

Nimbus: Sistema de verificación de pronósticos del tiempo.

Resultados de su aplicación en la Unidad de Hidrometeorología

Nimbus: Weather Forecast Verification System. Results of its application in Hydrometeorological Unit

Lic. Nathalí Valderá Figueredo | *nathali.valdera@insmet.cu* | Centro Nacional de Pronósticos, Instituto de Meteorología

Ing. Angel L. Sánchez Pérez | *angel.sanchez@insmet.cu* | Centro Nacional de Pronósticos, Instituto de Meteorología

Recibido: julio 29 de 2015; aceptado: octubre 8 de 2015.

Resumen

En este trabajo se presenta el sistema Nimbus con miras a la verificación de los pronósticos del tiempo.

En el desarrollo del mismo, en primera instancia, se homogeniza la terminología en los pronósticos emitidos por los especialistas de la Unidad de Hidrometeorología, se definen las regiones, los períodos de pronóstico y los datos considerados para realizar la verificación. En la implementación del sistema se utilizó Java como lenguaje de programación y PostgreSQL como sistema gestor de base de datos. Entre los rasgos más distintivos de Nimbus se encuentran la amigable interfaz gráfica, la capacidad de adaptarse a casi cualquier tipo de pronósticos y la amplia gama de análisis estadísticos que permite el uso de una base de datos. Con vistas a la validación de los resultados del proceso evaluativo, se comparó el valor pronosticado para cada variable meteorológica con las observaciones en tiempo real, calculando manualmente el porcentaje de efectividad del pronóstico emitido, resultado que coincidió en ambos casos. La aplicación de este sistema en la Unidad de Hidrometeorología permitió una notable mejora en la efectividad de los pronósticos emitidos por los especialistas de ese centro, lo cual se evidencia al comparar los resultados entre enero y octubre de 2014 con respecto a igual período de 2013.

PALABRAS CLAVE: Verificación, sistema de evaluación, Nimbus, pronóstico del tiempo.

Abstract

In this work, a system for the verification of the weather forecasts shows up (Nimbus). In its development was necessary, in the first instance, normalize the terminology to use in the forecasts broadcasted by the specialists of this entity, in addition to define regions and periods of forecast, as well as the data that took in account to accomplish the verification. For the implementation of the system was used Java as programming language and PostgreSQL as database management system. Among the most distinctive features of Nimbus are the friendly graphic interface, the capacity of adapting oneself to almost any type of forecasts and to the wide range of statistical analysis that allows the use of a database. To validate the results of the evaluation process, the predicted value for each weather variable was compared against observations in real time, the process was also made by hand, the results coincided in both cases. The application of this system in the Hydrometeorological Unit shows a notable improvement in the effectiveness of the forecasts broadcast by the specialists of this center, which becomes evident when compares the reached results between January

and October of the year 2014 in relation to similar period of 2013.

KEYWORDS: Verification, evaluation system, Nimbus, weather forecast.

Introducción

La atmósfera está en constante evolución y estos cambios repercuten significativamente sobre todos los elementos del planeta. La troposfera es la capa más baja de la atmósfera y en esta se producen los cambios más violentos que a su vez influyen en los restantes componentes del medio ambiente; de ahí, la importancia que tiene para el hombre el conocimiento de estos (Lima *et al.*, 2000). Por tanto, el pronóstico de esos cambios cobra una importancia vital para el hombre, sobre todo en lo concerniente al papel que desempeña la predicción del tiempo en la toma de decisiones ante la posible afectación de un fenómeno meteorológico peligroso. Por esta razón, el campo dedicado a la elaboración de los pronósticos del tiempo constituye una de las principales ramas en la que el Estado cubano ha invertido cuantiosos recursos monetarios (González, 2008). La mejor manera de llevar el control a la calidad de este tipo de producto se debe efectuar mediante un sistema de verificación que detecte el grado de eficiencia del pronóstico emitido por cada especialista; por ello, los servicios meteorológicos del mundo deben tener un medio capaz de llevar a cabo esta tarea. La verificación es una parte indispensable en el trabajo operativo y en las actividades investigativas. Si la metodología de evaluación es correcta, los resultados de este proceso pueden ser útiles para diversos grupos, entre los cuales se encuentran los modeladores, pronosticadores y usuarios de los pronósticos. Puede ser utilizada en investigaciones aplicadas con miras a determinar hacia dónde dirigir los esfuerzos, comprobar si los pronósticos están mejorando con el tiempo o ayudar a la toma de decisiones (Cassati *et al.*, 2008).

En su nivel más elemental, la verificación o eva-

luación, como también se le denomina indistintamente, implica una caracterización de los pronósticos y observaciones (Murphy & Winkler, 1987). Este concepto inicial fue evolucionando con los años hasta llegar a lo que hoy día se conoce como VERIFICACIÓN: Proceso comparativo de las predicciones meteorológicas con las observaciones correspondientes siguiendo determinadas pautas (Saulo & Ruiz, 2013).

Los inicios de la verificación de los pronósticos del tiempo datan de la década de los ochenta del siglo XIX (Murphy, 1996; Wilks, 2006); sin embargo, los software que ejecutan automáticamente esta tarea se desarrollaron a finales del siglo pasado. En el presente trabajo, para la caracterización de las herramientas existentes a nivel mundial fue utilizado, en parte, el apéndice referente a los programas de verificación confeccionado por Pocernich (2012).

Aplicaciones disponibles para la verificación de los pronósticos

Hojas de cálculo

Si bien el Excel no está considerado como una herramienta estadística potente, lo cierto es que probablemente sea la más utilizada para este tipo de tareas. Muchos métodos de verificación pueden ser implementados de manera sencilla y, posiblemente, sean los más fáciles de entender mediante el uso de las hojas de cálculo. Estas permiten a nuevos usuarios identificar todos los pasos en los procedimientos básicos de verificación y la inclusión de algunos estadígrafos como la media, el error cuadrático medio, etcétera.

Las mayores limitaciones de las hojas de cálculo se presentan cuando se posee gran cantidad de información al realizar modificaciones en los parámetros de la verificación y obtener balances de los resultados; esto se debe, principalmente, a la complejidad de las fórmulas necesarias para ello. Otra gran dificultad es la distribución de la información y la con-

servación de su integridad. En resumen, Excel “u otro programa similar” es una herramienta sencilla que permite iniciarse en el proceso de la verificación o que se puede utilizar para entender cómo funciona este proceso y determinar los parámetros que se han de utilizar en la verificación; sin embargo, no es muy potente cuando se necesita realizar tareas más complejas.

Lenguajes de programación estadística

Como se encuentran en un nivel de complejidad superior respecto a las hojas de cálculo, requieren una mayor habilidad. En este grupo se puede citar al SPSS, SAS, Minitab, Matlab y R; sus diferencias con las hojas de cálculos radican en el manejo de una mayor cantidad de información, además de las funciones estadísticas más avanzadas. Como lenguajes de programación, el mayor inconveniente está en el tiempo para aprender la sintaxis, pero una vez vencido este objetivo, es posible compartir las funciones escritas con otras personas que utilicen el mismo lenguaje. Por tanto, al escoger un lenguaje debe considerarse el tamaño de la comunidad a su alrededor que pueda colaborar en los análisis profundos de la información.

Programas institucionales

Son herramientas oficiales o de entrenamiento desarrolladas por algún centro meteorológico; entre estas se destacan la Organización Virtual Europea para el entrenamiento meteorológico (Eumetcal, 2014) y el Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos (NWS, 2014). Desde 2001, en Eumetcal se confeccionaron unos módulos de entrenamiento para diferentes temas de las ciencias meteorológicas; dentro de estos se incluyó uno para la verificación de pronósticos, que permite interactuar con los pasos más básicos de la verificación. A pesar de no ser un software de verificación muy técnico continúa recibiendo soporte. El NWS, con el objetivo de evaluar las

alarmas y los pronósticos emitidos creó un sistema de verificación y análisis en línea (NWS, 2015). Este sitio es un buen ejemplo de un sistema de verificación; sin embargo, no se pueden adicionar nuevos pronósticos para su análisis, es decir, se encuentra limitado a los almacenados en la base de datos. Además, solo procesa información perteneciente a los Estados Unidos y se requiere una cuenta de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) para acceder a este sistema.

Sistemas de evaluación en Cuba

En Cuba, varias entidades emiten pronósticos del tiempo que responden a sus intereses particulares; por ejemplo, los institutos de Meteorología (INSMET) y de la Aeronáutica Civil de Cuba (IACC), que han desarrollado aplicaciones para determinar el grado de calidad de los pronósticos. En el caso del INSMET, esta actividad se realiza desde la década de los setenta (Barcia *et al.*, 2012) mediante el método de Sorochinski *et al.* (1975), al que, posteriormente, se le dio continuidad con los trabajos de Portela (2004) y Moya *et al.* (2013), mientras que en el IACC se aplica de manera experimental a partir de 2012, aunque es solo para la evaluación de los pronósticos de aeródromo (TAF).

A pesar de que el programa desarrollado por Moya *et al.* (2013) presenta una gran mejoría sobre el de Portela (2004), posee una interfaz gráfica que, si bien no es muy intuitiva y puede “perder” al usuario que la utiliza, aumenta la productividad sobre la consola del anterior, presenta un alto grado de personalización en cuanto a las regiones y los parámetros que se han de utilizar en la verificación, y realiza las tareas de recolección de la información y la verificación de manera automática. El punto débil de esta aplicación radica en cómo se maneja la información producida en el proceso de verificación. Esta no se almacena en su estado más básico y, por ende, no es muy versátil en cuanto a los aná-

lisis estadísticos que permiten estos datos; además, al ser escritos en archivos de texto, representan un problema de seguridad e integridad, y es necesario realizar procesos de minería de datos para consultar esa información. Aunque es muy maleable, el grado de adaptabilidad del sistema es demasiado limitado a otro tipo de pronóstico e incluso al mismo tipo de pronóstico para el que fue concebido.

Además de estos centros, se encontraba la Unidad de Hidrometeorología (UM-5342), adscrita a las Fuerzas Armadas Revolucionarias (FAR) y encargada de facilitar la información meteorológica que soliciten los órganos de dirección del Ministerio de las FAR y los del Ministerio del Interior (MININT) para el cumplimiento de sus misiones. En correspondencia con el sistema de información para la defensa, las FAR y el MININT cuentan con su propio pronóstico, que difiere del emitido por el INSMET; por consiguiente, se complica el proceso de verificación de sus pronósticos al depender esta ardua tarea de las características intrínsecas de la predicción realizada por cada institución.

A pesar de existir las disímiles herramientas destinadas a la verificación de los pronósticos del tiempo explicadas, y dada la imposibilidad de adaptar alguna de estas en funciones al trabajo desarrollado en la UM-5342, se presenta como objetivo del presente trabajo exponer una nueva herramienta para la verificación del Pronóstico Hidrometeorológico Nacional de las FAR, la cual, por la manera en que fue concebida (lenguaje de programación, trabajo con la base de datos, etc.), bien podría extenderse a otros centros meteorológicos.

Materiales y métodos

El Pronóstico Hidrometeorológico Nacional (FACA), válido para 24 h, se emite diariamente a las 20.00 horas. Para su verificación se dividió en cuatro subperíodos de 6 h cada uno: *noche*: de 00 a 06 horas del

tiempo universal coordinado (UTC por sus siglas en inglés), *madrugada*: de 06 a 12 UTC, *mañana*: de 12 a 18 UTC y *tarde*: de 18 a 24 UTC.

Regionalización

Como el FACA responde a las FAR, atendiendo a la distribución de los ejércitos se procedió a dividir al territorio cubano en las tres regiones siguientes:

REGIÓN OCCIDENTAL: Conformada por las provincias de Pinar del Río, La Habana, Artemisa, Mayabeque y el municipio especial de Isla de la Juventud. En este punto es válido destacar la diferencia existente entre esta división y la empleada en el INSMET que incluye desde Pinar del Río a Matanzas en el occidente.

REGIÓN CENTRAL: Compuesta por todas aquellas provincias comprendidas desde Matanzas hasta Ciego de Ávila.

REGIÓN ORIENTAL: Constituida por las provincias de Camagüey, Las Tunas, Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo.

Datos de entrada y variables meteorológicas

Como datos principales a partir de los cuales se verificará el FACA se mantendrán las observaciones trihorarias y sinópticas proporcionadas por la red de estaciones de superficie del INSMET, código FM-12, cuya distribución espacial se muestra en la figura 1.

También se valoró la posibilidad de incluir, tanto las observaciones horarias de las estaciones de aeródromos (METAR) enclavadas en los aeropuertos, como los datos de distribución espacial de la lluvia reportada diariamente por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) (Figs. 2 y 3, para los aeródromos y pluviómetros utilizados en el estudio).

Dados la complejidad del código de intercambio regional e internacional, bien sea FM-12 o METAR, la

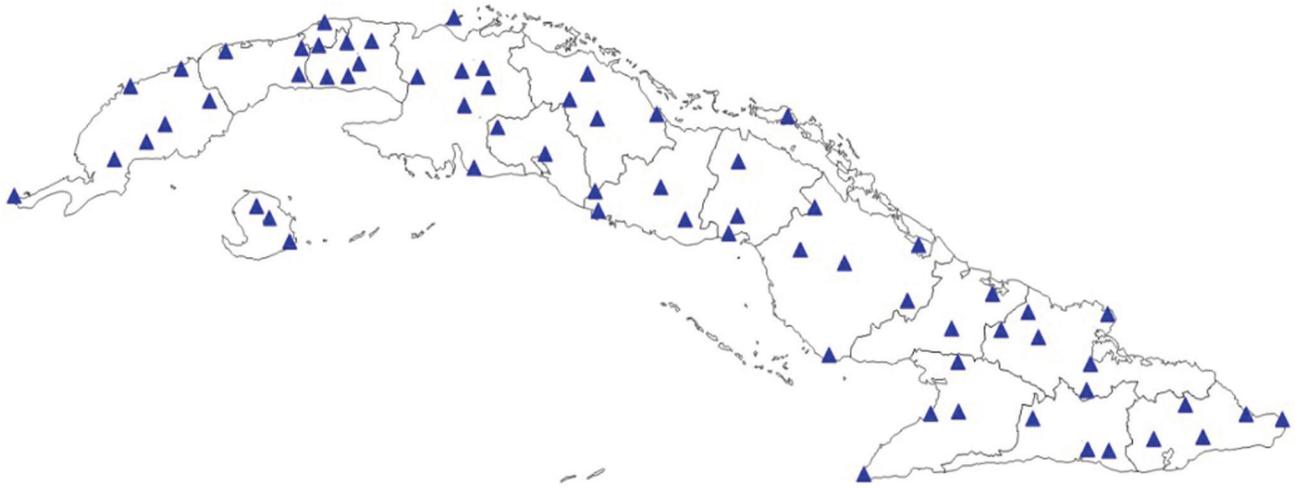


Fig. 1 Red de las estaciones meteorológicas del INSMET.

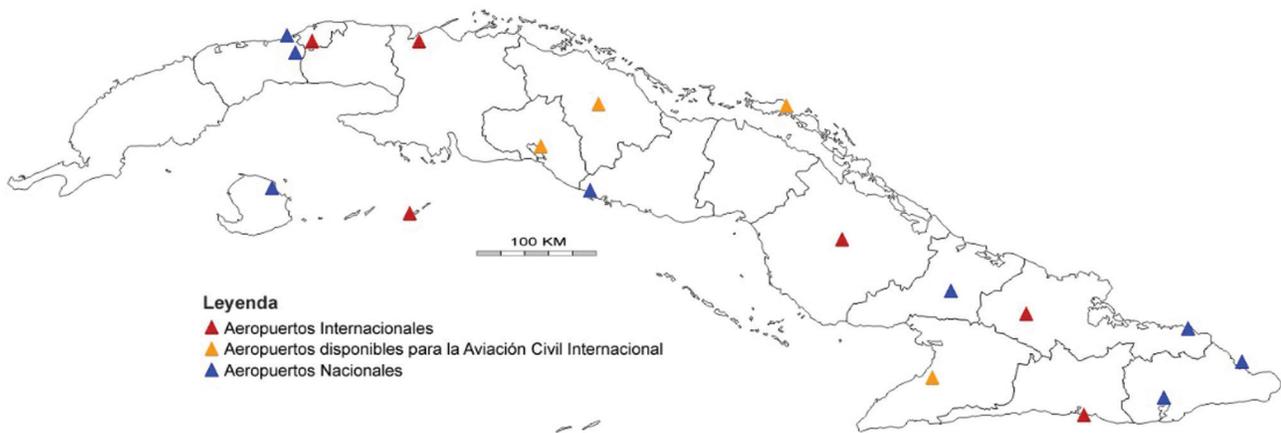


Fig. 2 Ubicación de los aeropuertos que transmiten los METAR.

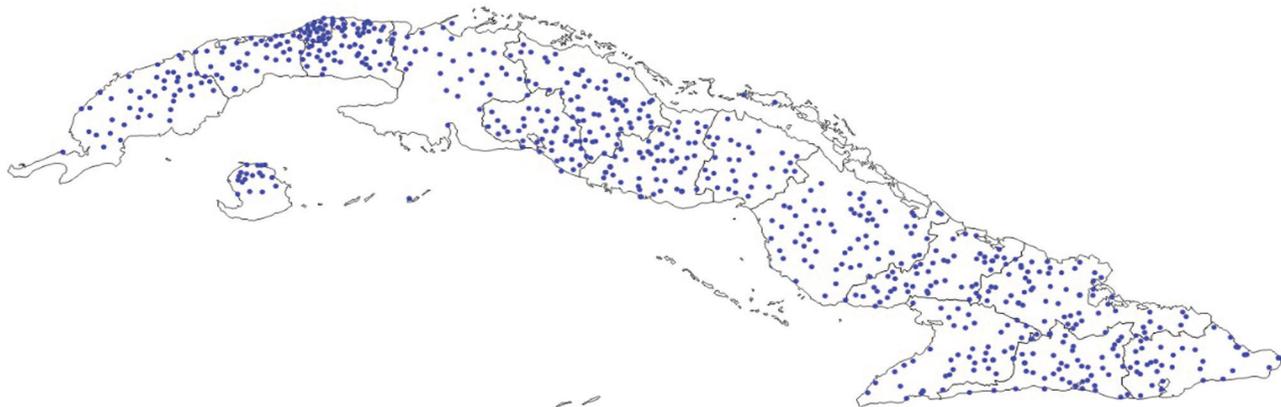


Fig. 3 Distribución de los pluviómetros del INRH.

frecuencia con la cual son emitidas las observaciones, y la distribución espacial de las estaciones, se decidió evaluar las variables meteorológicas siguientes:

1. Con el *FM-12*: La nubosidad, la precipitación, las temperaturas mínima y máxima (obtenidas del código FM-12 a las 12 y 24 UTC, respectivamente), la dirección y la fuerza del viento.
2. Con el *METAR*: La dirección y la fuerza del viento, la visibilidad, las temperaturas extremas, las tormentas eléctricas y el tiempo severo.
3. Con la red del *INRH*: La distribución espacial de las lluvias (extraídas de los archivos de lluvia diaria puntual).

Terminología y criterios establecidos para la verificación

En cuanto a metodología de evaluación, se utilizó la base de Portela (2004), a la cual se le realizaron algunas adecuaciones en concordancia con la estructura y los términos empleados en el FACA. En principio, se toma como premisa que un pronóstico se considera correcto cuando más de 50 % de las observaciones de las estaciones (30 % para el caso de la dirección del viento) de una región cumple los rangos establecidos.

Todas las variables meteorológicas se evalúan sobre la base de 100 puntos, y esta calificación se otorgará cuando el cumplimiento sobrepase el valor porcentual previamente fijado (50 % o 30 %). No obstante, el valor que se almacena en la base de datos, y el utilizado en los resultados estadísticos, se corresponde con el porcentaje que representan del total de los reportes analizados las observaciones en las cuales se cumple el pronóstico de acuerdo con los rangos y(o) criterios para cada variable evaluada.

La nubosidad se mide en concordancia con el total de cielo cubierto (en octa). Para la verificación de los pronósticos de esta variable se utilizarán los rangos siguientes:

1. Poca nubosidad: 0-3 octa.

2. Partes nublado: 3-6 octa.
3. Mayormente nublado: 6-7 octa.
4. Nublado: 7-8 octa.

En el caso de la precipitación se considera la distribución espacial de la lluvia y no su intensidad. El pronóstico es correcto si se predice: *escasas*, y llueve en menos de 10 % de las estaciones de la región; *aisladas*, y llueve en menos de 30 % de las estaciones de la región; *algunas*, y llueve entre 30 % y 70 % de las estaciones de la región; *numerosas*, y llueve en 70 % o más de las estaciones de la región.

La diferencia entre las lluvias del INSMET y las registradas por el INRH radica en que las primeras se verificarán cada seis 6 h, mientras que para las segundas se empleará la evaluación cada 24 h. En todos los casos, la cantidad de puntos se otorgará de acuerdo con los valores pronosticado y observado (Tabla 1).

TABLA 1
Calificación de la lluvia, según lo pronosticado y lo observado en tiempo real

Pronóstico	Tiempo Real	Puntos
Escasas	Escasas	100
	Aisladas	100
	Algunas	0
	Numerosas	0
Aisladas	Escasas	100
	Aisladas	100
	Algunas	0
	Numerosas	0
Algunas	Escasas	0
	Aisladas	0
	Algunas	100
	Numerosas	0
Numerosas	Escasas	0
	Aisladas	0
	Algunas	0
	Numerosas	100

En relación con la temperatura se hizo necesario de-

finir los conceptos siguientes:

TEMPERATURA MÁXIMA: Temperatura más elevada que se pronostica para el día siguiente en la tarde.

TEMPERATURA MÍNIMA: Menor temperatura que ocurrirá durante la madrugada del próximo día.

El valor pronosticado para una estación se considera correcto si no excede en 2.0 °C el pronosticado. Barcia *et al.* (2012) obtuvieron nuevos rangos para el pronóstico y la evaluación de las temperaturas máxima y mínimas según el período poco lluvioso y el lluvioso; sin embargo, a los efectos prácticos del FACA, con los intervalos anteriores se satisfacen los objetivos de la verificación.

La velocidad del viento se evalúa como correcta cuando la fuerza del viento pronosticada no sea superior o inferior a 3 m/s. Para el caso de los vientos variables, en la aviación se considera que la velocidad no debe exceder 4 m/s.

La dirección del viento se verificará por la rosa náutica de 16 rumbos y se velará porque la dirección pronosticada esté dentro de los ángulos establecidos para cada rumbo (Tabla 2).

Paralelamente a este proceso, fueron definidas las *variables opcionales* como aquellas que por la distribución espacial de las estaciones que se emplean como origen de los reportes de las cuales puede prescindirse en el proceso de verificación en caso de no contar con los datos de entrada pertinentes. Este tipo de variable otorga puntos de bonificación si se evalúan como correctas, pero, en caso contrario, no le restan al resultado final. Entre estas se encuentran las siguientes:

TORMENTAS ELÉCTRICAS: Solo se tendrá en cuenta la ocurrencia o no de este fenómeno por lo difícil que resulta pronosticar su distribución si se tiene en cuenta que la gran mayoría de las veces que ocurre es causado por condiciones a mesoescala. Se

TABLA 2

Rumbo pronosticado y ángulos aceptables de la dirección del viento (Portela, 2004; Moya et al., 2013)

Rumbo pronosticado	Ángulos aceptables
Norte	330 < A < 30
Norte-noreste	350 < A < 60
Noreste	10 < A < 80
Este-noreste	30 < A < 100
Este	60 < A < 120
Este-sureste	80 < A < 150
Sureste	100 < A < 170
Sur-sureste	120 < A < 190
Sur	150 < A < 210
Sur-suroeste	170 < A < 240
Suroeste	190 < A < 260
Oeste-suroeste	210 < A < 280
Oeste	240 < A < 300
Oeste-noroeste	260 < A < 330
Noroeste	280 < A < 350
Norte-noroeste	300 < A < 10

considerará la presencia en el aeródromo cuando en el código METAR aparezcan las abreviaturas TS (tormenta), LGHTNG (relámpago). Se evalúa sobre la base de 0.5 puntos.

TIEMPO SEVERO: Ocurrencia de los fenómenos GR (granizo), SQ (*squall*), FC (nube embudo) a partir de su reporte en las observaciones METAR. Se evalúa sobre la base de 0.5 puntos.

VISIBILIDAD EN EL AERÓDROMO: Se considera correcta cuando el valor real no salga fuera del rango de ± 1000 m con respecto a la visibilidad pronosticada. Se evalúa sobre la base de 1.0 puntos en dependencia del porcentaje de cumplimiento de las estaciones:

1. De 0 % a 25 %: 0.0 puntos.
2. Entre 25 % y 50%: 0.25 puntos.
3. Entre 50 % y 75 %: 0.50 puntos.
4. Por encima de 75 %: 1.0 puntos.

La calificación final se calculó promediando los pun-

tos obtenidos para cada variable y los de cada región, valor al cual se le adicionaron los puntos adicionales conseguidos por el concepto de las variables opcionales.

Tecnologías utilizadas

Cuba se encuentra inmersa en una migración a software libre; por ello, deben desarrollarse sistemas capaces de adaptarse a este cambio en el que pueden convivir equipos con sistemas operativos Windows o distribuciones de Linux. Teniendo en cuenta esto, se utiliza Java como lenguaje de programación, el cual se caracteriza por ser un lenguaje multiplataforma de alto nivel y bien documentado, cuyo soporte provee actualizaciones, parches de seguridad, etc. Java es muy fácil de aprender y se encarga de realizar las tareas de bajo nivel, tales como la gestión dinámica de memoria, y le permite al desarrollador olvidarse de ello y centrarse en el desarrollo de las funcionalidades.

Para la implementación del sistema se utilizó el *entorno de desarrollo* (IDE, por sus siglas en inglés) NetBeans dadas las herramientas de ejecución, compilación y depuración del código, además de las facilidades que brinda al escribir el código, todo lo cual permite un alto nivel de productividad. Este IDE, de código abierto, posee soporte para el *framework* Netbeans Platform, que fue empleado en el desarrollo del sistema. *Framework* es una base modular extensible usada como una estructura de integración para crear aplicaciones de escritorio grandes y posee tareas comunes de desarrollo implementadas que permiten el ahorro de tiempo y esfuerzo a los desarrolladores, dentro de las cuales pueden destacarse las siguientes:

1. Sistema de administración de ventanas con diálogos, asistentes y notificaciones.
2. Tratamiento de errores en tiempo de ejecución, lo que permite detectar el origen de las excepciones,

incluso cuando se despliega el software.

3. Herramienta para la creación de la ayuda del programa.
4. Gestión de módulos del sistema.

La utilización de una tecnología modular y la arquitectura personalizable en la que se basa el sistema brindan, entre otras ventajas, la fácil modificación de cualquier componente del sistema, por ejemplo, los intervalos de evaluación de cada variable meteorológica definidos en la metodología, los datos de entrada, la presentación de los resultados, etcétera.

En un sistema de evaluación de pronósticos del tiempo se maneja gran cantidad de datos; por tanto, deberá contarse con un mecanismo capaz de gestionar esta información de la manera más eficiente. En aras de satisfacer esta necesidad se decide utilizar un sistema gestor de base de datos. Se seleccionó PostgreSQL en su versión 9.1; la aplicación permite una concurrencia alta, es decir, varios usuarios pueden realizar operaciones simultáneamente a un mismo objeto de la base de datos, así como una alta velocidad de respuesta a las peticiones realizadas por el cliente. La información almacenada en la base de datos se encuentra de la manera más desagregada posible, o sea, en su estado más básico, lo cual permite que se pueda generar cualquier combinación estadística.

Análisis y discusión de los resultados

Al programa encargado de verificar la eficiencia de las predicciones del tiempo se le denominó Nimbus (Valderá, 2014). De inicio, fue concebido para evaluar los pronósticos emitidos por el grupo de especialistas en Pronósticos Hidrometeorológicos de la Unidad Militar 5342, pero dadas las bondades de trabajar con una base de datos y la arquitectura modular, el sistema puede adaptarse, sin mayores dificultades, a otras entidades o manejar diferentes tipos de pro-

nósticos. Se desarrolló desde finales de 2011, se implementó experimentalmente en la UM-5342 desde junio de 2012 y se introdujo en la práctica operativa durante 2013.

Características generales de Nimbus

Aún no se ha definido estrictamente lo que se considera un buen y mal software; sin embargo, cuando se evalúan los programas disponibles, se deben tomar en cuenta la exactitud y la documentación de la aplicación, además de la licencia y la retroalimentación con los usuarios (Jolliffe & Stephenson, 2012).

Los resultados de Nimbus se supervisaron durante el período de su puesta en práctica y se constató su veracidad. Si bien este software no es libre, posee una arquitectura modular que permite la inclusión de nuevas funcionalidades por parte de “terceros”

(personas ajenas al proceso de desarrollo y consumo del sistema) o la modificación de las existentes. Aunque, en relación con la cantidad de personas que lo utilizan, este sistema tiene una comunidad pequeña, cada usuario ha contribuido al mejoramiento del producto. Entonces, según los indicadores definidos por los autores citados, puede afirmarse que Nimbus es un buen software.

Presentación de la aplicación y rasgos más distintivos

Al ejecutar la aplicación se puede acceder a la pestaña *Pronóstico*, que permite la creación y la edición de un pronóstico del tiempo (Fig. 4).

Los resultados de la evaluación se presentan en el panel *Estadísticas* (Fig. 5), que se divide en dos partes principales: la sección izquierda contiene una

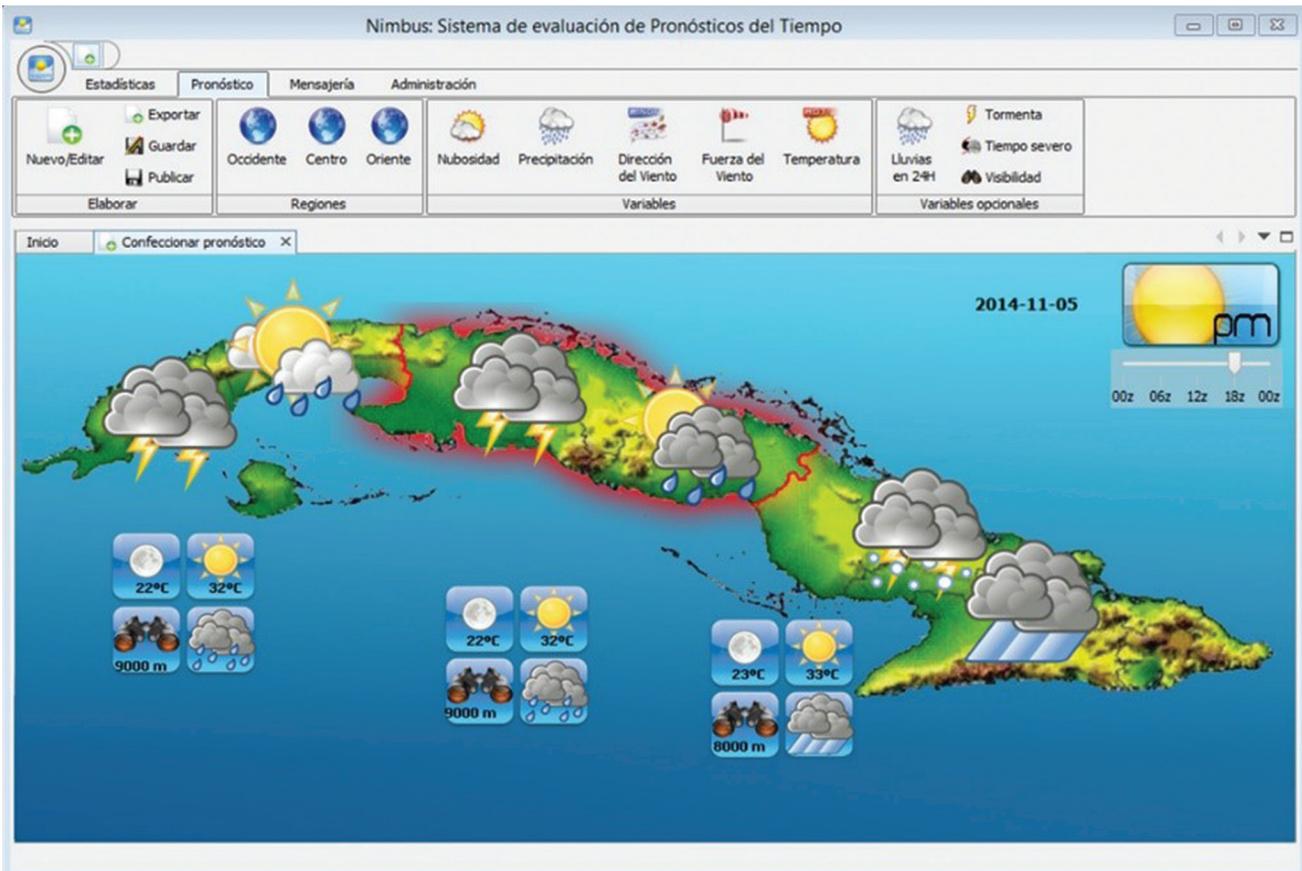


Fig. 4 Panel de confección.

lista con los pronósticos evaluados y dos campos más que permiten establecer el período en el cual se desea visualizar los pronósticos; la sección de la derecha presenta los resultados de los pronósticos seleccionados.

En la sección derecha también puede encontrarse la opción *Analizar resultados* (Fig. 6), en la cual se

realiza un análisis de los valores pronosticados. La ventana de *Análisis* es una de las mayores novedades introducidas con Nimbus; esta muestra el valor pronosticado, en cuántas estaciones se cumplió y cuál sería el pronóstico óptimo en el que se lograría la máxima calificación posible (no necesariamente 100 puntos) y qué porcentaje se obtendría. Es posible

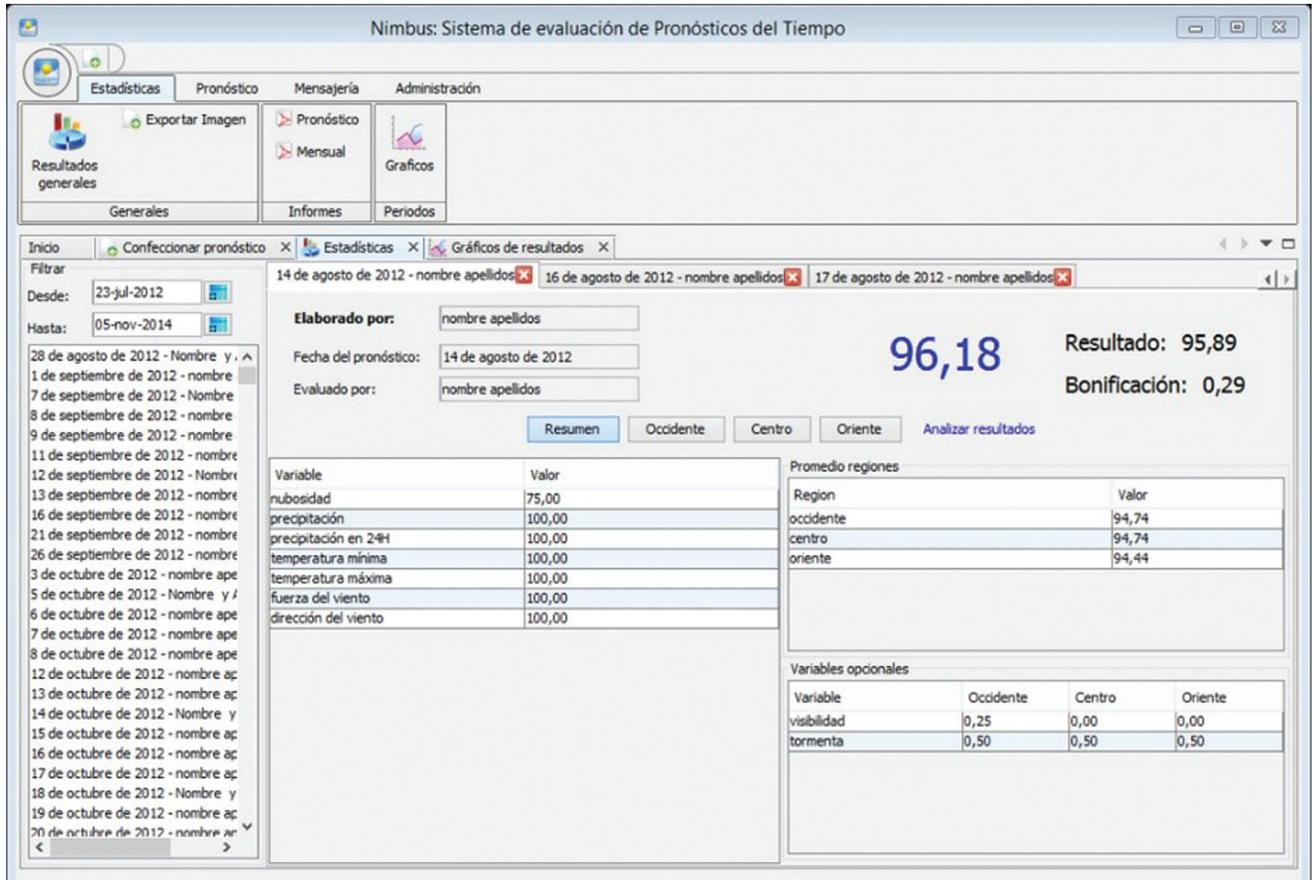


Fig. 5 Panel de los resultados estadísticos.

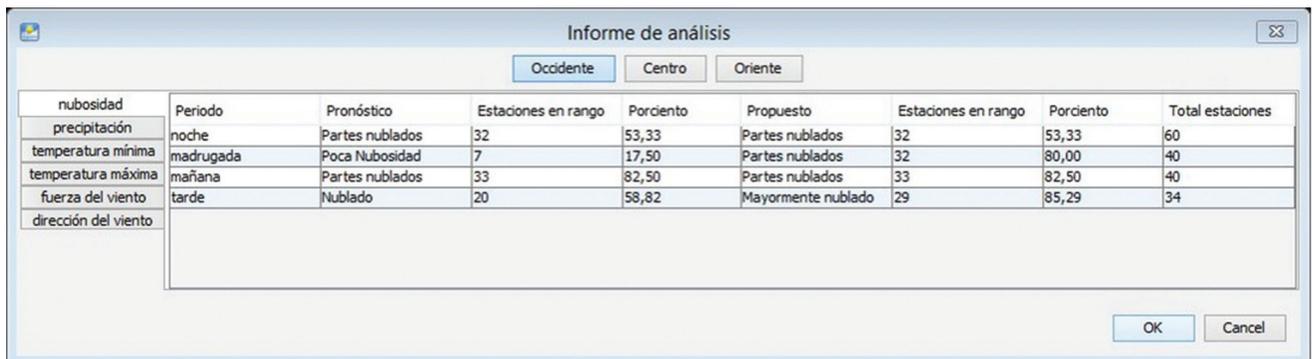


Fig. 6 Panel de análisis de los pronósticos evaluados.

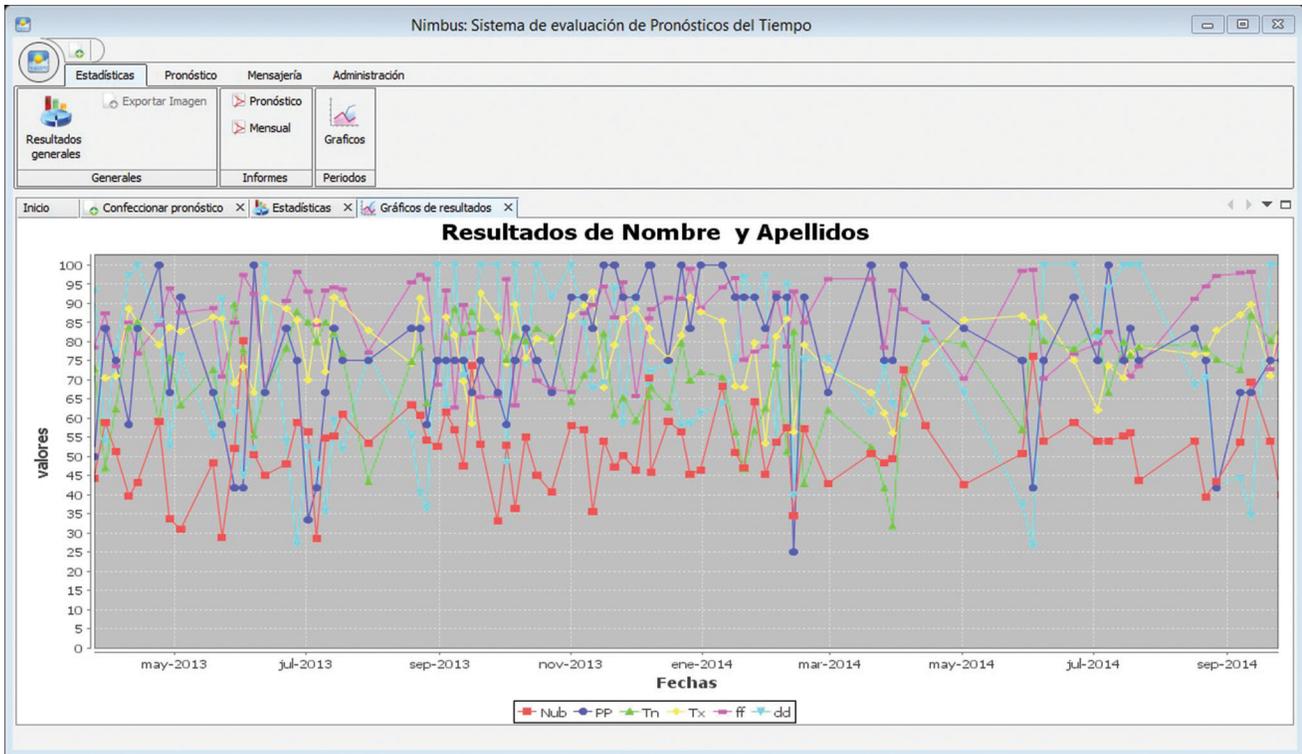


Fig. 7 Panel de resultados gráficos.

Fig. 8 Personalización de los gráficos.

realizar este procedimiento con cada variable meteorológica, en cada región y para todos los períodos de pronóstico.

Las figuras 7 y 8 presentan el panel de los gráficos y sus opciones de personalización respectivamente. Al seleccionar *Gráficos*, en la barra de herramientas aparecerá una ventana en la cual puede elegirse el intervalo de tiempo seleccionado para el reporte, el usuario del cual se visualizarán los resultados y las

variables meteorológicas que se incluirán. En aras de enfatizar un intervalo de tiempo dado puede aumentarse el nivel de detalle de la imagen.

Resultados de su aplicación en la UM-5342

A partir de este punto, aplicando la metodología descrita, se comenzó el análisis y el procesamiento de los datos de entrada del programa, de manera que se pudiera definir la información útil para la evaluación diaria del FACA. Una vez listo lo relacionado con la información manejada, se ejecutó Nimbus y se comparó el valor pronosticado para cada variable meteorológica con las observaciones en tiempo real; se calculó manualmente el porcentaje de efectividad del pronóstico emitido, cuyo resultado coincidió en ambos casos y se mantuvo alrededor de 80 % en el transcurso del mes de prueba.

A continuación, se presentan los gráficos de los resultados de la evaluación realizada a los pronósticos emitidos por los especialistas en Meteorología de

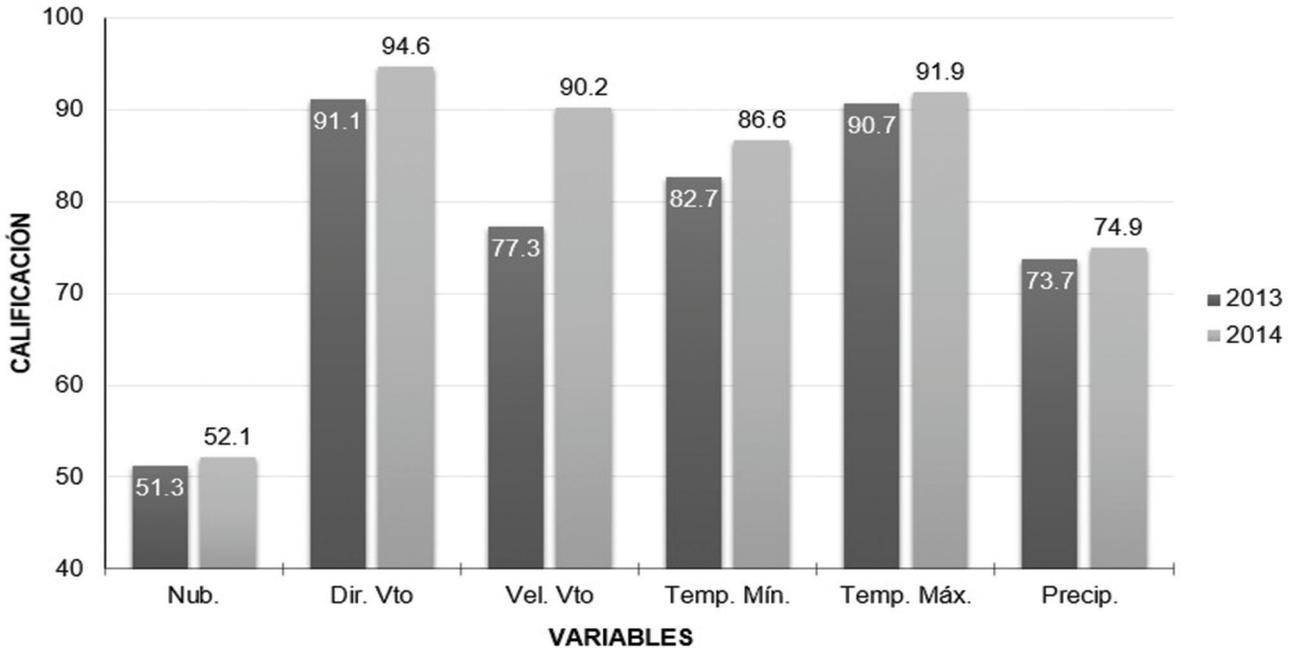


Fig. 9 Resultados de la evaluación por variables meteorológicas.

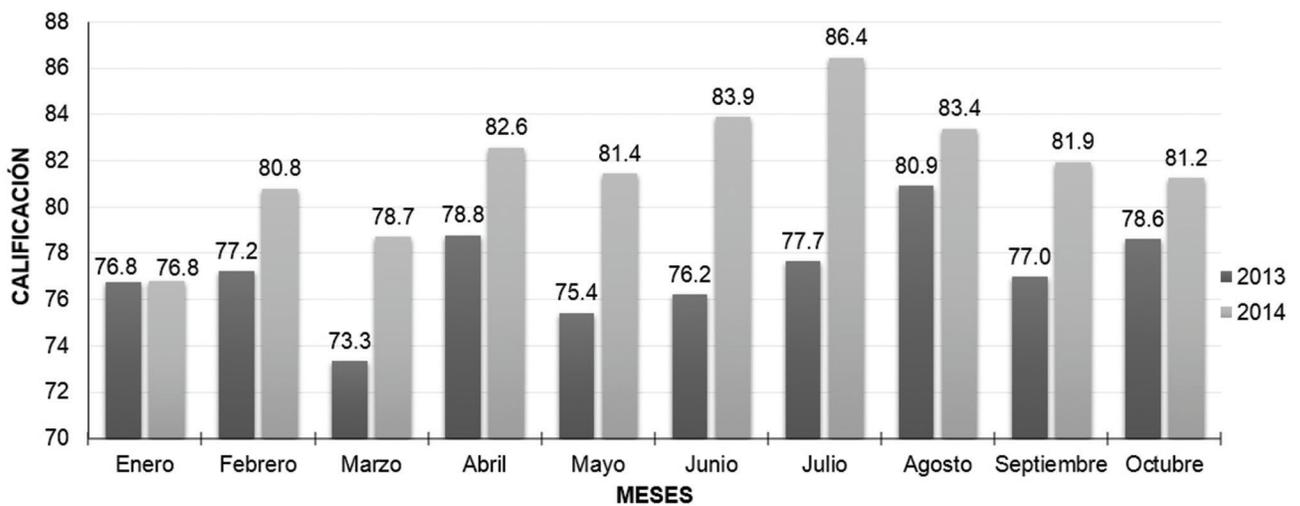


Fig. 10 Resultados de la evaluación por meses.

la Unidad de Hidrometeorología, entre enero y octubre de 2013 e igual período de 2014, en el cual se muestran las mejorías alcanzadas. Sin embargo, se mantienen la nubosidad y la precipitación como las variables más difíciles de pronosticar; en el caso de la primera, debido a los errores de índole humana en los que se puede durante su observación, mientras que para la segunda, por la distribución espacial irregular que presenta y la no inclusión de técnicas satelitales para la verificación de ambas.

Conclusiones

Se obtuvo un software de calidad y maleabilidad altas para la verificación de los pronósticos del tiempo.

Los resultados satisfactorios alcanzados por Nimbus en el período de prueba posibilitaron que su introducción oficial en la práctica operativa en la Unidad de Hidrometeorología.

Se identificaron las fortalezas y debilidades del Pronóstico Hidrometeorológico Nacional de la UM-5342.

En los resultados obtenidos se evidencia una mejora notable en la efectividad de los pronósticos emitidos por los especialistas de la UM-5342.

Recomendaciones

Añadir nuevas funcionalidades, tales como la estimación de la nubosidad y la precipitación con el empleo de técnicas satelitales.

Extender la utilización de Nimbus en la verificación de los pronósticos del tiempo en otros centros meteorológicos.

Agradecimientos

Un reconocimiento a todos los especialistas que laboraron en la otrora Unidad de Hidrometeorología, en especial, a los jefes de turno (Alfredo García, Amado Ramírez, Gabriel J. Díaz y Norca Camacho), a los directivos de la UM-5342 Caridad Alonso y Ubaldo R. Milian. Gracias por su trabajo en el monitoreo constante del sistema, sus oportunas sugerencias y la receptividad mostrada ante las nuevas concepciones adoptadas.

Referencias bibliográficas

BARCIA, S.; BALLESTER, M.; CEDEÑO, Y. *et al.* 2012. *Variabilidad espacio-temporal de las variables que intervienen en los pronósticos a corto plazo en Cuba*. Informe de resultado científico, Proyecto Evaluación de los Pronósticos del Tiempo, Instituto de Meteorología INSMET, La Habana, Cuba, 68 p.

CASSATI, B.; WILSON, L. J; STEPHENSON, D. B. *et al.* 2008. “Review Forecast verification: Current status and future directions”, *Meteorological Applications*, (15): 3-18.

EUMETCAL 2014. *Organización Virtual Europea para el entrenamiento meteorológico* [online]. Disponible en: www.eumetcal.org.

GONZÁLEZ, C. 2008. “Pronósticos del tiempo”, en *Meteorología Sinóptica*, La Habana, Cuba, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas INSTEC, 18 p.

JOLLIFFE, I. T. & STEPHENSON, D. B. 2012. *Forecast verification: A practitioner's guide to atmospheric science*, Chichester, West Sussex, UK, John Wiley & Sons, Ltd., 274 p.

LIMA, A.; GARCÍA, E.A; QUEVEDO, R. *et al.* 2000. *La meteorología de predicción en Cuba*. La Habana, Cuba, 15 p.

MOYA, A. S.; ESTRADA, A.; BALLESTER, M. *et al.* 2013. *Evaluación de los pronósticos del tiempo a corto plazo*. Informe de resultado científico, Proyecto Evaluación de los Pronósticos del Tiempo, INSMET, La Habana, Cuba.

MURPHY, A. H. 1996. “The Finley affair: a signal event in the history of forecast verification”, *Weather and Forecasting*, 11, 3-20.

MURPHY, A. H. & WINKLER, R. L. 1987. “A general framework for forecast verification”, *Monthly Weather Review*, 115 1330-1338.

NWS 2014. *National Weathes Service US* [online]. Disponible en: www.nws.noaa.gov [consultado el 15 de noviembre de 2014].

NWS 2015. *National Weather Service Performance Management* [online]. Disponible en: <https://verification.nws.noaa.gov/> [Consultado el 4 de marzo de 2015].

POCERNICH, M. 2012. Appendix Verification software, en *Forecast verification: A practitioner's guide to atmospheric science*, Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd., pp. 231-240.

PORTELA, M.A. 2004. “Metodología del Sistema Nacional de Evaluación de los Pronósticos del Tiempo” [inédito], Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 30 p.

SAULO, C. & RUIZ, J. 2013. *Forecast Verification. Training Workshop on Nowcasting Techniques*. Buenos Aires, Argentina, 48 p.

SOROCHINSKI, M.; GONZÁLEZ, C.; RUBIO, G. *et al.* 1975. *Métodos para la evaluación de Pronósticos.*, Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 12 p.

VALDERÁ, N. 2014. *Nimbus: Sistema de evaluación de pronósticos del tiempo*, número de registro software: 1035-04-2014.

WILKS, D.S. 2006. *Statistic Methods in atmospheric sciences*, New York, Academic Press, 627 p.