación del individuo.
- La tarea de la investigación médico-meteorológica es considerar la influencia del tiempo sobre el organismo humano, en la llamada escala de tiempo biosinóptica. Una tarea posterior es estimar la contribución del tiempo a las condiciones medioambientales de los seres humanos.
- Con la excepción de las condiciones extremas, los cambios de tiempos no pueden causar las enfermedades. Pueden, sin embargo, ser un disparador para la ocurrencia de enfermedades agudas o contribuir al agravamiento de problemas crónicos, si la habilidad del organismo para adaptarse a estos cambios no es suficiente."

En este mismo período, en los Estados Unidos el Prof. Laurence S. Kalkstein lideró el desarrollo de las investigaciones que relacionaron la mortalidad humana con los cambios de tiempo, sobre todo durante la ocurrencia de olas de calor (Kalkstein, 1988; Kalkstein, 1991; Kalkstein, 1995). También él estuvo involucrado en los estudios sobre cómo algunos tipos específicos de masas de aire pueden afectar la salud humana (Kalkstein y Davies, 1989; Kalkstein, 1996), hasta llegar al desarrollo del primer Sistema de Avisos y Alertas contra las Olas de Calor de los Estados Unidos, que se aplicó en la ciudad de Filadelfia (Kalkstein, Jamason y Greene, 1996).

En la actualidad, son muy pocos los países que ofrecen servicios operativos de pronósticos biometeorológicos. Uno de los pioneros en este sentido fue Rusia. En Alemania se brindan pronósticos biometeorológicos operativos desde los años 90, y hoy cuentan con una amplia gama de productos que incluyen el desarrollo de aplicaciones para teléfonos móviles. Además, científicos de la Universidad de Friburgo y del Instituto de Biometeorología de esa misma ciudad han logrado modelos muy precisos para el cálculo del balance de calor del cuerpo humano (Jendritzky, *et. al.*, 1990), así como para la definición posterior y cálculo muy detallado de un índice térmico universal.

En Cuba el diseño y desarrollo de los pronósticos biometeorológicos actuales tuvo sus antecedentes en los resultados de las investigaciones médico-meteorológicas existentes en los antiguos países socialistas, especialmente en la URSS. Como resultado más significativo de las investigaciones biometeorológicas realizadas en Cuba durante los años 90 del pasado siglo, se diseñó y puso a punto el primer Sistema de Avisos y Alertas para la Salud (SAAS) que estaba basado en las variaciones interdiarias del índice DOA a escala sinóptica. El sistema se

programó sobre las herramientas del programa TeleMap GIS (Lecha y Delgado, 1996), y se probó con éxito en las instituciones de salud de las provincias de Villa Clara y Cienfuegos, durante los inviernos de 1995-1996 y 1996-1997, respectivamente.

Dando continuidad a esta primera experiencia, en la actualidad, el uso del modelo numérico **“PronBiomet”** desarrollado por Estrada, *et. al.* (2007) ha hecho posible la aplicación operativa del servicio de pronósticos biometeorológicos en Cuba. El modelo accede a través de Internet a las bases de datos del Sistema Global de Pronósticos (GFS) y usa los valores pronosticados de la temperatura del aire a 2 m, la presión atmosférica reducida al nivel medio del mar y la humedad al nivel de superficie, desde tiempo real hasta 180 horas de antelación (una semana), que son los parámetros necesarios para hacer los cálculos del índice **DOA**. La corrida del modelo se inicializa diariamente y de forma automática a las 00:00 GMT.

La difusión nacional para Cuba e internacional para la región OMM-IV del servicio de pronósticos biometeorológicos se realiza mediante un esfuerzo conjunto del Centro de Estudios y Servicios Ambientales y del Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, Cuba, a través del sitio Web <http://www.cmp.vcl.cu/producto/show/codproducto/000033>.

Entre diciembre de 2006 y mayo de 2008 los resultados del modelo y la efectividad de los pronósticos emitidos se validaron contra la cantidad diaria de atenciones reportadas por los servicios médicos de urgencia de los municipios de Sagua la Grande en Villa Clara y Playa en la ciudad de La Habana. En particular se consideró la ocurrencia de las crisis agudas de asma bronquial (CAAB) e hipertensivas (HTA), las enfermedades cardiovasculares (ECV), los accidentes vasculares-encefálicos (AVE), las migrañas y cefaleas (CEFA) y algunos tipos de infecciones respiratorias agudas (IRA).

En esta primera etapa, la validación mostró mayor efectividad en los meses invernales que durante el verano, y también se evidenciaron diferencias entre las enfermedades escogidas (Lecha *et. al.*, 2009), siendo muy satisfactorios en las CAAB (> 95%), satisfactorios en las HTA, AVE y CEFA, con efectividad entre 81 y 85 %; y aceptables en las enfermedades del corazón (75 %). Un análisis crítico efectuado con los resultados de esta primera validación demostró que era necesario aumentar la resolución espacial del modelo durante los meses de verano e incorporar el comportamiento de los procesos de mesoescala, o sea, considerar no sólo la variación interdiaria del contenido de oxígeno del aire, sino los cambios que ocurren en intervalos menores de tiempo, por ejemplo: en períodos de 6 ó 12 horas.

Una vez aplicadas las correcciones pertinentes, en la segunda etapa de la validación del modelo en Cuba se lograron resultados superiores: la efectividad aumentó casi 5 % y se inició su aplicación en otros países como España, donde también han sido muy satisfactorios (Fernández de Arróyabe *et. al.*, 2008; Lecha *et. al.*, 2009). En el primer semestre del año 2013 se programa una variante personalizada del modelo **“PronBiomet”** para su validación mediante un proyecto interdisciplinario en instituciones de salud del estado de Jalisco, México.

## **FUNDAMENTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL MODELO “PRONBIOMET”**

El organismo humano responde tanto a los cambios bruscos del tiempo como a las variaciones estacionales (Voronin, 1954). La respuesta del organismo humano ante estos cambios se observa fundamentalmente en el aumento de la actividad nerviosa, los cambios bruscos del sistema termorregulador y del balance de calor del cuerpo, así como en la actividad cardiovascular (Ovcharova, 1987).

Gracias a la capacidad individual de adaptación, la mayoría de las veces esta respuesta transcurre de forma natural; pero bajo condiciones muy específicas, al sobrepasarse ciertos umbrales de impacto, ocurren reacciones de carácter patológico relacionadas con los cambios contrastantes del estado del tiempo (Voronin *et al.*, 1958). A estas reacciones se les conoce como “respuestas meteoro-patológicas o meteoro-trópicas” de la población local (Ovcharova, 1958).

Las condiciones del tiempo *no producen enfermedades*, sino que actúan como un *factor de riesgo o predisponente* para la ocurrencia de crisis de salud en personas que ya padecen una enfermedad determinada, lo cual se explica en mayor o menor medida según se comporte la capacidad individual de adaptación ante el cambio brusco del complejo meteorológico (Fig. 1).

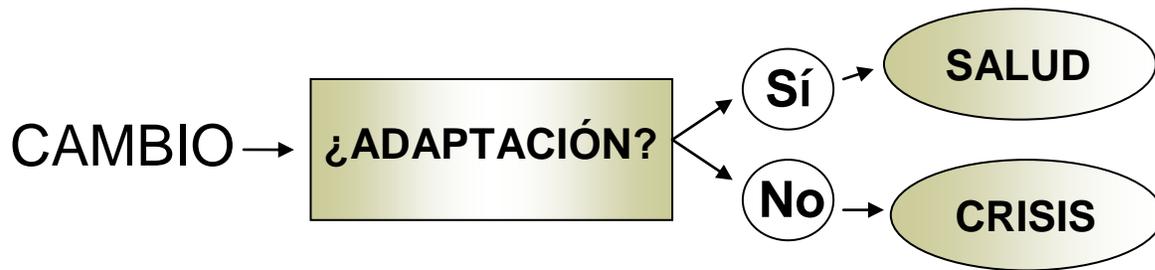


Fig. 1. Esquema simple de los efectos del tiempo sobre los seres vivos.

Es la propia Ovcharova (1963), la que establece experimentalmente una asociación entre la actividad nerviosa superior de animales de laboratorio y el intercambio gaseoso de éstos con el medio circundante, lo que la lleva a proponer más adelante el uso del contenido de oxígeno del aire como elemento bioindicador del efecto de los cambios del estado del tiempo sobre la salud humana (Ovcharova, 1981).

Tabla 1. Escalas de referencia para considerar la adaptación de las poblaciones a la variabilidad del tiempo, en función de la latitud geográfica y época del año.

Condición biometeorológica	Latitud baja ( $\leq 30^\circ$ )	Latitud media ( $30.1^\circ$ a $60^\circ$ )	Latitud alta ( $> 60^\circ$ )
Hiperoxia extrema	> 10.0	> 20.0	> 30.0
Hiperoxia muy fuerte	8.1 a 10.0	16.1 a 20.0	24.1 a 30.0
Hiperoxia fuerte	6.1 a 8.0	12.1 a 16.0	18.1 a 24.0
Hiperoxia moderada	4.1 a 6.0	8.1 a 12.0	12.1 a 18.0
Hiperoxia débil	2.1 a 4.0	4.1 a 8.0	6.1 a 12.0
ZONA NEUTRAL	-2.0 a 2.0	-4.0 a 4.0	-6.0 a 6.0
Hipoxia débil	-2.1 a -4.0	-4.1 a -8.0	-6.1 a -12.0
Hipoxia moderada	-4.1 a -6.0	-8.1 a -12.0	-12.1 a -18.0
Hipoxia fuerte	-6.1 a -8.0	-12.1 a -16.0	-18.1 a -24.0
Hipoxia muy fuerte	-8.1 a -10.0	-16.1 a -20.0	-24.1 a -30.0
Hipoxia extrema	< -10.0	< -20.0	< -30.0

Entonces, debido a que la intensidad y extensión de los efectos meteoro-trópicos depende de la capacidad de adaptación de las poblaciones expuestas; y esta capacidad a su vez, depende de otros factores importantes como la edad, el sexo, el estado general de salud, la época del año y la región de residencia, entre otros aspectos, las salidas de los pronósticos biometeorológicos deben ajustarse a las características de la población a que están dirigidos, y por ello es conveniente no aplicar una escala meteoro-tropical única a la leyenda del índice DOA en los mapas biometeorológicos, sino que debe permitirse la posibilidad de modificar los niveles de respuesta del modelo en función de la meteorolabilidad estimada de cada población (Tabla 1).

Por tanto, en el modelo el tamaño del intervalo de la zona neutral para las variaciones del índice DOA cambia con la latitud geográfica y la época del año; y consecuentemente, los restantes intervalos de la escala de clasificación se ajustan para considerar la ocurrencia de los posibles efectos meteoro-tropicos entre la población menos adaptada.

### **El ritmo del tiempo**

La variabilidad del estado del tiempo se expresa tanto espacial como temporalmente. En el primer caso el tiempo cambia de un lugar a otro, dando condiciones meteorológicas diferentes entre localidades distantes unas de otras; pero también cambia con el tiempo cronológico, pues las condiciones meteorológicas son diferentes en los distintos momentos del día (la madrugada, la tarde, etc.). Esta variabilidad del estado del tiempo ejerce efectos específicos y no específicos sobre la fisiología de los seres vivos y condiciona la respuesta meteoro-tropical de éstos, especialmente cuando los cambios son muy bruscos y contrastantes o durante el impacto de fenómenos meteorológicos peligrosos.

El ritmo del tiempo se puede estudiar según el comportamiento continuo de la marcha diaria o interdiaria de los principales elementos meteorológicos. La marcha diaria es la que transcurre dentro de las 24 horas de un mismo día y se utiliza para evaluar los contrastes entre los diferentes momentos del día (por ejemplo: día versus noche); pero la marcha interdiaria se utiliza en función de evaluar el grado de contraste de los elementos meteorológicos medidos a la misma hora durante varios días consecutivos. Son dos tipos de variaciones temporales, una está contenida dentro de la otra y sus efectos sobre los seres vivos se superponen.

La variabilidad diaria e interdiaria de los elementos meteorológicos se utiliza para estudiar los efectos del estado del tiempo sobre diferentes actividades del hombre, dentro de la llamada escala meteorológica; mientras que los cambios anuales y multianuales se tienen en cuenta, fundamentalmente, en los estudios y análisis dentro de la escala climática. Esta diferencia conceptual y metodológica es muy importante, pero frecuentemente se observan confusiones y usos erróneos de los conceptos de clima y tiempo, así como en sus escalas de referencia espacio-temporal para muchos tipos de aplicaciones en importantes actividades socioeconómicas del hombre.

### **El ritmo de las enfermedades**

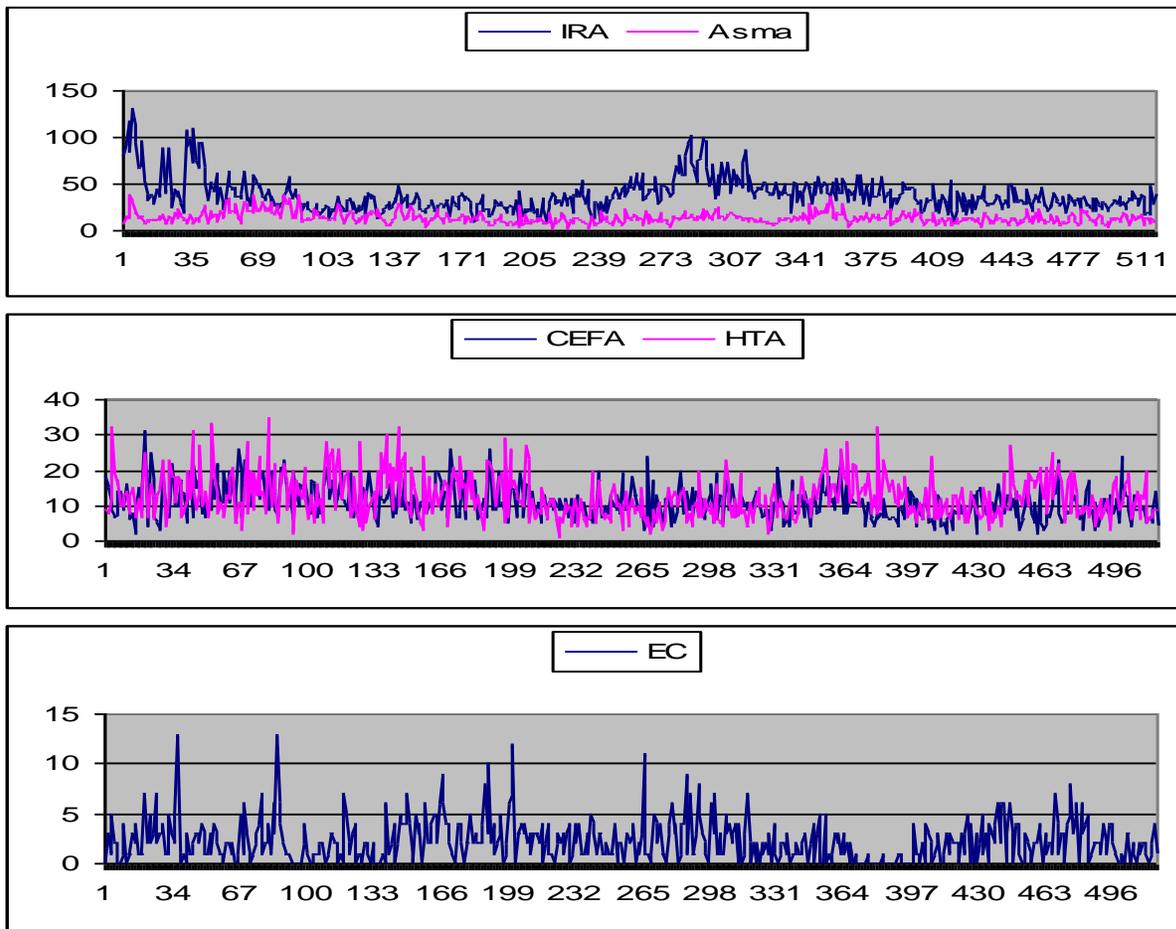
En la fisiología humana y en las actividades de los sistemas fundamentales del cuerpo es posible encontrar varios ritmos. Al estudiar las relaciones entre la salud humana y el estado del tiempo, sería ideal disponer de datos sincrónicos que relacionaran los ritmos de ambos tipos de procesos: la ocurrencia de las crisis de salud por un lado, y el comportamiento de los elementos meteorológicos del otro. Pero no todos los días las condiciones meteorológicas favorecen la ocurrencia de crisis de salud; y además de los estímulos asociados a los cambios de tiempo, sobre la salud humana inciden muchos otros factores ambientales, tales como: la

contaminación atmosférica, las condiciones higiénico-sanitarias, etc.; y también sucede que cuando el tiempo cambia bruscamente, no todos los pacientes de una enfermedad meteorotrópica como el asma bronquial experimentan crisis significativas de salud, porque en ello también está la influencia de la edad, el sexo, el estado general de salud del individuo y muchos otros factores objetivos que determinan la meteorolabilidad individual.

Entonces, cuando a partir de fuentes médicas confiables se identifica que han ocurrido en poco tiempo numerosas crisis de salud, en una población dada, son dos las condiciones necesarias para establecer el origen meteorotrópico de las mismas:

1. El sincronismo espacial de los máximos de la enfermedad, o sea, que el máximo se observe simultáneamente en varios centros de salud de la misma ciudad o en varios municipios vecinos de una misma provincia, y
2. La magnitud del máximo de la enfermedad exceda en más de 150 % el valor medio de la misma enfermedad en el mes correspondiente.

Entonces, después de haber asegurado la calidad y representatividad de los datos médicos de ocurrencia diaria de las atenciones realizadas en los servicios de urgencia de uno o varios hospitales, es posible observar cierto ritmo en la ocurrencia de los máximos diarios de algunas enfermedades lo cual permite ver directamente la asociación que se va estableciendo entre el ritmo del tiempo y el ritmo de las enfermedades (Fig. 2).



**Fig. 2. Ocurrencia diaria de asma, infecciones respiratorias agudas, cefaleas, crisis hipertensivas y enfermedades del corazón en Sagua la Grande, Cuba.**

### Características del modelo PronBiomet.

La presión atmosférica puede ser considerada como la suma de las presiones parciales de los componentes que integran el aire (el hidrógeno, el oxígeno, el vapor de agua, etc.). Entonces, a partir de la ecuación de Dalton y considerando que el oxígeno ocupa el 23.15 % de la masa contenida en 1 m<sup>3</sup> de aire húmedo, la presión parcial del oxígeno disuelto en el aire puede expresarse según la fórmula propuesta por Ovcharova (1981), dada por:

$$DOA = 80.51 \times \frac{P}{T+273} \times \left(1 - \frac{TVA}{P}\right)$$

Donde:

T: es la temperatura del aire en grados Celsius.

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

P: es la presión atmosférica reducida al nivel medio del mar, también en hPa.

El módulo de acceso a la bases de datos en Internet fue desarrollado en lenguaje de programación Delphi, el módulo encargado de realizar el procesamiento matemático de la información, en "C", y el tratamiento gráfico para las salidas fue desarrollado en C++. El empleo de varios lenguajes para el desarrollo del paquete de programas es consecuencia de las facilidades que cada uno ofrece en función de la tarea a cumplimentar.

La salida de los resultados se realiza a través de mapas que muestran las curvas de nivel de las variaciones del índice DOA. Para ello es necesario, en correspondencia con la resolución del mapa base y el área geográfica que este representa, determinar el valor que toma la variable calculada en la coordenada geográfica asociada al píxel, para luego asignarle un color a este último, de acuerdo con la escala de colores predeterminada. Lo anterior conduce a la necesidad de aplicar un método de interpolación que permita convertir la malla regular de puntos empleada para el cálculo, a una nueva malla regular, cuya resolución en píxeles depende del mapa base.

En la Fig. 3 se ofrecen dos ejemplos del formato de las salidas del modelo para México: en una se observa el entorno regional de todo el continente norteamericano y el Caribe; mientras que en la segunda aparece solamente el territorio mexicano y sus zonas geográficas cercanas.

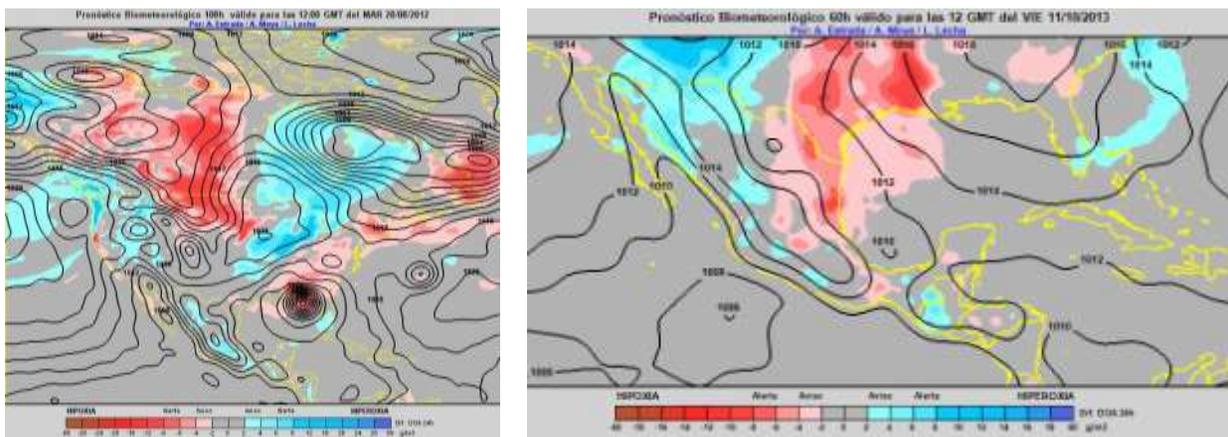


Fig. 3. Salidas personalizadas del modelo "PronBiomet" para México.

Para dar solución a esta nueva tarea se aplicó el método de interpolación para mallas regulares “bicubic spline”, una de las técnicas más empleadas para la obtención de una gran suavidad en la interpolación bidimensional (Press, *et al.*, 1992).

En cada mapa se distinguen áreas en tonos de rojos, que se corresponden con las zonas donde el índice DOA es negativo (hipoxia relativa) y áreas en tonos azules, que se corresponden con zonas de incremento de dicho índice (hiperoxia relativa). Las zonas grises indican que no existen cambios significativos en la densidad de oxígeno en aire durante las últimas 24 horas.

También en cada mapa se incorpora el campo de presión superficial para brindar la información sobre la evolución esperada de las condiciones meteorológicas a la manera tradicional, o sea, se puede apreciar al mismo tiempo la situación sinóptica dominante y sus características termodinámicas, lo que permite ver el proceso de transformación de las masas de aire frío al moverse sobre superficies más cálidas y húmedas. Ello resulta una peculiaridad esencial de las salidas del modelo para su uso biometeorológico.

Como parte de los resultados o salidas complementarias que brinda el modelo, se dispone también de los meteorogramas de 14 localidades escogidas de México, distribuidas a lo largo de toda su variada geografía nacional. Así, además de conocer el pronóstico de la variación espacial del índice DOA, se obtiene también la posibilidad de valorar en puntos fijos su evolución en el tiempo cronológico, hasta con una semana de antelación.

## **RESULTADOS PRELIMINARES**

Al disponer de la infraestructura para elaborar los pronósticos, el modelo numérico y el personal con las habilidades y conocimientos para ofrecer este servicio especializado de pronóstico del tiempo, el Instituto de Astronomía y Meteorología (IAM) de la Universidad de Guadalajara se encuentra ya en condiciones de iniciar el servicio de pronósticos biometeorológicos para el estado de Jalisco.

Se llevan adelante las coordinaciones con la contraparte médica, representada por especialistas del Centro Universitario de Ciencias de la Salud de la UDG y con representantes del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) en el propio estado de Jalisco, para desarrollar un proyecto piloto que permita adecuar y validar este novedoso servicio, según las condiciones específicas de México. Son amplias las posibilidades de investigación y desarrollo que se encuentran en los objetivos de este proyecto. A continuación se muestra uno de los prototipos de pronóstico biometeorológico elaborados, como parte de los primeros pasos que se dan en este sentido.

### **PRONÓSTICO BIOMETEOROLÓGICO**

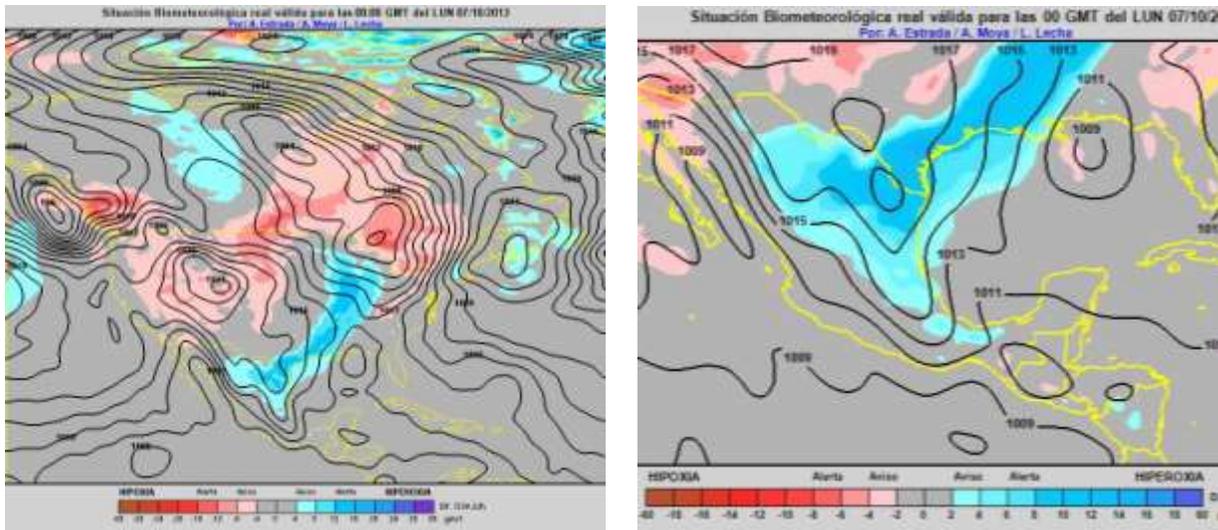
**Válido desde el lunes 7 hasta el lunes 14 de octubre de 2013**

La Tormenta Tropical “Karen” se debilitó considerablemente durante el fin de semana, por lo que la masa de aire continental que se encuentra sobre la porción meridional de los Estados Unidos está penetrando lentamente por la porción nordeste del país. Sensaciones moderadas a fuertes de hiperoxia están afectando el nordeste de México, especialmente los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (Fig. 4), produciendo efectos meteoro-trópicos significativos sobre la salud de la población más sensible.

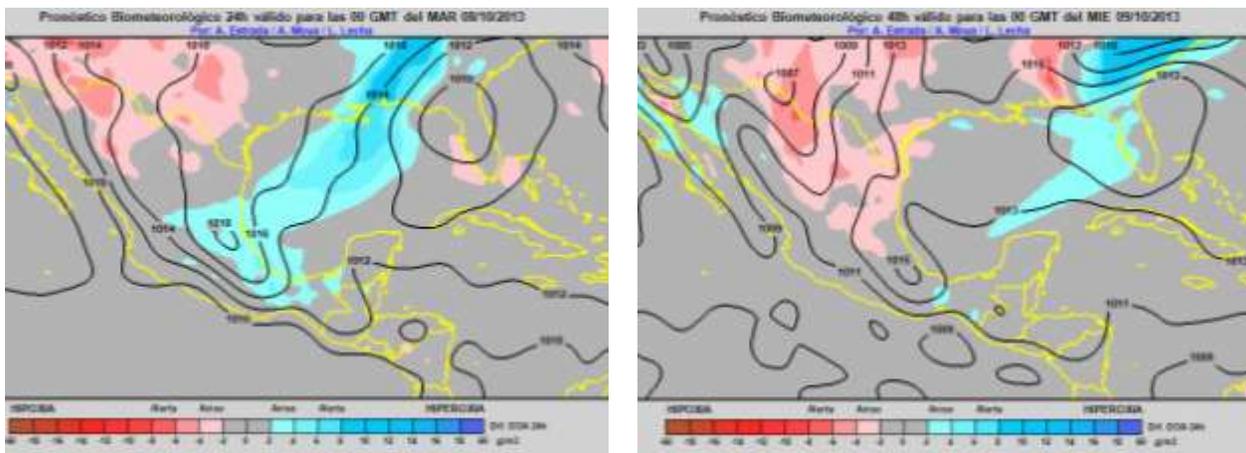
El cambio de tiempo, más debilitado, influirá progresivamente sobre la población de los estados del Golfo durante las próximas 24 a 36 horas, pero será menos contrastante que en el sector nordeste (Fig. 5).

El patrón biometeorológico habitual para la época se recuperará a partir del miércoles, con la ocurrencia de sensaciones de hipoxia débiles a moderadas en el nordeste del país (Fig. 6).

Los meteorogramas de las estaciones situadas en Chihuahua y Monterrey (Fig. 7) reflejan el aumento notable del índice DOA que está ocurriendo por la influencia de la masa de aire continental, y este cambio de tiempo se trasladará a los estados del Golfo progresivamente, pero más debilitado y sin consecuencias para la población del resto del país, incluyendo a Guadalajara.



**Fig. 4** La masa de aire continental ya influye sobre la porción nordeste de México y extenderá su influencia a los restantes estados del Golfo de México durante las próximas 24 a 36 horas.



**Fig. 5** Sensaciones débiles de hiperoxia afectarán los estados del Golfo de México.

**Fig. 6** El patrón biometeorológico habitual para la época se restablecerá el miércoles.

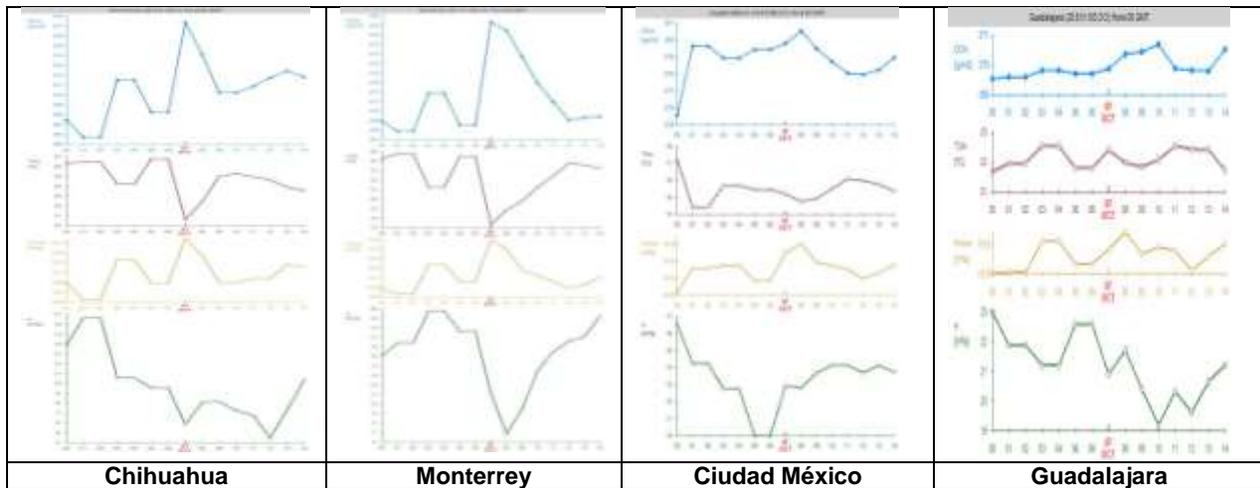


Fig. 7 Meteorogramas de 4 ciudades seleccionadas de México.

## CONCLUSIONES

Ya están dadas las condiciones organizativas, metodológicas y científico-técnicas que permiten iniciar la aplicación personalizada del servicio de pronósticos biometeorológicos en México a partir del modelo objetivo de pronósticos "**PronBiomet**". Este proceso comenzará con la ejecución de un proyecto interdisciplinario encaminado a validar el servicio en las condiciones específicas del estado de Jalisco, comprobar durante un año la efectividad de los pronósticos, determinar cuáles son los efectos meteoro-trópicos más frecuentes entre la población local y en qué momentos del día o época del año ocurren. El servicio se complementará con estudios biometeorológicos que incluyen el monitoreo de la contaminación atmosférica en toda la zona metropolitana de Guadalajara.

## BIBLIOGRAFÍA

Bucher, K. y C. Hasse (1993): Meteorotropy and medical-meteorological forecasts. Rev. Experientia, Part I, 49 (9); pp. 759:768.

Estrada, A., A. Moya, L. Lecha y E. Ciómina (2007): Los pronósticos biometeorológicos: una vía para reducir las crisis de salud en la población cubana. En: Memorias del IV Congreso Cubano de Meteorología, La Habana, diciembre 4-8.

Fernández de Arroyabe, P. y L. Lecha (2008): Validación en el norte de España de dos sistemas de alerta sanitarios basados en la idea del contraste meteorológico extremo. En: Memorias del VII Congreso de la Asoc. Española de Climatología, Madrid, España.

Jendritzky, G., G. Menz, H. Schirmer y W. Schmidt-Kessen (1990): Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioclima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Beiträge d. Akad. F. Raumforschung und Landesplanung, Vol. 114, Hannover.

Kalkstein, L.S. (1988): The impacts of predicted climate change on human mortality. Publications in Climatology, 41: 1-127.

----- (1991): A new approach to evaluate the impact of climate change upon human mortality. Environmental Health Perspectives, 96: 145-150.

----- (1995): Lessons from a very hot summer. *Lancet*, 346: 857-859.

----- (1996): A new spatial synoptic classification: application to air mass analysis. *Int. Journal of Climatology*, 16(8): 1-22.

Kalkstein, L.S. y R.E. Davies (1989): Weather and human mortality: an evaluation of demographic and inter-regional responses in the United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 79: 44-64.

Kalkstein, L.S., P.F. Jamason y J.S. Greene (1996): The Philadelphia hot weather-health watch/warning system: development and application. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(7): 56-64.

Lecha, L. y T. Delgado (1996): On a regional health watch and warning system. En: *Proceedings of the 14<sup>th</sup> Int. Congress of Biometeorology*, Ljubljana, Slovenia; Part 2, Vol. 3; pp. 94:107.

Lecha, L., P. Fernández de Arróyabe, E. Ciómina y T. de la Vega (2009). Validación del servicio global de pronósticos biometeorológicos. Resultados de Cuba y España. En: *Resúmenes del 1er Congreso de Salud y Desastres*, La Habana.

Ovcharova, V.F. (1958): Cambios en la actividad nerviosa superior y en el intercambio gaseoso de animales durante la aclimatación a diferentes condiciones climáticas [en ruso]. *Rev. Problemas de Climatoterapia experimental*, Vol. 3, Moscú; pp. 12:20.

----- (1963): Cambios en la actividad nerviosa superior y en el intercambio gaseoso de animales en diferentes épocas del año [en ruso]. En: *Problemas de la Climatología Compleja*, Edit. AC URSS, Moscú; pp. 141:149.

----- (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]. *Rev. Problemas de Climatoterapia, Fisioterapia y Cultura Física*, Vol. 2; pp. 29:34.

----- (1987): Homeokines in weather hypoxia and hyperoxia. En: *Simposio OMS/OMM de Clima y Salud*, Vol. 2; 149 pp.

Press, W.H., B.P. Flannery, S.A. Teukolsky y W.T. Vetterling (2004): *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. Ed. MES, UCI – Universidad de La Habana; 234 pp.

Voronin, I.M. (1954). Estudio experimental del efecto de los factores climatoterapéuticos sobre el organismo humano [en ruso]. En: *Documentos de la 2da Conferencia Interinstitucional sobre experiencias en la Climatoterapia*. Moscú, Noviembre; pp. 25:27.

Voronin, I.M., F.V. Spiridonova, Y.A. Ayitskii, E.V. Savelev y L.B. Zenfil (1958). Variación del intercambio gaseoso, de la temperatura de la piel y de la reacción espástica en enfermos y sanos durante la aclimatación al clima marítimo de las ciudades de Yalta y Feodosia [en ruso]. *Rev. Problemas de Climatoterapia Experimental*, Vol. 3, Moscú; pp. 34:47.

Weihe, W.H. (1992): Adaptation to weather fluctuations. En: *Resúmenes del Taller Tiempo y Salud Humana*. Ed. A.R. Maarouf, Ottawa, Ontario, Canadá; 1:12.