

# SISTEMA INTEGRADO PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS PRONÓSTICOS DEL TIEMPO A CORTO PLAZO

*Ing. Ángel L. Sánchez Pérez<sup>1</sup>, MSc. Nathalí Valderá Figueredo<sup>2</sup>, DraC. Maritza Ballester Pérez<sup>3</sup>, Téc. Milagros Sarmientos Scull<sup>4</sup>, MSc. Sinaí Barcia Sardiñas<sup>5</sup> y Lic. Carlos M. González Ramírez<sup>6</sup>*

<sup>1, 2, 3 y 4</sup> Centro de Pronósticos del Tiempo, Instituto de Meteorología  
Loma de Casa Blanca, Regla, La Habana, Cuba

E-mail: [angel.sanchez@insmet.cu](mailto:angel.sanchez@insmet.cu) – [nathali.valdera@insmet.cu](mailto:nathali.valdera@insmet.cu)

<sup>5</sup> Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos

<sup>6</sup> Centro Meteorológico Territorial Artemisa-Mayabeque

## RESUMEN

En este trabajo se presenta el “Sistema Integrado para la Verificación de los Pronósticos del Tiempo” con el objetivo de evaluar las predicciones emitidas por los especialistas del Centro de Pronósticos del Tiempo del Instituto de Meteorología y los de los grupos/departamentos de pronósticos provinciales. En la implementación del sistema se utilizó Java, PHP y JavaScript como lenguajes de programación, symphony como framework de desarrollo y PostgreSQL como sistema gestor de base de datos. El sistema está compuesto por una aplicación de escritorio, denominada *confección*, la interfaz web en la que se tiene acceso a las estadísticas, y un servicio que verifica la existencia de nuevas entradas en la base de datos de observaciones y que verifica automáticamente los pronósticos. 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 permitió verificar los pronósticos del tiempo válidos para 24 horas confeccionados por los especialistas del grupo de pronósticos nacionales del Instituto de Meteorología de Cuba.

## ABSTRACT

In this work, is presented the "Integrated System for the Verification of Weather Forecasts" with the aim of evaluate the predictions issued by the specialists of the Weather Forecasting Center of the Institute of Meteorology and those of the provincial forecast's groups/departments. In the implementation of the system, Java, PHP and JavaScript were used as programming languages, symphony as a development framework and PostgreSQL as a database management system. The system is formed by a desktop application, called *confection*, the web page that have access to statistics, and a service that verifies the existence of new entries in the observations' and that automatically evaluates the forecasts. In order to validate the results of the evaluation process, the predicted value for each meteorological variable was compared with the observations in real time, manually calculating the percentage of effectiveness of the forecast issued a result that coincided in both cases. The application of this system made it possible to verify the short-range weather forecasts prepared by the specialists of the national forecast group of the Cuban's Meteorological Institute.

## INTRODUCCIÓN

En las diferentes etapas del desarrollo de la humanidad, ha existido la preocupación del hombre por hacer bien el trabajo, de ahí que la calidad más que un término utilizado continuamente y que ha cobrado fuerza a largo de la historia, sea un componente intrínseco al proceso evolutivo del ser humano. Hoy día son muchas las entidades que apuestan por la implantación de una dirección basada en la calidad (Torres *et al.*, 2012) como factor generador de ventajas competitivas a largo

plazo (Miranda *et al.*, 2007). Un sistema de gestión de la calidad es un enfoque reconocido y aceptado internacionalmente, que miles de organizaciones utilizan para asegurar la prestación de productos y servicios de calidad a sus clientes (COMET, 2012). La gestión de la calidad en el campo la meteorología, es cada vez más importante ya que se necesita contar con un sistema debidamente organizado para garantizar la constante calidad de los datos y productos facilitados por los servicios meteorológicos. Inicialmente fue algo que sólo le correspondió a la Organización de Aviación Civil Internacional, pero la Organización Meteorológica Mundial se ocupó en el año 2003, por primera vez, de la gestión de la calidad para el aseguramiento de los servicios meteorológicos, oceánicos e hidrológicos (Boase *et al.*, 2011).

Varias organizaciones en el mundo poseen centros de pronóstico del tiempo. En Cuba se tiene al instituto de Aeronáutica Civil y el de Meteorología. En el caso del primero, este ya cuenta con un sistema de gestión de la calidad desplegado; en cambio, en el segundo, y de manera muy aislada, ahora es que se está trabajando en este sentido. Por ello es que entre las líneas de desarrollo del Centro de Pronósticos del Tiempo (CenPro) del Instituto de Meteorología (INSMET) se encuentra el despliegue y certificación de un sistema de gestión de la calidad para el servicio meteorológico con alcance a determinados productos que allí se elaboran, dentro de los cuales se encuentran los pronósticos del tiempo. El pronóstico del tiempo es uno de los productos más conocidos en toda la cadena de servicios brindados por el Centro de Pronósticos del Tiempo, pero si bien es fundamental controlar la calidad en cada etapa de su confección, lo es también la verificación del mismo. La verificación o evaluación de los pronósticos, en su concepto más elemental, cuantifica la relación entre un grupo de predicciones del tiempo y las observaciones meteorológicas (Jolliffe & Stephenson, 2003). Como proceso es sumamente crucial debido a la gran influencia que ejercen las condiciones meteorológicas sobre las actividades socio-económicas.

En Cuba, a pesar de las mejoras establecidas en la verificación de los pronósticos del tiempo, se ha mantenido prácticamente invariable la metodología, sólo algunos cambios en los rangos permisibles para el comportamiento de las temperaturas extremas o alguna variación en la regionalización. Sin embargo, los cambios más notables en estos aspectos vienen a ser introducidos por Barcia *et al.* (2012). No obstante, se considera que la sencillez de la verificación actual es tal al reflejar solamente la exactitud de las predicciones, sin considerar otros indicadores de calidad como bien pudieran ser la habilidad de las predicciones y los errores absolutos medios de las temperaturas extremas y el viento. Además, para las predicciones cubanas se desconoce la habilidad de los pronósticos del tiempo a corto plazo, lo que pudiera calcularse a partir de los algoritmos del pronóstico por el método de la persistencia obtenido por Valderá *et al.* (2017). Por todo lo anterior es que esta investigación se propone la presentación de un software destinado a la evaluación integral, que contemple la estimación de la habilidad de las predicciones y de los errores absolutos medios para las temperaturas y el viento, y al que se le pueda añadir el método para la estimación de la nubosidad y precipitación por imágenes de satélite obtenido por Trujillo *et al.* (2017).

Si bien los inicios de la verificación de los pronósticos del tiempo datan de la década de los ochenta del siglo XIX (Murphy, 1996; Wilks, 2006), las aplicaciones que ejecutan automáticamente esta tarea se desarrollaron a finales del siglo pasado. Internacionalmente, el software más utilizado para la verificación de los pronósticos son las hojas de cálculo de Microsoft Excel, además de otros lenguajes de programación estadística, dentro de los cuales puede citarse al SPSS (Statistical Package for the Social Sciences o Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales), Minitab, Matlab y R, entre otros. También, existen programas institucionales con sus respectivas limitaciones de acceso al sistema de evaluación. Existen varias entidades que han desarrollado aplicaciones para determinar el grado de calidad de los pronósticos en Cuba. En el caso del INSMET, Portela (2004) semi-automatizó el método de Sorochinski *et al.* (1975), y aunque con variaciones en las características del software, Moya *et al.* (2013) dieron continuidad. Por otro lado, en el Instituto de Aeronáutica Civil de Cuba, se aplica desde el año 2012 un Sistema Automatizado para la verificación de los TAF (Pronósticos de Terminal de Aeródromo).

Además de estos centros, existió 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

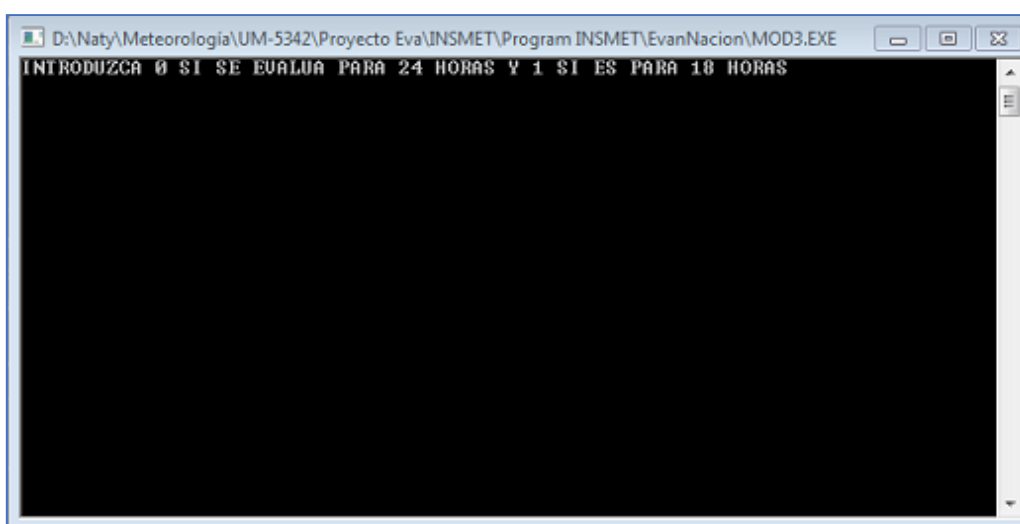
(MININT) para el cumplimiento de sus misiones. En correspondencia con el sistema de información para la defensa, las FAR y el MININT cuentan con su propio pronóstico, que difiere del emitido por el INSMET; por consiguiente, se complica el proceso de verificación de sus pronósticos al depender esta ardua tarea de las características intrínsecas de la predicción realizada por cada institución. En dicho centro se desarrolló un sistema de verificación para este tipo de pronósticos denominado Nimbus. No obstante, las aplicaciones detalladas a continuación son los utilizados solamente en el INSMET.

#### **Sistema Automatizado de Evaluación del Pronóstico del Tiempo (Portela, 2004)**

El Sistema Automatizado de Evaluación del Pronóstico del Tiempo desarrollado por Portela (2004) estaba compuesto por 17 aplicaciones de consola agrupadas en cinco categorías:

- Procesamiento de la Base de Datos<sup>1</sup>: 6 métodos
- Creación de los ficheros a partir de los pronósticos elaborados: 2 métodos.
- Evaluación diaria: 2 métodos.
- Evaluación mensual, trimestral y otros periodos: 8 métodos.
- Detección de errores: 3 métodos.

En la figura 1 puede apreciarse una captura a la pantalla de uno de los métodos utilizados en el sistema anterior.



*Fig. 1 Método MOD3 del Sistema Automatizado de Evaluación del Pronóstico del Tiempo. Módulo encargado de resumir los resultados de la evaluación mensual y de la evaluación acumulada.*

#### **Sistema Automatizado de Evaluación del Pronóstico del Tiempo (Moya *et. al.*, 2013)**

Una modernización del software utilizado en la práctica operativa desde el año 2013 fue realizado por Moya *et al.* (2013). A pesar de que este sistema 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. Esta aplicación ostenta 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. Estaba compuesta por cinco módulos: Editor de pronósticos (Ver figura 2), Recolector de observaciones o Centinela, Recolector de pronósticos, Evaluador y Estadísticas.

---

<sup>1</sup> Aunque originalmente se utiliza en las descripciones de las aplicaciones el término Base de Datos, lo que se utilizó verdaderamente fue un archivo de texto (\*.txt).

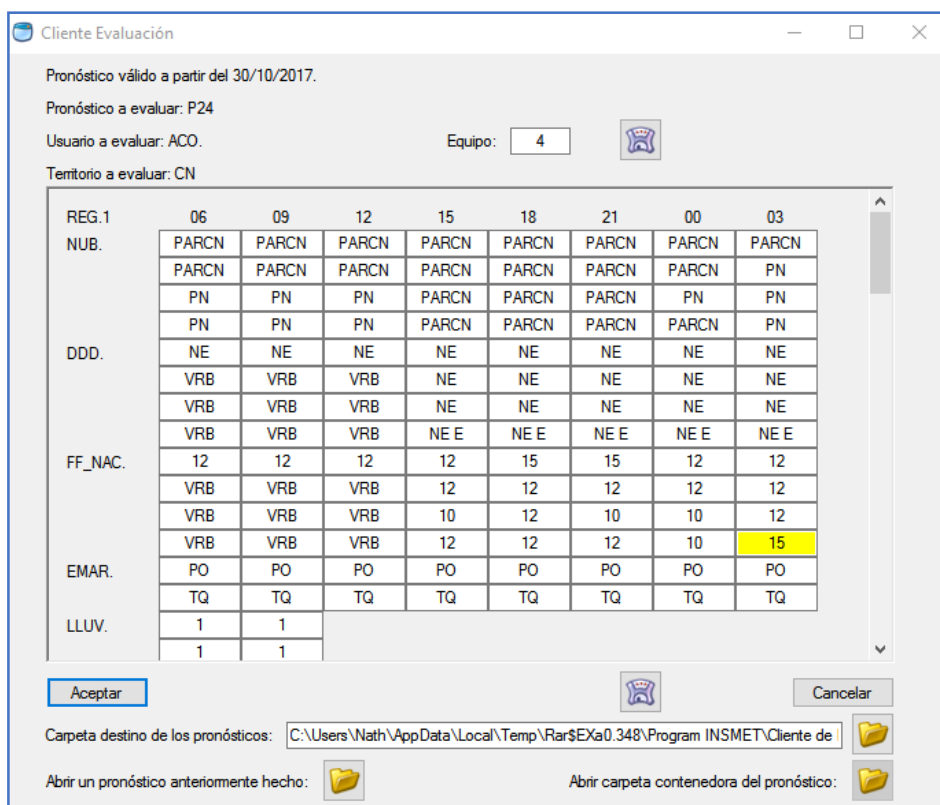


Fig. 2 Módulo “Editor de Pronósticos”.

El punto débil de este sistema 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 análisis 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. Por todo lo anterior, además de los cambios establecidos en la regionalización por Barcia *et. al.* (2012) y en la metodología de verificar las predicciones del tiempo, del nuevo enfoque que se le quiere dar a la verificación a través de la introducción de la estimación de la habilidad de las predicciones y de la introducción de los errores absolutos medios de las temperaturas extremas y el viento, así como de la verificación de la nubosidad y la precipitación utilizando las imágenes del satélite meteorológico, es que se propuso desarrollar un nuevo software que verificara las predicciones emitidas por el CenPro.

### MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se realizará a los pronósticos del tiempo para 24 y 18 horas de uso interno (PT-24 y PT-18) emitidos por el Centro de Pronósticos del Tiempo. Los P-24 son emitidos en horas de la tarde del día D y serán válidos para el periodo 12AM – 12AM del día D+1 al D+2. Para la verificación de los P-24 las 24 horas de validez en dos plazos de 12 horas cada uno. Cada periodo de 12 horas se evaluará de manera independiente. Para los PT-24 los periodos quedarán conformados de 12AM a 12PM (06-15 UTC) y de 12PM a 12AM (18-03 UTC). Las regiones y zonas de pronóstico son las mostradas en la figura 3.

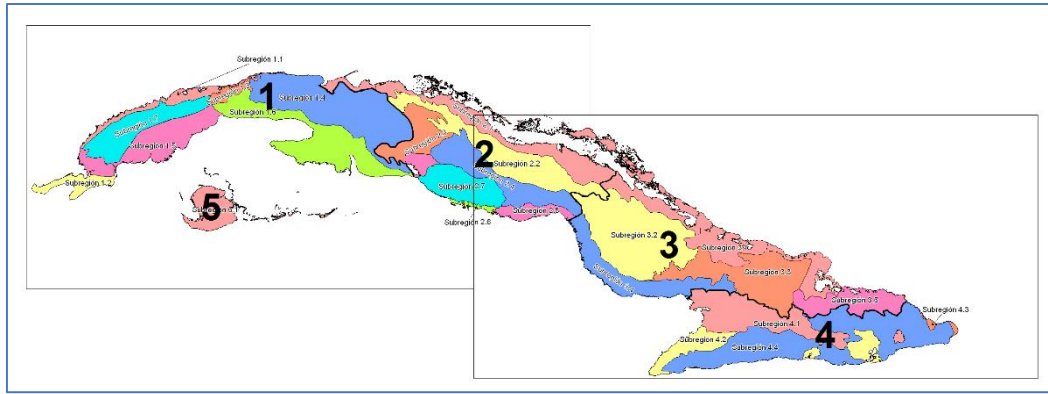


Fig. 3 Zonas de pronóstico y subregiones para la evaluación.

### Datos de entrada y variables meteorológicas a evaluar

Como datos principales a partir de los cuales se verificará el los pronósticos 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 4.

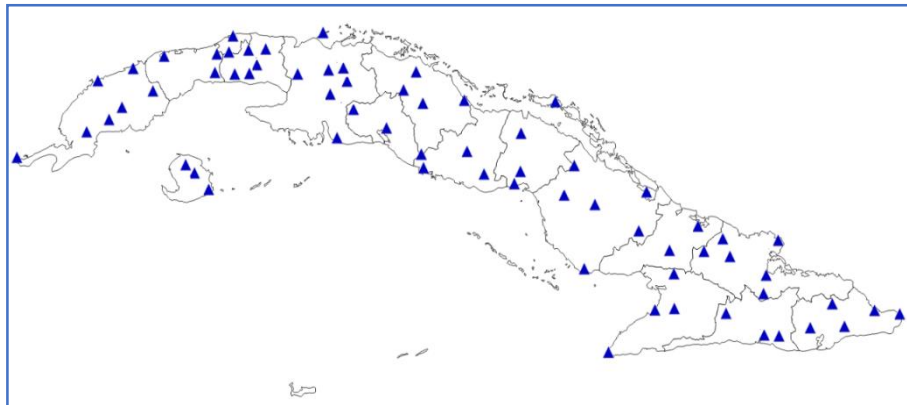


Fig. 4 Red de las estaciones meteorológicas del INSMET.

Las variables a evaluar son la nubosidad, precipitación, temperatura mínima y máxima (obtenidas en los horarios de las 12 y 00 UTC respectivamente), dirección y fuerza del viento. La terminología y criterios establecidos para la verificación de los pronósticos aparecen recogidas en la Metodología del Sistema Nacional de Evaluación de los pronósticos del tiempo.

### Tecnologías utilizadas

Cuba se encuentra inmersa en una migración a software libre; por ello es que deben desarrollarse sistemas capaces de adaptarse a este proceso migratorio, en el cual se pueden encontrar lo mismo equipos con sistemas operativos Windows o distribuciones de Linux. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se utilizaron como lenguajes de programación:

- ✓ **Java:** Caracterizado por ser multiplataforma, y que además de ser un lenguaje de alto nivel y bien documentado, cuenta con soporte que provee actualizaciones, parches de seguridad, etc. Java es muy fácil de aprender y se encarga de realizar las tareas de bajo nivel como gestión dinámica de memoria permitiéndole al desarrollador olvidarse de ello y centrarse en el desarrollo de las funcionalidades.
- ✓ **PHP:** Lenguaje de código abierto especialmente pensado para el desarrollo web y que puede ser embebido en páginas HTML. Su sintaxis recurre a C, Java y Perl, siendo así sencillo de aprender. La meta principal de este lenguaje es permitir a los desarrolladores web escribir dinámica y rápidamente páginas web generadas.
- ✓ **JavaScript:** Lenguaje con una sintaxis semejante a la de los lenguajes Java y C. Es utilizado para controlar la apariencia y manipular los eventos dentro de la ventana del navegador Web, así como para validar datos de entrada en las interfaces de las aplicaciones. El navegador del cliente es el encargado de interpretar las instrucciones JavaScript y

ejecutarlas para realizar efectos e interactividades, de modo que el mayor recurso es el propio navegador.

Para describir la apariencia de las páginas web cuando se muestra en un navegador se utilizaron:

- ✓ **HTML 5** para definir tipos de documentos estructurados y lenguajes de marcas para representar los mismos (Condori, 2011). Presenta varias ventajas como: es un lenguaje sencillo que permite describir hipertexto y el texto es estructurado de forma lógica (títulos, párrafos de texto normal, enumeraciones, definiciones y citas); no necesita de grandes conocimientos cuando se cuenta con un editor web, presenta archivos pequeños, se cargan con rapidez y lo admiten todos los navegadores.
- ✓ **CSS 3** para personalizar la forma en la que se mostrará un documento en la pantalla, o la manera que se verá una vez impreso, e inclusive cómo se pronunciará la información presente en ese documento a través de un dispositivo de lectura. Esta forma de descripción de estilos ofrece a los desarrolladores el control total sobre estilo y formato de sus documentos. CSS se utiliza para dar estilo a documentos HTML y XML<sup>2</sup>, separando el contenido de la presentación.

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

- Sistema de administración de ventanas con diálogos, asistentes, notificaciones.
- Tratamiento de errores en tiempo de ejecución permitiendo detectar el origen de las excepciones incluso cuando el software es desplegado.
- Herramienta para la creación de la ayuda del programa.
- Gestión de módulos del sistema

La utilización de una tecnología modular unido a la arquitectura personalizable en la que se basa el sistema tiene entre otras ventajas la fácil modificación de cualquier componente del sistema, como por ejemplo los intervalos de evaluación de cada variable meteorológica definidos en la metodología, datos de entrada, presentación de los resultados, etc. Las tecnologías anteriores se complementaron con la utilización de Symfony 3.1, jQuery y MetroUI, además de Apache como servidor web seleccionado para soportar la aplicación web.

En un sistema de evaluación de pronósticos del tiempo se maneja gran cantidad de datos, de ahí que se deba contar 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 a PostgreSQL en su versión 9.4; la aplicación permite alta concurrencia, es decir, varios usuarios pueden realizar operaciones de manera simultánea 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 que permite que se puedan generar cualquier combinación de estadísticas.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

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), y es esto precisamente lo que se ha tratado de lograr con el nuevo software.

---

<sup>2</sup> Siglas en inglés de *eXtensible Markup Language* ('lenguaje de marcas extensible').

Al programa encargado de verificar la eficiencia de las predicciones del tiempo se le denominó “Sistema Integrado para la Verificación de los pronósticos del Tiempo” (SIVER). La elaboración de este software responde al proyecto de investigación “Sistema de verificación de los pronósticos del tiempo a corto plazo” (2015-2017), adscrito al programa “Meteorología y Desarrollo Sostenible del País”. Dentro de las principales características que distinguen al software propuesto se encuentran:

- Desarrollado con tecnologías multiplataforma lo que lo hace compatible con los sistemas operativos más utilizados.
- No depende del FTP para la recepción de los pronósticos.
- Los pronósticos no se manejan en texto plano lo que representa una garantía ante modificaciones no autorizadas.
- Los pronósticos, observaciones y resultados, así como el resto de la información asociada al proceso están almacenada en una base de datos relacional, lo que permite un mayor control de la información y brinda la posibilidad de realizar procesamientos estadísticos más ricos que los mostrados en los software anteriores.

## **1. COMPONENTES DE LA APLICACIÓN**

El SIVER está compuesto por tres componentes fundamentales: núcleo del procesamiento de datos, sitio web de los resultados y herramienta de confección de los pronósticos, cuyos detalles se expondrán a continuación.

### **Núcleo de procesamiento de datos**

Esta es una aplicación modular escrita en JAVA que tiene como principal función realizar la verificación de los pronósticos confeccionados por los especialistas. Para realizar esta tarea primeramente se toman, de manera regular, los valores de las observaciones realizadas por las estaciones de superficie (FM-12) que se encuentran disponibles en la dirección <http://10.0.100.101> y los compara con los valores pronosticados atendiendo a las directivas establecidas en la “Metodología del Sistema Nacional de Pronósticos para la Verificación de las Predicciones del Tiempo a Corto Plazo”.

### **Sitio web de los resultados**

Para consultar los resultados de la verificación se diseñó e implementó un sitio web que además de brindar esta funcionalidad permite realizar la administración de toda la información disponible en la base de datos del SIVER y expone varias API para ser utilizadas por la **herramienta de confección de pronósticos**. Este sitio fue implementado, principalmente, utilizando los lenguajes de programación PHP y JavaScript, y los frameworks Symfony 3.1, jQuery y MetroUI.

Debido a que la información que se puede consultar en este sitio es de naturaleza delicada y solo concerniente al Centro de Pronósticos y a los grupos provinciales de pronóstico se creó un mecanismo que solo permite el acceso al sitio a un listado de direcciones IP establecido.

### ***Para el trabajo de los Usuarios***

El sitio web cuenta con un FrontEnd<sup>3</sup> en el que el usuario puede consultar los pronósticos realizados para un día determinado y los resultados alcanzados en ellos, bien sea a modo de resumen, por variables meteorológicas, por regiones de pronóstico, o un examen más detallado en el que se analice los valores pronosticados en cada periodo y subregión, así como las observaciones correspondientes. También se incluyó un módulo de incidencias en la que el usuario puede evacuar las dudas que tenga respecto al funcionamiento del sistema o reportar algún error presentado. Además, cuenta con un módulo para generar los informes que se solicitan al finalizar cada mes.

---

<sup>3</sup> Se refiere a la parte de la interface con la que el usuario común, no administrativo, interactúa.

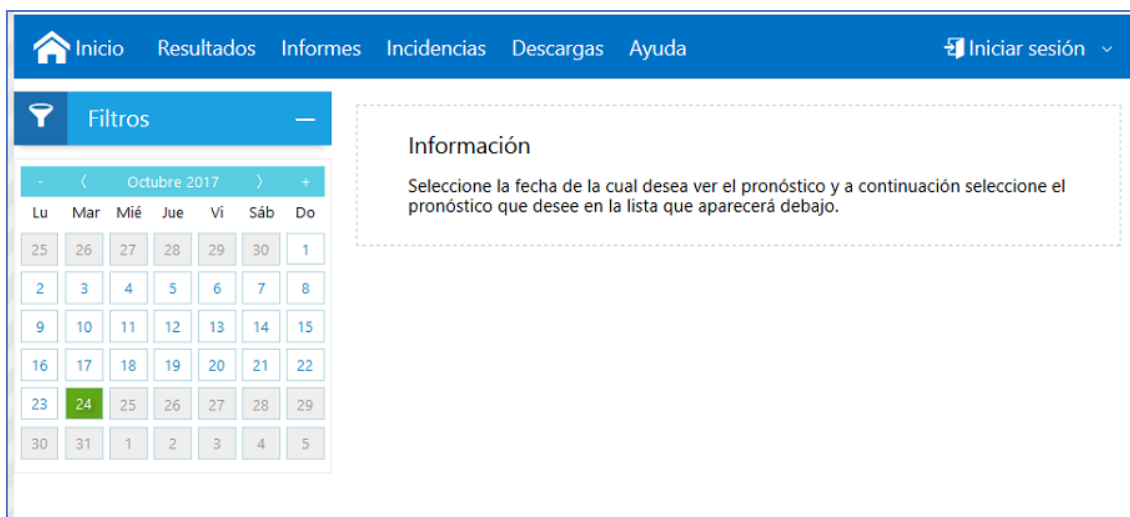


Fig. 5 Página principal o FrontEnd del Sitio web del SIVER.

### **Para el trabajo de la Administración**

En la parte de la administración o BackEnd<sup>4</sup> se pueden gestionar prácticamente todos los aspectos del sistema. El panel de la administración cuenta con tres secciones: Usuarios, Estaciones y Regiones, y Otros.

**Usuarios:** En esta sección se encuentran la administración de los usuarios, los permisos y roles, así como el filtro de pronósticos que no es más que un mecanismo que filtra la información que se les muestra a los usuarios basado en su máscara de red, es decir que se puede hacer que una provincia solamente vea los resultados de sus pronósticos.

**Estaciones y regiones:** Agrupa los elementos de administración relacionados con las estaciones de superficie, cuáles de ellas poseen brisas, las regiones de pronóstico, así como las provincias.

**Otros:** En ella se encuentran los elementos a los que se accede con mayor frecuencia y que presentan un valor más crítico en el sistema. Dichos elementos son listados a continuación junto con los aspectos que se administran de cada uno de ellos.

- ✓ **Variables:** Identificador de la variable, su nombre y una expresión regular que se utiliza para validar los valores permitidos de cada variable.
- ✓ **Observaciones:** En este elemento además de gestionar los valores que conforman cada estación (fecha, hora, estación y variable meteorológica observada), se pueden filtrar las observaciones por mes y año lo que muestra un listado agrupado por días con la cantidad de observaciones recibidas en cada horario y permite introducir el mensaje de las estaciones faltantes para que sea asimilado por el sistema. De manera similar permite introducir un paquete de observaciones<sup>5</sup> para que sean procesados masivamente. Estos dos mecanismos fueron creados para no depender únicamente de la base de datos de observaciones.
- ✓ **Confección:** Permite modificar el nombre de los pronósticos (P-24, P-18, P-24 GRM), descripción, las horas de envío para cada tipo de pronóstico, la cantidad de periodos en los que se divide un pronóstico, las regiones y zonas que lo integran y las variables a evaluar en el tipo de pronóstico en cuestión. Esta opción cuenta con una total integración con la aplicación de escritorio del SIVER.
- ✓ **Pronósticos:** De los pronósticos solo se permite cambiar los horarios de validez del mismo, la autoría, marcarlo como repetido o moverlo a un estado diferente del actual<sup>6</sup>. Si el pronóstico se encuentra evaluado y se cambia a otro estado se eliminan los registros

<sup>4</sup> En este caso es la parte de la interface a la que solo tienen acceso los administradores del sistema.

<sup>5</sup> Se refiere a un archivo de texto en el que se encuentran todos los mensajes FM12 recibidos cada tres horas en un día dado.

<sup>6</sup> Los estados son una forma de categorizar los pronósticos. Estos pueden ser evaluado, repetido, en espera, o con errores al evaluar.



asociados a la evaluación del mismo, por otra parte, no se podrá cambiar directamente al estado de evaluado ya que este estado solo lo asigna durante el proceso de verificación.

En la figura 6 aparece una captura de la página principal para la administración.

ID	Confeccion	Fecha	Inicio	Usuario	Grupo	Estado	Acciones
6968	P18	31/08/2017 02:16:58	31/08/2017 12:00:00	Elier Pila	1	espera	Ver Modificar Borrar
6967	P24 VLC	30/08/2017 14:37:45	31/08/2017 06:00:00	Remberto Rivero López	NULL	espera	Ver Modificar Borrar
6966	P24 CFG	30/08/2017 19:01:38	31/08/2017 06:00:00	José Hernández Sarmiento	NULL	espera	Ver Modificar Borrar
6965	P24 IJV	30/08/2017 20:20:01	31/08/2017 06:00:00	Carlos Norberto Rodríguez	NULL	espera	Ver Modificar Borrar
6964	P24 HLG	30/08/2017 21:11:20	31/08/2017 06:00:00	Felix Fuentes Díaz	NULL	espera	Ver Modificar Borrar

Fig. 6 Vista principal de la administración o BackEnd.

El sitio web también incluye opciones para eliminar las evaluaciones de un determinado día o del periodo completo y poner el sitio en mantenimiento o regresarlo al estado normal. Cuando el sitio web se encuentra en mantenimiento no se puede acceder al mismo a menos que sea administrador o el IP del cliente se encuentre en la lista blanca; sin embargo, se pueden seguir recibiendo los pronósticos a través de la API del sitio.

### **Herramienta de confección de pronósticos**

Esta es una aplicación de escritorio escrita en JAVA en la cual se debe confeccionar el pronóstico para ser verificado. La herramienta no es más que una rejilla genérica que se construye a partir de la información que se encuentra en la base de datos y que se obtiene a través del archivo de caché que se encuentra en la sección de descargas del **sitio web de los resultados**. Además de la creación, edición y publicación<sup>7</sup> del pronóstico la herramienta permite que se complete un pronóstico con el realizado anteriormente, notifica al usuario cuando está a punto de expirar el periodo de edición del pronóstico y realiza copias de recuperación cada cierto periodo de tiempo.

La aplicación maneja archivos de extensión *.pron* que no es más que un archivo binario garantizando que solo pueda ser editado a través de la herramienta y permitiendo que pueda ser trabajado de manera similar a un documento de alguna suite ofimática. En la figura 7 puede apreciarse captura de la aplicación de escritorio del SIVER. En el caso de los pronósticos emitidos por un Centro Meteorológico Provincial la estructura de la misma (regiones y zonas de pronóstico) varía según lo establecido en la regionalización para la verificación de los pronósticos en cada provincia.

<sup>7</sup> Se le llama publicación al proceso de enviar el pronóstico al servidor para que pueda ser verificado.

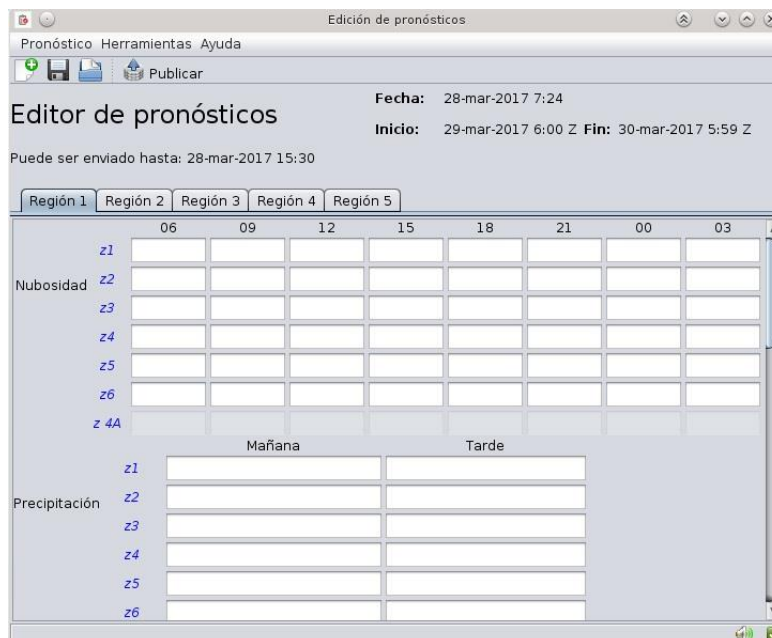


Fig. 7 Rejilla de confección de los pronósticos para 24 horas del Centro de Pronósticos.

En este módulo juegan un papel fundamental las **API del sistema**. En el siguiente listado se exponen cada una de ellas y la función que cumplen:

- ✓ **Iniciar sesión:** Permite verificar las credenciales de un usuario y devuelve un *token*<sup>8</sup> de acceso que tiene una validez de 15 minutos. Este *token* será utilizado para identificar al usuario a la hora de publicar su pronóstico.
- ✓ **Obtener pronóstico anterior:** Devuelve el último pronóstico que ha sido confeccionado para la misma región de pronóstico que se está pronosticando. Esta funcionalidad es utilizada por los especialistas para utilizar el pronóstico anterior como base del pronóstico a realizar.
- ✓ **Horario:** Devuelve la hora actual del servidor en el huso horario UTC permitiendo determinar si existe algún tipo de diferencia entre la hora local del cliente y la que existe en el servidor. Una diferencia de  $\pm 15$  minutos es permitida, en caso de la diferencia ser mayor se alerta al usuario de este problema. Siempre que sea posible se utiliza la hora del servidor.

### **Documentación de la aplicación**

Destacar que el código fuente de la aplicación se encuentra debidamente comentado para futuras modificaciones que se le quiera hacer al sistema. Además, fueron elaborados los siguientes manuales: Manual de instalación y configuración del SIVER, Manual de usuario para el trabajo con el “Confección”, Manual de usuario para el trabajo con el sitio web, Manual de usuario para el trabajo de la administración y el Procedimiento para verificar el acceso al sitio web del SIVER.

## **2. EFECTIVIDAD DE LAS PREDICIONES DEL TIEMPO A CORTO PLAZO**

El SIVER se implementó de manera experimental en el Centro de Pronósticos del Tiempo desde febrero de 2016 e introducido a la práctica operativa durante agosto de ese mismo año. A partir de enero comenzó su despliegue en los Centros Meteorológicos Provinciales de todo el país.

La efectividad de los pronósticos del tiempo en el periodo lluvioso del año 2016 y el poco lluvioso 2016-2017 alcanzó como promedio un 90.25 %. En la figura 8 se muestra la efectividad media del pronóstico de 24 horas obtenido entre los meses de mayo de 2016 y abril de 2017. Del análisis de ambas figuras pueden derivarse los siguientes aspectos:

<sup>8</sup> Se refiere a una clave única que permite identificar al usuario.

- La efectividad aumentó significativamente desde valores que predominaron por debajo del 90 % antes de octubre 2016 hasta superar este umbral en el periodo poco lluvioso noviembre/2016-abril/2017.
- Se evidencia un descenso de la efectividad en el mes de octubre, aunque mayo también registró el segundo valor más bajo.
- La nubosidad y la lluvia de mantienen como las variables con una menor efectividad.

Este comportamiento responde a varios factores. Entre ellos el hecho que de mayo/2016 a julio/2016 estuvo enmarcado el periodo de prueba del nuevo método de evaluación el cual se introdujo en el trabajo operativo el 1<sup>ro</sup> de agosto de 2016; ello pudo haber repercutido en el grado de seriedad con el que fue llenada la matriz del *Confeción* por parte de los especialistas. Los descensos en octubre están relacionados con la transición del periodo lluvioso al poco lluvioso, aunque a inicios de este mes se tuvo la afectación de Mathew a la región oriental de Cuba. La consideración de pronósticos ante situaciones meteorológicas complejas se realiza por primera vez en la verificación de los pronósticos. También, desde noviembre se introdujeron los nuevos rangos propuestos por Barcia *et. al.* (2012), para el pronóstico de las temperaturas extremas. Los cuales aumentaron a  $\pm 3$  °C para el caso de las mínimas y a  $\pm 2.5$  °C para las máximas en el periodo poco lluvioso del año, mientras que para el periodo lluvioso el rango propuesto para estas dos variables fue de  $\pm 1.5$  °C.

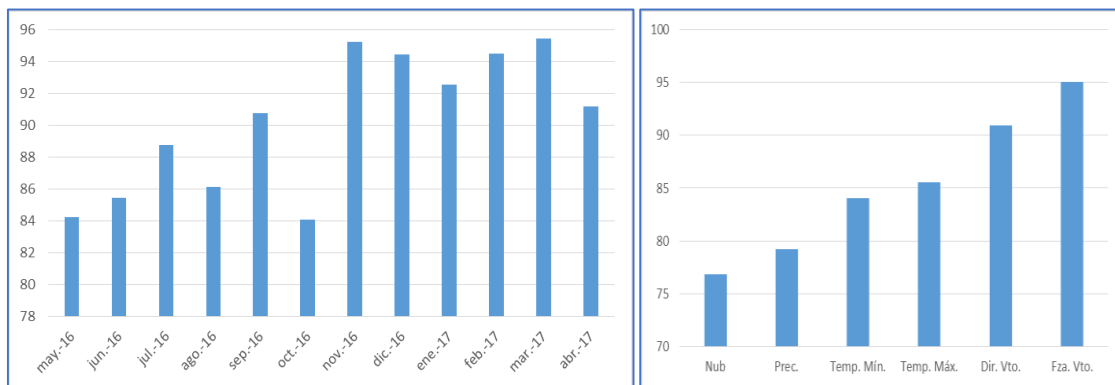
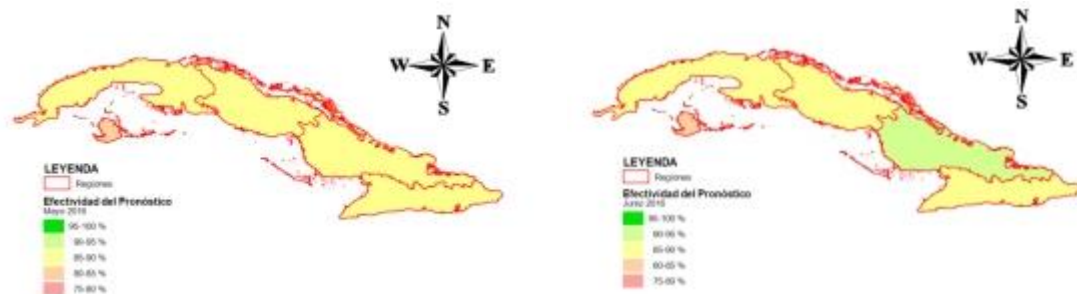


Fig. 8 Efectividad promedio del pronóstico de 24 horas entre los meses de mayo de 2016 y abril de 2017: a) por meses y b) según la variable meteorológica.

En periodo poco lluvioso del año y en el mes de septiembre, en todas las regiones de pronóstico la efectividad sobrepasó 90 %, denotándose los menores valores en los meses de mayo y octubre, en los que la efectividad estuvo entre el 85 y 90 %, inferiores en la región cinco, correspondiente al municipio especial Isla de la Juventud. Mapas con la distribución de la efectividad de las predicciones del tiempo en las cinco regiones del país, agrupados según el periodo lluvioso del 2016 y el periodo poco lluvioso 2016-2017 pueden apreciarse en las figuras 9 y 10.



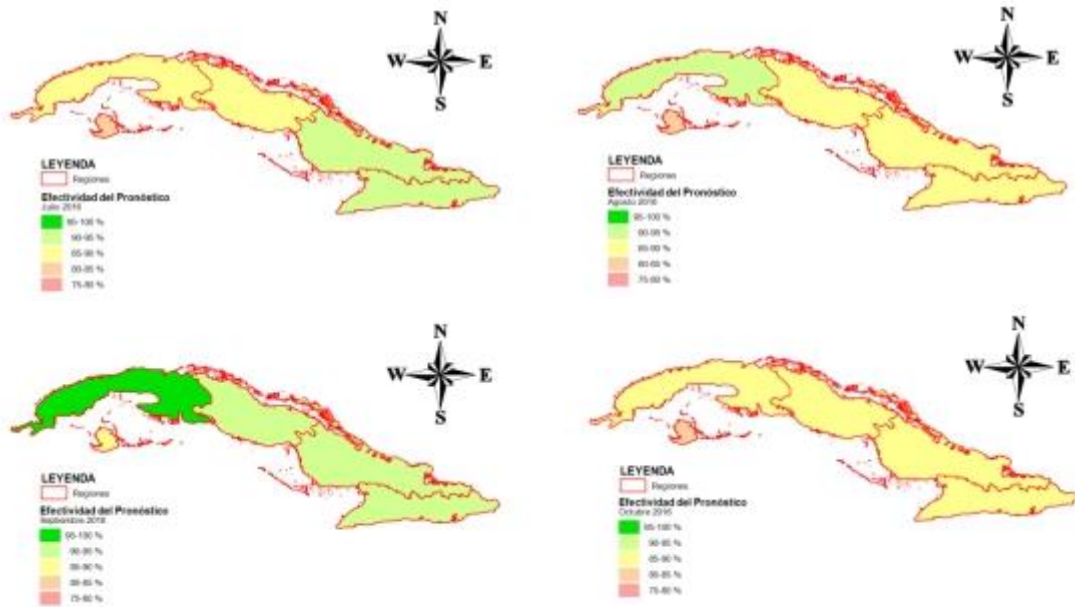


Fig. 9 Efectividad de los pronósticos para 24 horas para cada una de las regiones de pronóstico del país. Periodo lluvioso Mayo 2016-October 2016.

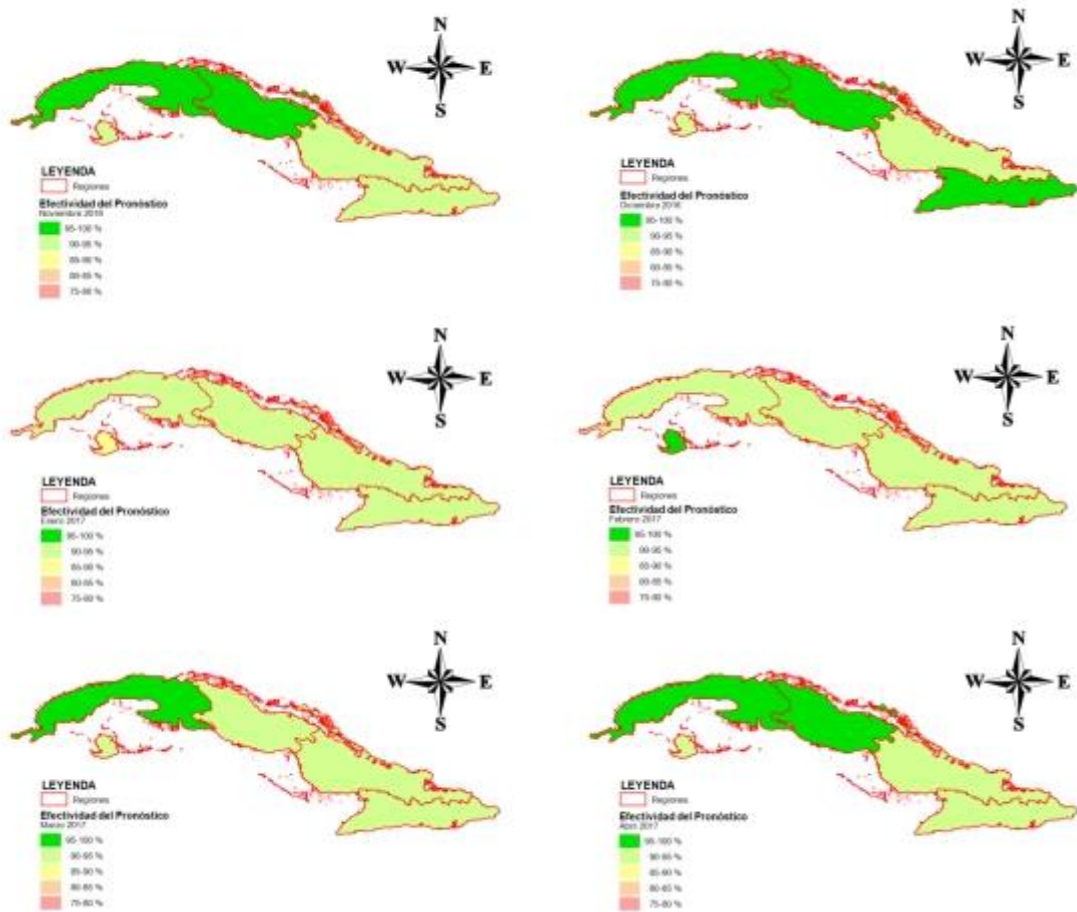


Fig. 10 Efectividad de los pronósticos para 24 horas para cada una de las regiones de pronóstico del país. Periodo lluvioso Noviembre 2016-Abril 2017.

## ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD POR VARIABLES

Las figuras 12a y 12b presentan el comportamiento del porcentaje de cumplimiento entre los meses de mayo de 2016 a abril de 2017 según la variable meteorológica y la región. A partir de estas figuras se derivan varios análisis presentados en esta sección.

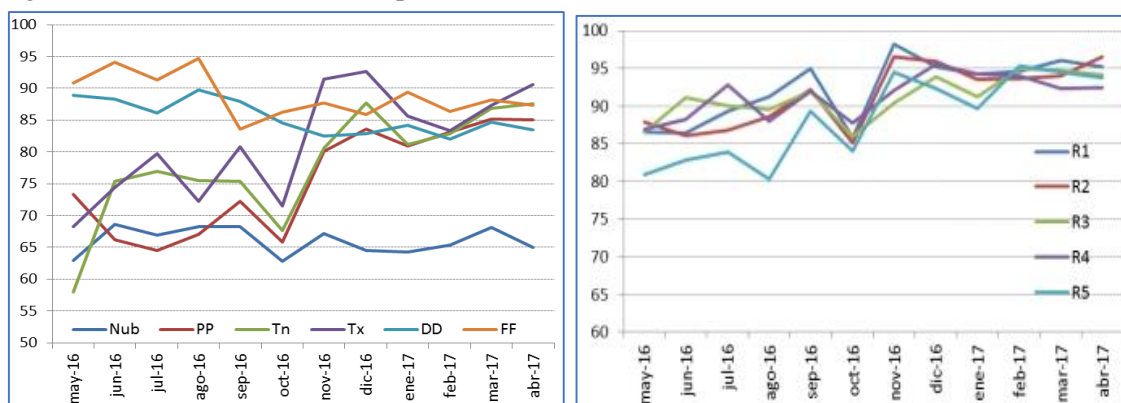


Fig. 11 Efectividad del pronóstico por variables y regiones de pronóstico entre los meses de mayo de 2016 y abril de 2017.

### Nubosidad y precipitación

Históricamente la nubosidad y la precipitación han sido las variables que presentan los resultados de la verificación más bajos. En el caso de la primera, debido a los errores de índole humana en los que se puede incurrir durante su observación, mientras que para la segunda, por la distribución espacial irregular que presenta. Todo ello por la no inclusión de técnicas satelitales para la verificación de ambas, aspecto que debe cambiar en un futuro no muy lejano.

La nubosidad, entre mayo de 2016 y abril de 2017 los valores medios para todo el país se manifiestan entre el 60-70 %. A diferencia de la precipitación este comportamiento es más estable en todo el periodo analizado. A pesar de ello se observa que, con excepción de los meses de transición, el resto del periodo lluvioso de 2016 presenta resultados ligeramente superiores a los del periodo poco lluvioso 2016-2017. Dentro de este último, el trimestre diciembre-enero-febrero presenta las efectividades más bajas, situación que se relaciona con los cambios experimentados ante la llegada de frentes fríos.

Los resultados más bajos de la precipitación ocurren en el periodo lluvioso del año 2016, con una efectividad entre el 64 y 75 %, aunque se pueden observar meses con valores que rondan el 65 %. En el periodo poco del año la efectividad de esta variable mejora notablemente predominando porcentajes entre el 80-90 %.

### Temperatura Máxima

La efectividad del pronóstico de temperatura máxima presenta un comportamiento ascendente, mostrando los valores más bajos durante los meses del periodo lluvioso 2016, lo que pudiera estar relacionado con el cambio del intervalo permisible para la temperatura máxima durante este periodo ( $\pm 1.5$  °C). En este periodo las regiones de pronóstico 3 y 4 son las que presentan los peores resultados con cumplimientos que predominan en muchas subregiones por debajo del 60 %. Destacan los meses de abril, julio, agosto y octubre como los más críticos y la subregión perteneciente a la zona montañosa de la Sierra Maestra y el macizo Nipe-Sagua-Baracoa, con valores que en ningún mes supera el 50 % de efectividad. Vale destacar que en esta subregión las estaciones meteorológicas representativas son las 78366 (Gran Piedra) y la 78334 (Palenque de Yateras), que a pesar de que ambas están situadas en zonas montañosas pertenecen a sistemas diferentes y la diferencia de altura entre ellas es notable (1130 la primera contra 406 metros la segunda). Esta situación puede incidir notablemente en la efectividad del pronóstico ya que el valor de temperatura máxima pronosticado para la zona pudiera cumplirse para una y para otra no por la diferencia de temperatura real que existe entre las dos.

Por otra parte, en el periodo poco lluvioso 2016-2017 los resultados del pronóstico de esta variable mejoraron notablemente con valores que superan el 80 % de efectividad en la mayor parte de las

subregiones de pronóstico, aunque la zona montañosa de la región 4 sigue presentando los resultados más desfavorables. No obstante, sus resultados mejoran ligeramente con respecto al periodo lluvioso del año. El análisis por meses muestra a los meses de enero y febrero de 2017 con los valores más bajos siendo este último el de los resultados más bajos. En este mismo mes destaca la región 2 con la mayor parte de sus zonas con efectividades entre 70-80 %.

### **Temperatura Mínima**

Los resultados de la verificación del pronóstico de la temperatura mínima también tienen un comportamiento ascendente en los meses entre mayo de 2016 y abril de 2017. Dentro del periodo lluvioso 2016 se obtuvieron efectividades muy bajas (inferiores a 60 %) fundamentalmente en los meses de transición mayo y octubre. En el caso del mes de mayo puede haber incidido en este comportamiento la disminución de las temperaturas mínimas en la región occidental y central durante los días 6, 7, 8 y 9 tras el paso del frente frío número 16 de la temporada invernal 2015-2016, situación que favoreció la ruptura de nueve récords de temperatura mínima absoluta para un mes de mayo. Por otro lado, en los días del 14 al 19 de mayo, las precipitaciones se vieron favorecidas por una vaguada en superficie sobre el mar Caribe occidental, lo que unido al cruce sobre Cuba de una vaguada en los niveles medios y altos de la troposfera, a la difluencia superior y a los altos valores de humedad en la parte baja de la troposfera, provocó acumulados significativos en gran parte del país, principalmente en las provincias desde Camagüey hasta Guantánamo. También, la proximidad de una vaguada superior sobre el golfo de México, el flujo cálido y húmedo en la troposfera baja estimuló nuevamente la ocurrencia de numerosas lluvias en la región occidental en los últimos días del mes.

En el periodo poco lluvioso 2016-2017 los resultados del pronóstico de la temperatura mínima mejoraron notablemente, situación grandemente influenciada, a criterio de los autores, por la introducción de los nuevos rangos de efectividades para el pronóstico de esta variable ( $\pm 3$  °C). En adición a esto deben tomarse en cuenta los meses de transición, pero principalmente octubre que es donde se denota más el cambio. Octubre es un mes de grandes contrastes de procesos atmosféricos relacionados con la génesis de organismos tropicales, otros vinculados a anticiclones migratorios y los asociados con frentes casi-estacionarios en la costa norte de Cuba (Fernández & Díaz, 2005), y según la metodología de verificación actual lo que se utiliza es un  $\pm 1.5$  °C, de ahí que se proponga ampliar este rango, al menos para la segunda quincena del mes. Los resultados sobrepasan el 70% de efectividad en más del 85 % de las subregiones de pronóstico. Al igual que en el caso de la temperatura máxima los valores de efectividades más bajos se alcanzan en los meses de enero y febrero, pero específicamente en las regiones 3 y 4. Nuevamente coincide la zona montañosa de la región 4 con resultados muy pobres en los dos periodos del año.

### **Dirección y fuerza del viento**

El pronóstico de la dirección y velocidad del viento presenta los mejores resultados entre todas las variables que intervienen en el mismo, aunque también se presentan marcadas diferencias entre el periodo lluvioso y el poco lluvioso del año. En el periodo lluvioso en más del 90 % de las subregiones se alcanza valores superiores al 80 % de efectividad, con excepción del mes de octubre de 2016. Octubre se caracterizó por la influencia del huracán Matthew sobre la región oriental de Cuba, lo que influyó a su vez en un descenso notable de las dos variables analizadas, pero principalmente de la fuerza del viento. Vale destacar que en estos resultados se mantuvieron los pronósticos realizados en estos días de afectación, respondiendo a un nuevo enfoque de la verificación al considerar las diferentes situaciones meteorológicas, dentro de las cuales se encuentran los ciclones tropicales. La efectividad del pronóstico de la dirección y velocidad del viento en el resto del periodo analizado desciende ligeramente, aunque todavía mantiene buenos resultados, en lo general por encima del 80 %.

## **CONCLUSIONES**

1. Se desarrolló un software para la evaluación de los pronósticos del tiempo denominado “Sistema Integrado para la Verificación de los Pronósticos de Tiempo” (SIVER), que se introdujo en la práctica operativa en el Centro de Pronósticos y en los grupos/departamentos de pronósticos de los Centros Meteorológicos Provinciales.

2. La efectividad de los pronósticos del tiempo en los meses de mayo de 2016 a abril de 2017 alcanzó como promedio un 90.25 %, obteniendo mejores resultados en el periodo poco lluvioso del año y manteniéndose la nubosidad y la lluvia como las variables con las efectividades más bajas.

## RECOMENDACIONES

Realizar el procesamiento estadístico de los resultados con una data más larga que arroje resultados más conclusivos que los que acá se presentan, principalmente en aquellas situaciones que provoquen cambios notables en las condiciones meteorológicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barcia, S., Ballester, M., Cedeño, Y., García, E., González, J. & Regueira, V. (2012). Variabilidad espacio-temporal de las variables que intervienen en los pronósticos a corto plazo en Cuba. Informe de Resultado Científico, Resultado 1, Proyecto Evaluación de los Pronósticos del Tiempo. Instituto de Meteorología INSMET. La Habana, Cuba, 68 p.
2. Boase, B., Tseros, H., Gray, G. *et al.* (2011): Guía práctica para la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad para los servicios hidrológicos y meteorológicos nacionales. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 132 p.
3. COMET (2012): Sistemas de gestión de la calidad: implementación en servicios meteorológicos [Online]. Boulder, CO: University Corporation for Atmospheric Research, Cooperative Program for Operational Meteorology, Education, and 60 Training. Disponible en: [http://meted.ucar.edu/index\\_es.php](http://meted.ucar.edu/index_es.php) [Consultado el 15 de octubre de 2015].
4. Condori, J.B. (2011). Diseño de páginas web mediante lenguaje HTML, monografias.com [En línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos91/lenguaje-html/lenguaje-html.shtml> [Consultado: 5 de enero de 2017]
5. Fernández, A. J. & Díaz, Y. A. (2005). Catálogo de Procesos Sinóptico del Archipiélago Cubano en el periodo 1979-1993. Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cuba, 167 p.
6. Jolliffe, I.T. & Stephenson, D.B. (2003): Forecast verification: A practitioner's guide in atmospheric science. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, England, 240 p.
7. Jolliffe, I.T. & Stephenson, D.B. (2012): Forecast verification: A practitioner's guide to atmospheric science. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, UK, 274 p.
8. Miranda, F.J., Chamorro, A. & Rubio, S. (2007): Introducción a la gestión de la calidad. Delta Publicaciones Universitarias, Madrid, España, 257 p.
9. Moya, A. S., Estrada, A., Ballester, M. & González, C. (2013). Evaluación de los pronósticos del tiempo a corto plazo. Informe de Resultado Científico, Resultado 3, Proyecto Evaluación de los Pronósticos del Tiempo. Instituto de Meteorología INSMET. La Habana, Cuba, 55 p.
10. Portela, M.A. (2004). "Metodología del Sistema Nacional de Evaluación de los Pronósticos del Tiempo" [inédito], Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 30 p.
11. 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.
12. Torres, K.M., Ruiz, T.S., Solís, L. *et al.* (2012): Calidad y su evolución: una revisión. Dimensión Empresarial, 10 (2): 100-107.
13. Trujillo, G., Ballester, M., Sánchez, A. L. (2017). Método para verificar los pronósticos de cobertura nubosa y porcentaje de área cubierta por lluvia. Informe de Resultado Científico, Resultado 2, Proyecto Sistema de Verificación de los Pronósticos del Tiempo a corto plazo. Instituto de Meteorología INSMET. La Habana, Cuba, 106 p.
14. Valderá, N.; Ballester, M. & Sánchez, A.L. (2017). Método pronóstico persistente. Informe de Resultado Científico, Resultado 1, Proyecto Sistema de Verificación de los Pronósticos del Tiempo a corto plazo. Instituto de Meteorología INSMET. La Habana, Cuba, 63 p.
15. Wilks, D.S. (2006). *Statistic Methods in Atmospheric Sciences*. Academic Press, New York, 627 p.