

## La persistencia como referencia en la estimación de la habilidad de las predicciones del Tiempo a corto plazo

### Persistence as a reference in the estimate of the ability of Short Range Weather Forecast

Nathalí Valderá-Figueroa<sup>✉</sup>, Maritza Ballester-Pérez, Ángel L. Sánchez-Pérez

Centro de Pronósticos del Tiempo, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

#### Resumen

Se presenta un método de pronóstico por persistencia para la determinación de la habilidad de las predicciones del Centro de Pronósticos del Tiempo (CenPro) del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET). Todo ello para introducir un nuevo enfoque en la verificación de los pronósticos ante la sencillez del método de evaluación actual. Para su confección se partió del procedimiento de Moya *et al.* (2013) para las temperaturas extremas. El persistente quedó conformado por tres algoritmos para la predicción de: las temperaturas extremas y la fuerza del viento en el que se consideraron intervalos de máximo solapamiento (IMS), la dirección del viento en el que se utilizaron criterios de selección organizados jerárquicamente, así como para la nubosidad y la precipitación. También se expone una adecuación del método ante la verificación de la cobertura nubosa y del área cubierta por lluvia mediante las imágenes de satélite. El procedimiento propuesto se validó con las predicciones válidas para 24 horas del periodo lluvioso del año 2016, arrojando cuatro nuevas distribuciones de los IMS. En este periodo, la efectividad promedio de las predicciones del CenPro superó la del pronóstico persistente. Los valores del índice de habilidad fueron positivos para las variables involucradas en la evaluación de las predicciones, excepto la fuerza del viento que alcanza valores negativos significativos a favor del persistente. Los resultados aquí presentados permiten considerar la habilidad de los pronósticos en el resultado final de la evaluación, principalmente en aquellos días donde las variaciones de las condiciones meteorológicas son notables.

**Palabras clave:** Verificación, Evaluación, Pronósticos del Tiempo, Habilidad, Persistencia

#### Abstract

A persistence forecasting method is presented for the determination of the ability of predictions issued by the Weather Forecast Center of the Institute of Meteorology of Cuba. All this in order to introduce a new approach in the verification of the forecasts before the current simplicity of the prediction's evaluation. For the construction of the persistent, we proceeded from the procedure of Moya *et al.* (2013) and was made up of three algorithms for the prediction of: extreme temperatures

<sup>✉</sup> Autor para correspondencia: Nathalí Valderá-Figueroa. E-mail: [nathali.valdera@insmet.cu](mailto:nathali.valdera@insmet.cu)

Recibido: 22/9/2017

Aceptado: 6/12/2017

and wind force in which maximum overlapping intervals were considered, wind direction in hierarchically organized selection criteria were used, as well as cloudiness and precipitation. Also, an adequacy of the method is exposed to the possibility of verifying the forecasts of cloud cover and of the area covered by rain through the satellite images. The validation of the proposal was made with technical predictions valid for twenty four hours in the rainy season of 2016 and observations of surface stations of the Institute of Meteorology of Cuba, yielding four new distributions of maximum overlapping intervals. In this period, the average effectiveness of short range predictions overcame that of persistent prediction. Both types of forecasts show a lower effectiveness in the months of May and October, related to the beginning and end of the rainy season in Cuba, and reaffirm the cloudiness and precipitation as the variables with the lowest historical compliance rates. A measure of the quality of forecast center predictions are given by the positive values of the ability index obtained for all meteorological variables involved in the assessment of predictions, except wind strength reaching negative values in favor of persistent prognosis. The results presented here allow to take into account in the final result of the evaluation the skill of the forecasts, mainly in those days where the variations of the meteorological conditions are remarkable.

**Keywords:** Verification, Evaluation, Weather Forecast, Skill, Persistence

## INTRODUCCIÓN

La verificación o evaluación de los pronósticos del tiempo cuantifica la relación entre un grupo de predicciones del tiempo y las observaciones meteorológicas y establece comparaciones de estos resultados respecto a pronósticos de referencia ([Jolliffe & Stephenson, 2003](#)), ambos verificados por el mismo procedimiento. El origen de la evaluación de los pronósticos internacionalmente se remonta al siglo XIX con el artículo de [Finley \(1884\)](#) mientras que en Cuba el procedimiento de verificación de [Sorochinski et al. \(1975\)](#) fue el primer trabajo de su tipo hasta la metodología de [Moya et al. \(2013\)](#), vigente hasta julio de 2016. Inicialmente en la primera mitad de la década de los 90 ocurrió un proceso de aprendizaje y adaptación. Posteriormente, se incrementó la efectividad de los pronósticos por encima del 90 %. Ello se debió fundamentalmente a las mejoras tecnológicas que trajeron a la palestra los modelos numéricos del tiempo.

Alrededor del 2012 ya se tenía una idea de la sencillez de la evaluación vigente hasta ese momento. Esta situación estuvo dada porque el resultado final de la evaluación sólo contemplaba un porcentaje de cumplimiento sin

tomar en cuenta otros indicadores de calidad. Por este motivo es la necesidad de introducir un nuevo enfoque en la verificación de los pronósticos que comenzó con el proyecto de investigación “Evaluación de los Pronósticos del Tiempo” (2012–2014). Hasta el 2016 se ha considerado de la misma manera un pronóstico en un día con influencia de las altas presiones y un anticiclón bien estructurado en toda la columna troposférica, que aquel en el que llega un frente frío a la región occidental de Cuba. En ambos casos influye el grado de dificultad y la habilidad de los pronósticos. El cálculo de este último aspecto aún está sin implementar en la práctica operativa y por ende no se considera en los resultados de la verificación. Un importante papel juega en este sentido el segundo objetivo de la verificación, el que involucra a los pronósticos de referencia (climatología, persistencia u otro generado aleatoriamente).

La climatología y la persistencia se tratan de los estándares de referencia más utilizados en el campo de la verificación de los pronósticos ([Murphy & Daan, 1985](#)). Un pronóstico climatológico es una predicción basada en promedios estadísticos de la variable meteorológica de interés a lo largo de varios años. En cambio, una predicción por el método de la persistencia supone que un sistema o las

variables meteorológicas mantendrán las  $X$  horas posteriores las características que mostraron durante las  $X$  horas anteriores ([Portela, 2006](#)); es decir, asume que las condiciones atmosféricas no cambiarán en el tiempo. Por otra parte, se debe tomar en cuenta que, en comparación con los rápidos y a veces violentos cambios de tiempo a lo largo de la trayectoria de los ciclones de latitudes medias, el tiempo en los trópicos sigue un curso más bien rutinario durante la mayor parte del tiempo ([Riehl, 1965](#)). Normalmente, en la zona tropical, la variación que existe entre dos días consecutivos es muy pequeña, de ahí que la persistencia se convierta en una herramienta importante en el pronóstico a corto plazo y sea el pronóstico de referencia seleccionado en el presente estudio. Otra razón más a favor de la persistencia es que la realización de un pronóstico persistente responde a uno de los objetivos del proyecto institucional “Sistema de verificación de los pronósticos del tiempo a corto plazo” (2015–2017) perteneciente al programa “Meteorología y Desarrollo Sostenible del país”.

Los artículos científicos en los que se compara la exactitud de las predicciones meteorológicas respecto a la persistencia y aquellos en los que se llega a determinar la habilidad de las predicciones utilizando la persistencia como referencia son escasos. Al menos en la bibliografía revisada, en los trabajos de [Thornes \(1996\)](#), [Thornes & Proctor \(1999\)](#) y [Odak & Pasarié \(2013\)](#) cuando no se parte de las observaciones puntuales de una sola estación meteorológica, no se expone el algoritmo para la obtención del valor a predecir por el método persistente cuando se trabaja con zonas de pronóstico. La persistencia se utiliza empíricamente en la confección de los pronósticos del CenPro del INSMET, pero sólo existe un método para el pronóstico de las temperaturas extremas ([Moya et al., 2013](#)).

Tomando en cuenta lo expresado anteriormente es que este trabajo se traza como objetivo general: “Desarrollar un método de pronóstico por persistencia para la

determinación de la habilidad de las predicciones emitidas por el Centro de Pronósticos del Tiempo del Instituto de Meteorología de Cuba”. El método de pronóstico aquí propuesto será incluido en el “Sistema Integrado para la Verificación de los Pronósticos del Tiempo” introducido en la práctica operativa del CenPro y de los Centros Meteorológicos Provinciales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Herramientas Computacionales Utilizadas

Las herramientas computacionales utilizadas en el desarrollo de este trabajo no tienen restricciones de utilización, lo que se ajusta a la soberanía tecnológica por la cual está apostando el país. La modelación de los algoritmos y procesos se realizó con los programas “Visual Paradigm Community Edition” v13.0 y “Dia” v0.97.2, herramientas para la creación de diagramas y organigramas estructurados que se encuentra bajo licencia GPL (Licencia Pública General de GNU). Para el procesamiento de los resultados se utilizó la aplicación “PSPP” v0.10, la cual es clon de código abierto que emula las funciones del software propietario “SPSS” (Statistical Package for the Social Sciences o Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales).

### Información Meteorológica Primaria

Un elemento fundamental para el análisis y evaluación de los pronósticos del tiempo son las observaciones trihorarias y sinópticas proporcionadas por la red de estaciones de superficie del INSMET. Sesenta y ocho estaciones meteorológicas ubicadas por toda Cuba conforman la red de estaciones y en la [figura 2](#) puede apreciarse su distribución espacial. De ellas se decidió excluir la 78308, correspondiente a La Piedra en Villa Clara debido a que no se contempla en la verificación de los pronósticos del tiempo ni se consideró en la regionalización de [Barcia et. al. \(2012\)](#). En comunicación personal el 26 de agosto de 2016, M. Ballester acotó que La Piedra es una

estación creada hace menos de 10 años y por lo tanto no cuenta con una base de datos lo suficientemente larga como para ser incluida en las regiones de pronóstico. En las estaciones meteorológicas se realizan regularmente observaciones del estado del tiempo que son codificadas en el código FM-12. Por ello es que el FM-12 se mantuvo como fuente primaria de los datos meteorológicos en materia de verificación y también fue considerado de la misma manera en lo referente al pronóstico persistente.

### Método Para el Pronóstico por Persistencia de Las Temperaturas Extremas

El procedimiento para el pronóstico de las temperaturas extremas parte de la determinación del tipo de intervalo de máximo solapamiento (IMS) y la posterior obtención del valor a pronosticar según el tipo de IMS.

#### Consideraciones para un Pronóstico de Temperaturas Extremas por Persistencia

[Moya et al. \(2013\)](#), plantearon que teniendo un conjunto de valores reales de una variable reportados por las estaciones meteorológicas de una provincia o región determinada, el valor promedio de los reportes es un buen estimador, en el sentido de cercanía de los valores entre sí.

Ahora bien, la obtención de la cifra significativa, o valor a pronosticar, dependería de la cantidad de valores a promediar de una variable y del número de estaciones que se ven imbricadas en el IMS. Esto se debe a que, en ocasiones, existen situaciones meteorológicas en las que los valores reales de una variable están muy dispersos de los otros valores reales

que constituyen la mayoría. El hallazgo del centro un intervalo no vacío de intersección de un conjunto de intervalos ([Figura 1](#)) es el promedio de los centros de todos intervalos intersectados:

$$T_S = (T_1 + z + T_2 - z)/2 = (T_1 + T_2)/2.$$

Teniendo en cuenta lo anterior y el tipo de IMS, se puede trazar el siguiente algoritmo para los pronósticos cuyos intervalos sean iguales

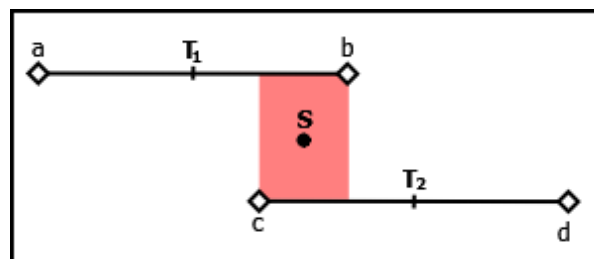
**Caso I:** Si el intervalo de máximo solapamiento es vacío, entonces se toma como pronóstico el promedio de todos los valores reales. En este caso todos los valores observados son tan aislados, que los intervalos que ellos generan no se intersectan ([Figura 2A](#)), por lo que se seleccionaría el valor promedio.

**Caso II:** Si el IMS involucra a más del 50 % de las estaciones del área, entonces se toma como pronóstico el promedio de los valores reales de las estaciones implicadas ([Figura 2B](#)). Esta situación garantizaría el 100 % de cumplimiento del pronóstico en el área.

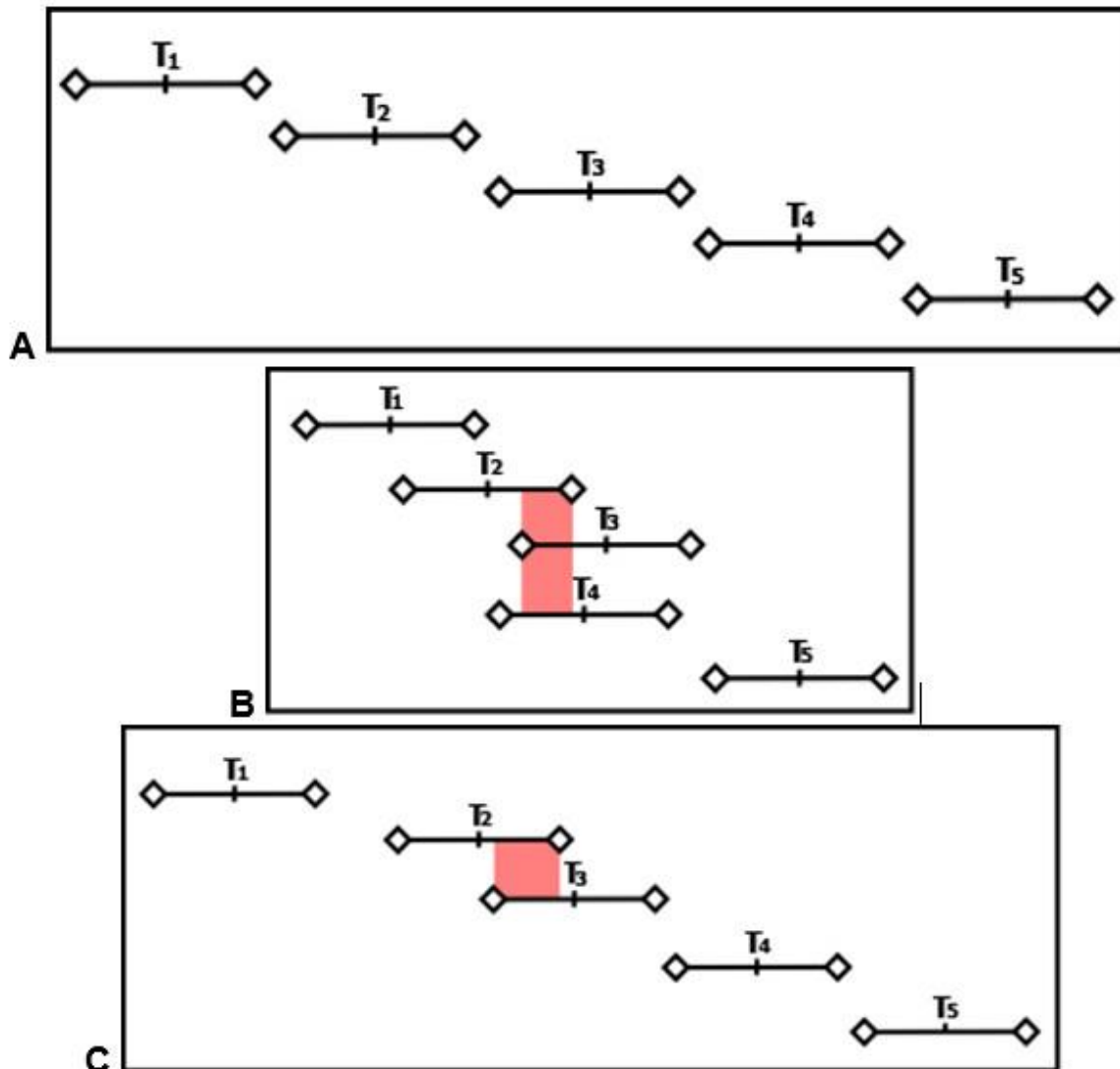
**Caso III:** Si el IMS involucra a un valor porcentual inferior al establecido ([Figura 2C](#)), entonces se comienzan a incluir a otras estaciones fuera del IMS, hasta que el porcentaje sea el correcto, tomando como criterio para involucrar una estación aquellas cuyo valor de la variable esté más cerca del IMS.

#### Estimación de la Habilidad de las Predicciones del CenPro

En la actualidad en el resultado general de la evaluación se considera de igual manera un pronóstico que alcanza un 100 % de efectividad que aquel con un 80 %, pero con validez para



**Figura 1.** Intersección de los intervalos (a, b) y (c, d). S es punto central de (c, b).



**Figura 2.** Intervalo de máximo solapamiento: A) vacío, B) con más del 50% de las estaciones de la región y C) con menos del 50% de las estaciones de la región

un día en el cual se evidencie un cambio significativo de la situación meteorológica. Lo que sí es cierto, es que la efectividad en ambos casos, aún si tuviera el mismo valor numérico, adquiere una mayor relevancia en los días de variaciones notables en las condiciones meteorológicas en los que el grado de dificultad es mayor. Se conoce de antemano que, en un pronóstico para un día de cambio, la pericia del pronosticador debe superar la efectividad de un pronóstico de referencia dado y viceversa. Ello puede determinarse mediante el cálculo de la habilidad de las predicciones.

Una vez obtenida la exactitud del pronóstico técnico  $M_{téc}$  y del persistente  $M_{per}$  se proceden a sustituir los valores en la expresión del índice de habilidad:  $SS = (M_{téc} - M_{ref}) / (M_{perf} - M_{ref}) = (M_{téc} - M_{per}) / (100 - M_{per})$  (Wilks, 2006), donde  $M_{per}$  es la exactitud que se alcanzaría con un pronóstico perfecto (100 %). Ahora bien, si  $M_{téc} = M_{ref}$ , el  $SS = 0$  indica que no hay un mejoramiento de los resultados sobre la referencia. Si la exactitud de los pronósticos que están siendo evaluados son inferiores a la de la referencia, entonces el  $SS < 0$ ; si por el contrario el  $SS > 0$ , la



exactitud de  $M_{téc}$  sobre  $M_{ref}$  será superior. Adicionalmente, se considerará que el grado de dificultad de un pronóstico será bajo cuando el  $SS \leq 0$  mientras que aquel que en aquel con un  $SS > 0$  será alto.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Algoritmos del Pronóstico Persistente

Según el tipo de variable a predecir y las características intrínsecas de cada una de ellas, se generaron tres algoritmos que componen el procedimiento de pronóstico por persistencia. El primero de ellos está conformado por las temperaturas extremas y la fuerza del viento, el segundo por la dirección del viento y el tercero por la nubosidad y la precipitación. Resaltar que en este último caso se muestran también las adecuaciones para los pronósticos por persistencia generados a partir de las imágenes de satélite.

Todos los algoritmos fueron automatizados utilizando como lenguaje de desarrollo "JAVA" en aras de mantener la compatibilidad con el "Sistema Integrado para la Verificación de los Pronósticos del Tiempo", también desarrollado en ese mismo lenguaje de programación. A continuación, los algoritmos que conforman el pronóstico por el método de la persistencia:

#### 1. Temperaturas extremas y fuerza del viento

Para la predicción la temperatura mínima, máxima y la fuerza del viento se tomó como base el algoritmo elaborado por [Moya et al. \(2013\)](#) para las temperaturas extremas debido a que las tres son variables continuas.

#### 2. Dirección del viento

La dirección del viento es una variable meteorológica que a lo largo del día experimenta una gran variabilidad, la que ocurre además en un amplio rango (0 a 360°). Por esta razón es que no se utiliza el razonamiento de los IMS para determinar el valor a pronosticar por el método de la persistencia.

El algoritmo propuesto parte, para cada plazo, de la correcta detección de los rumbos que contengan al menos un reporte de las observaciones. Posteriormente se procede a obtener la dirección del viento óptima a pronosticar por el método persistente. Para ello se considerarán los siguientes criterios de selección:

- **Cantidad de reportes:** El rumbo que tenga un mayor número de observaciones meteorológicas que reporten una dirección comprendida en él será el pronosticado.
- **Cercanía de las observaciones al centro del rango en el que están contenidas:** En este caso se toma aquel rumbo en el que la sumatoria de las distancias de cada observación respecto al valor central del rumbo sea menor. Ello garantiza que se pronostique el rumbo que esté más definido, o sea, el que más cerca tenga las observaciones de su centro.
- **Prioridad de los ocho rumbos principales por encima de los demás:** En la práctica operativa normalmente los pronosticadores realizan la predicción de la dirección del viento por la rosa náutica de ocho rumbos.
- **Fuerza del viento:** Según [Lecha et al. \(1994\)](#) el viento en Cuba como promedio no suele tener velocidades muy elevadas y cuando se sobrepasa el valor de 15 km/h se está bajo la influencia de algún sistema sinóptico que, en el periodo poco lluvioso del año generalmente se relaciona con los anticiclones continentales migratorios.

Una vez obtenido el "posible rumbo" del viento a predecir, se pueden presentar dos escenarios en función de la cantidad de las observaciones y su cumplimiento. En consecuencia, si el "posible rumbo" a pronosticar involucra a:

Más del 30 % de las estaciones de la región, entonces la dirección del viento a pronosticar sería el mismo "posible rumbo" del viento.

Menos del 30 % de las estaciones de la región, el pronóstico de la dirección dependería de la fuerza del viento.

En este sentido, si más del 50 % de las estaciones de la región tienen una velocidad del viento inferior a los 15 km/h, entonces se pronosticará *viento variable*. En la situación contraria se propondrá como dirección a pronosticar el “posible rumbo” del viento a sabiendas que no cumplirá los requisitos mínimos para que esta variable sea evaluada como correcta.

### 3. Nubosidad y precipitación

Los procedimientos para el pronóstico de la nubosidad y la precipitación por el método de la persistencia son similares y en ambos se parte del asentamiento de determinados datos meteorológicos en tablas modelos diseñadas para cada una de las variables en cuestión.

**Nubosidad:** Lo primero es el registro de la cantidad de octas reportados por cada estación meteorológica de una misma región en la [tabla 1](#).

El estado del cielo a pronosticar en un horario será aquel que tenga un mayor número de observaciones y si existen varios términos con igual cantidad de reportes, se pronosticará el término parcialmente nublado. Este procedimiento habrá que repetirlo cada tres horas.

**Precipitación:** En la [tabla 2](#) se debe registrar la lluvia reportada por cada estación meteorológica en los horarios de las 12 y 18 UTC. Se considerará que hubo lluvia en 12 horas si llovió en una de las observaciones anteriores, lo que será reflejado con la dicotomía sí/no en la cuarta columna de la tabla referenciada.

El pronóstico de precipitación en el periodo

de 12 horas se conforma de acuerdo con el porcentaje que representan las estaciones que reportaron lluvia del total de estaciones de la región y el cotejo con la distribución espacial: sin lluvia (en menos del 10 % de las estaciones del área), aisladas (en menos del 40 % de las estaciones del área), algunas (entre el 30 y el 70 % de las estaciones del área) y numerosas (en el 60 % o más de las estaciones del área). El 35 % se utilizó como valor umbral para definir el pronóstico a realizar entre los términos aisladas-algunas. Así, un valor inferior al 35 % será considerado como aisladas lluvias, en cambio por encima serán algunas precipitaciones. De manera análoga se consideró el 65 %, pero para los términos algunas-numerosas. Este procedimiento se repetirá para el periodo tarde-noche, pero con las observaciones de las 00 y 06 UTC.

#### Adaptaciones

[Trujillo \(2011\)](#) consideró la distribución y la densidad de estaciones meteorológicas como uno de los principales problemas en los reportes de nubosidad, lo que hace que la cobertura nublada de una región dada sea observada doblemente o no observada directamente. A esto debe sumársele los errores de índole humano en los que incurre el observador al detectar visualmente esta variable ([Cazorla et al., 2005](#)).

En cuanto a la lluvia, se trata del elemento de mayor variabilidad ([Lecha et al., 1994](#)). La precipitación es una variable discontinua y los pluviómetros de la red de estaciones meteorológicas no son suficientes para cubrir todo el territorio nacional. En Cuba, los

**Tabla 1.** Tabla modelo para la determinación del término de nubosidad más frecuente

Estación	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Estación 1										
Estación 2										
Estación 3										
Estación 4										
Estación 5										

**Tabla 2.** Tabla modelo para el pronóstico de lluvia por persistencia en el periodo madrugada/mañana.

Estación	Horarios		Lluvia en 12 horas
	12 Z	18Z	
Estación 1			
Estación 2			
Estación 3			
Estación 4			
Estación 5			

inconvenientes que produce la gestión de las estaciones pluviométricas del país, al contar con zonas excesivamente densas y otras sin pluviómetros, es uno de los elementos que más golpea al evaluar la lluvia en una región dada.

Por consiguiente es que se valoró la posibilidad de verificar los pronósticos de estas variables por las imágenes de satélite, a partir de los métodos para estimar los porcentajes de cobertura nubosa (Ballester & Trujillo, 2016; Trujillo, 2011) y el área cubierta por lluvia sobre Cuba (Quevedo, 2012). Para ello, se aplicaron los mismos porcentajes establecidos para los términos de la precipitación (sin lluvia, aisladas, algunas y numerosas), mientras que para la nubosidad se calculó el porcentaje que representan los octavos de cielo para cada término quedando la distribución según muestra la tabla 3:

**Tabla 3.** Distribución de la nubosidad en porcentaje de área cubierta

Estación	Porcentaje
Despejado	0 - 12.4
Poca nubosidad	0 - 37.4
Parcialmente nublado	37.5 - 75
Nublado	62.5 - 100

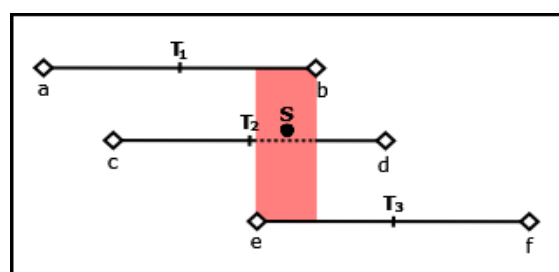
### Validación de los Algoritmos Del Persistente

En total fueron procesados 167 pronósticos del tiempo para 24 horas elaborados con validez entre el 1º de mayo y el 31 de octubre de 2016, lo que coincide con el periodo lluvioso en Cuba.

### Temperaturas extremas y fuerza del viento

La validación se realizó manualmente mediante la comparación del valor pronóstico con aquel arrojado por un software, con especial énfasis en el descubrimiento de nuevos escenarios que pudieran surgir durante la detección del intervalo de máximo solapamiento. En este sentido se concibieron disímiles casos de prueba aleatorios con la finalidad de verificar que el valor pronóstico arrojado era el correcto y luego se generaron automáticamente las representaciones gráficas para cada una de las variables en el periodo analizado.

El proceso arrojó que cuando existen más de dos intervalos con valores centrales diferentes (Figura 3), a diferencia de lo que plantean Moya et al. (2013), el promedio de los mismos difiere del centro del IMS.



**Figura 3.** Intersección de los intervalos (a, b), (c, d) y (e, f). S es punto central de (e, f).

Ante este escenario se cumple que:  $I_1 \cap I_2 \cap I_3 = \{x \in \mathbb{R} \mid a < c < e < x < b < d < f\}$ . En la intersección, para encontrar el extremo inferior debe buscarse el supremo de la sucesión de extremos inferior mientras que para



hallar el extremo superior se busca el ínfimo de la sucesión de extremos superiores, de ahí que  $I_1 \cap I_2 \cap I_3 = \{x \in \mathbb{R} \mid e < x < b\} = \{x \in \mathbb{R} \mid x \in (e, b)\}$ .

Suponiendo los valores de una variable como  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$  en el centro de los intervalos  $(a, b)$ ,  $(c, d)$  y  $(e, f)$  respectivamente, además de la existencia de un punto central  $S$  en el IMS dado por el intervalo  $(e, b)$ . Considerando que los valores de la variable en los puntos  $e$  y  $b$  pueden calcularse como  $T_e = T_1 + z$  y  $T_b = T_3 - z$ , siendo  $z$  la cifra designada para los límites superior e inferior del intervalo, el valor de la variable en el punto medio del IMS ( $S$ ) se puede obtener de la siguiente manera:  $T_S = (T_1 + z + T_3 - z)/2 = (T_1 + T_3)/2$ . O sea, el centro de intersección de un conjunto de intervalos sería el promedio de los valores centrales de los intervalos que intervienen en los límites superior e inferior del IMS.

#### Análisis de los Intervalos de Máximo Solapamiento

A los tres tipos de IMS, se le añadieron otras variantes de agrupación, específicamente en los casos I, II y III, los que se corresponden con un IMS nulo y aquellos que involucran más/menos del 50 % de las estaciones meteorológicas de la región.

**Caso I:** Cuando el IMS es nulo todos los valores observados de la variable meteorológica en cuestión son tan aislados, que los intervalos que ellos generan no se intersectan. Las principales alternativas en esta situación están dadas por la cercanía de los valores reales entre sí ([Figura 4](#)).

**Caso II:** Cuando el IMS involucra más del 50 % de las estaciones de la región pueden presentarse un IMS (Caso IIA) o varios con disímiles características (Caso IIB) en cuanto a la amplitud del IMS ([Figura 5](#)).

**Caso III:** Los IMS con menos del 50 % de las estaciones de la región pueden presentarse de diversas maneras: un IMS y estaciones agrupadas o separadas, varios IMS con igual o diferentes amplitudes, así como una

combinación de algunos de los elementos anteriores.

#### Valores a pronosticar en las nuevas variantes

La selección del promedio como valor pronóstico no es la salida más idónea en todas las situaciones. Este escenario ocurre cuando las condiciones meteorológicas varían significativamente en una región dada, situación que ocurre comúnmente después de la entrada de un frente frío. En este caso, existen dos posibles distribuciones: una en la que el promedio queda dentro de los intervalos que generan las estaciones del área ([Figura 6A](#)), y la otra cuando permanece fuera del mismo ([Figura 6B](#)).

Para la distribución IA se mantiene como valor pronóstico el promedio de todas las estaciones involucradas, pero en el Caso IB, lejos de pronosticar el promedio, es preferible elegir un valor que al menos se cumpla en una estación meteorológica, aunque no alcance el porcentaje de efectividad requerido para que la predicción sea calificada como correcta.

Existen otras situaciones en las que hay solamente un IMS que involucra más del 50 % de las estaciones (Caso IIA), se conserva como valor a pronosticar el promedio de los valores reales de las estaciones implicadas. Entiéndase la amplitud del IMS como el valor absoluto entre los extremos del IMS.

Si los IMS tienen diferente amplitud ([Figura 5B](#)), el valor a pronosticar será el promedio de las observaciones reales de las estaciones implicadas en el IMS con mayor amplitud. Por el contrario, también pueden presentarse varios IMS con igual amplitud (Ver caso IIBii en [Figura 5C](#)). En esta situación puede seleccionarse cualquiera de los intervalos de igual amplitud, aunque se recomienda tomar en cuenta otros indicadores como la tendencia de la variable en las últimas 24 horas.

Para la distribución III, a diferencia de lo planteado en el algoritmo original, se recomienda utilizar solamente el promedio de las estaciones involucradas en el IMS, aunque no se alcance el valor mínimo requerido para

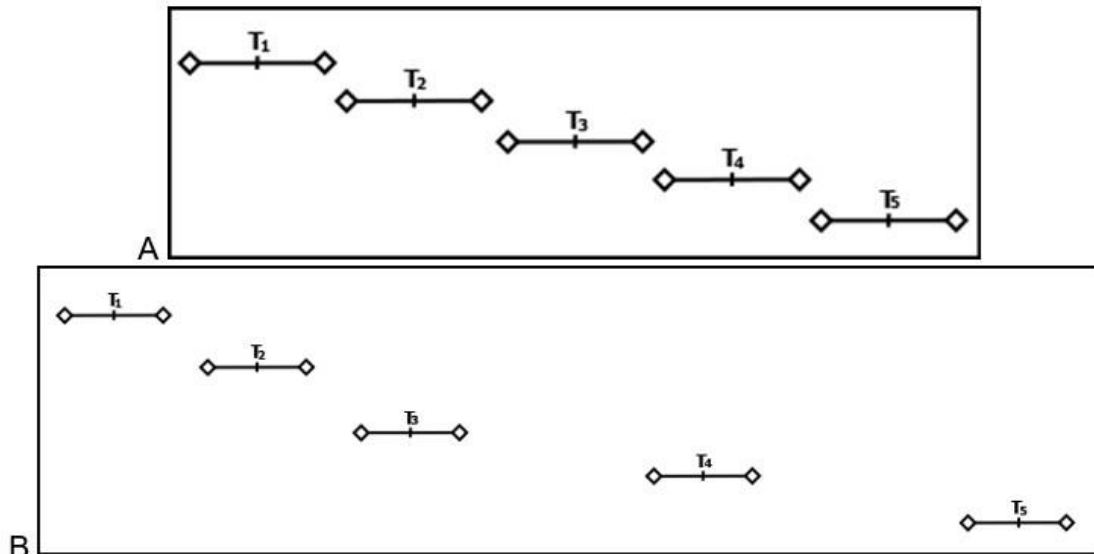


Figura 4. Caso I con observaciones A) próximas y B) separadas

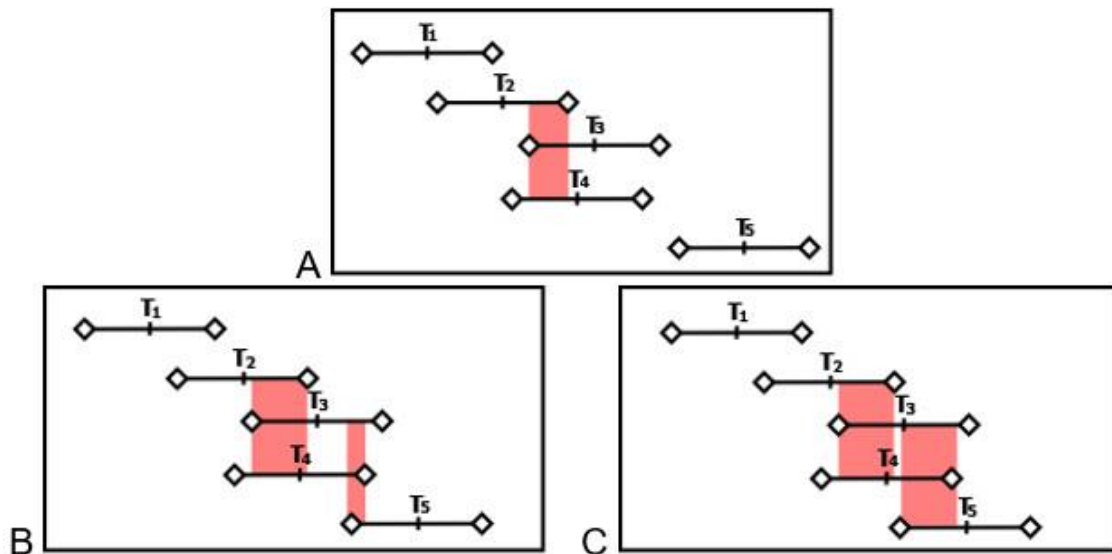


Figura 5. Más del 50 % de las estaciones meteorológicas de la región con A) con un único intervalo de máximo solapamiento, y varios intervalos de máximo solapamiento de B) diferente e C) igual amplitud.

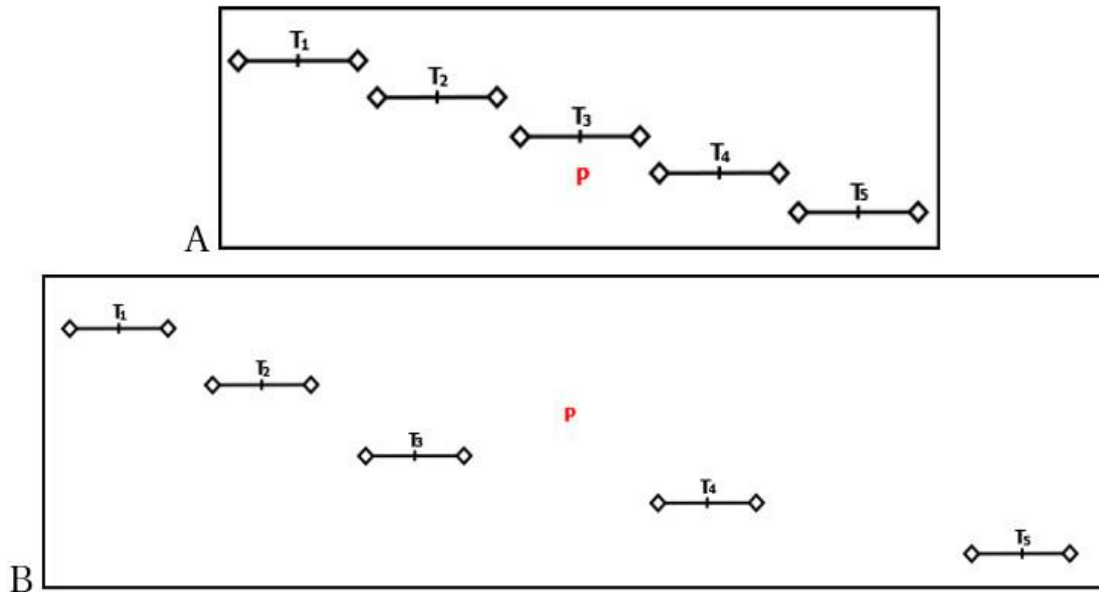
que el pronóstico sea calificado como correcto. El motivo principal de la propuesta es el error en el que se incurriría al incorporar al promedio de las estaciones participantes en el IMS, otras estaciones meteorológicas. Ello traería como consecuencia un alejamiento del valor a pronosticar respecto al obtenido sólo con el IMS.

En la [figura 7](#) puede apreciarse un esquema

del algoritmo final para el pronóstico persistente de las temperaturas extremas y la fuerza del viento.

#### ***Dirección del viento, nubosidad y precipitación***

Del mismo modo que se validaron las variables continuas, se procedió a la validación de las categóricas, pero esta vez mediante



**Figura 6.** Intervalos de máximo solapamiento con A) valor promedio dentro del rango y B) fuera del rango. El valor promedio se muestra con la letra P

*pruebas unitarias*<sup>1</sup> dirigidas a componentes del software en específico con el objetivo de verificar que el valor pronóstico arrojado por el software coincide con el obtenido manualmente en un análisis previo. Ante la no coincidencia del resultado se procedió a la localización y corrección de fallos hasta que el resultado arrojado por el software fuera el correcto.

### Efectividad del Pronósticos Técnico y del Persistente. Habilidad de las Predicciones del CenPro

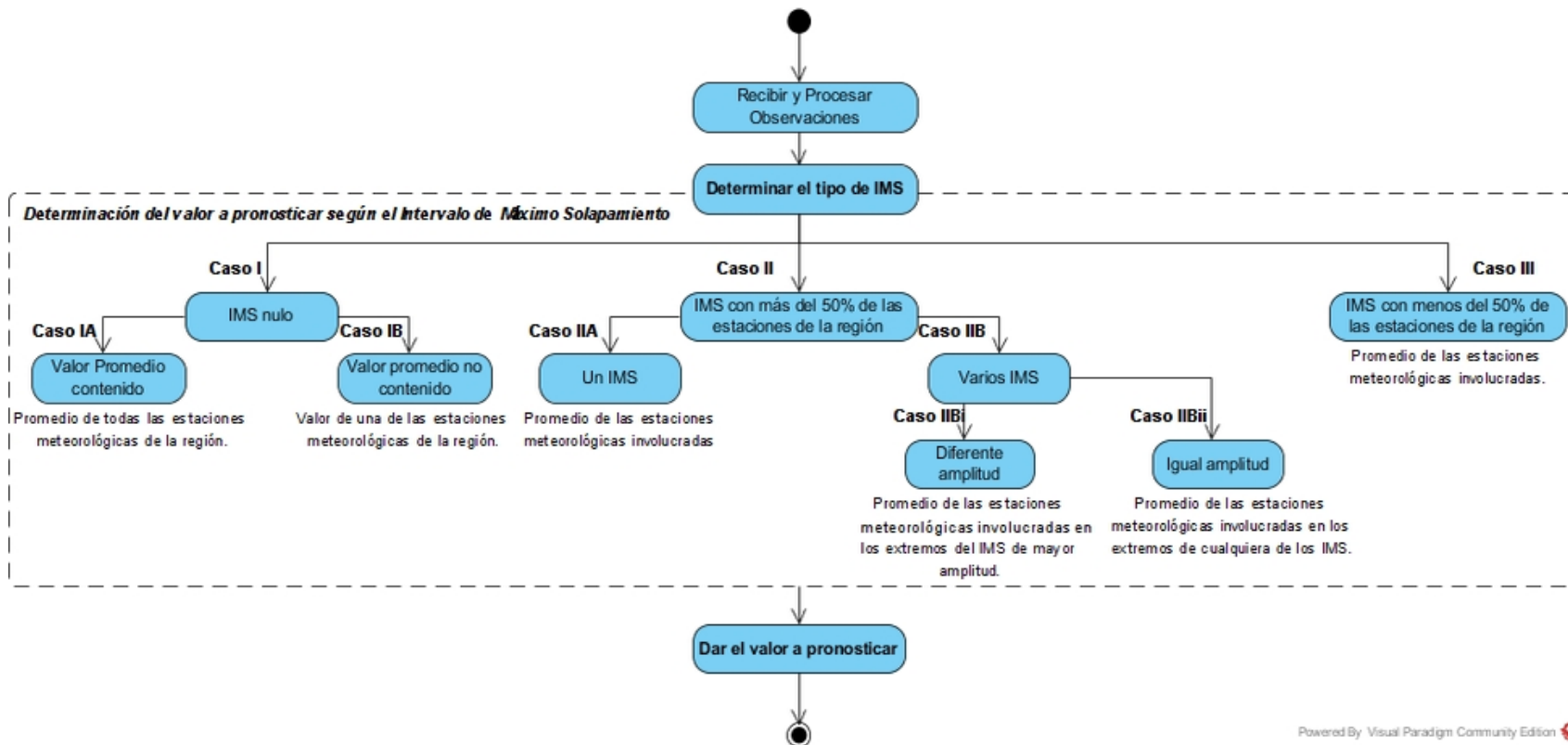
La efectividad de los pronósticos del tiempo técnicos en el periodo lluvioso del año 2016, como promedio alcanzó un 76.15 %, en cambio el generado por el método de la persistencia obtuvo un 71.34 % de efectividad (Figura 8). En ella puede apreciarse que los meses más complejos de pronosticar son mayo y octubre, meses de transición del periodo poco lluvioso al lluvioso y del lluvioso al poco lluvioso respectivamente.

Mayo, climatológicamente se caracteriza por los fuertes contrastes entre los procesos de circulación. Los totales de lluvia suelen

incrementarse con respecto a los meses anteriores, e incluso llegan a ser significativos, sobre todo, si están asociados a los sistemas migratorios de la zona tropical y de su interacción con sistemas de latitudes medias. Suelen ocurrir además tormentas eléctricas principalmente durante la tarde y primeras horas de la noche debido al calentamiento diurno. Es un mes caluroso, debido a la invasión de aire húmedo y cálido. En octubre suele ocurrir un variado espectro 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).

Además, el porcentaje alcanzado por cada pronóstico en los meses de mayo, agosto y octubre difieren entre sí en menos de cinco unidades porcentuales. También se debe agregar que la efectividad del pronóstico técnico tiene un segundo mínimo en el mes de agosto, en cambio el persistente decae igualmente en agosto y de manera más acentuada en junio. Esta situación, en ambos

<sup>1</sup>Forma de probar el correcto funcionamiento de un módulo del código del programa. Esto se utiliza para asegurar que cada uno de los módulos de la aplicación funcione correctamente por separado.



**Figura 7.** Algoritmo del pronóstico persistente para las temperaturas extremas y la fuerza del viento

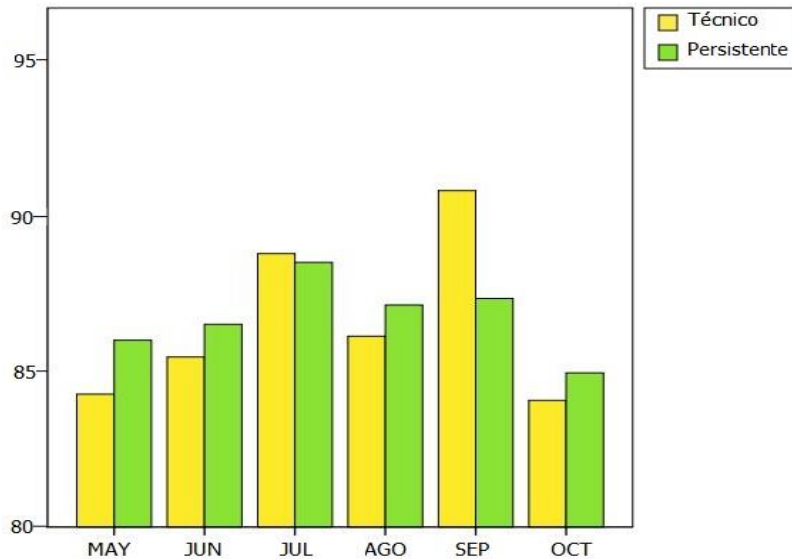
casos, se relaciona con las características intrínsecas del mes analizado en el año en cuestión.

Según el porcentaje de efectividad de los pronósticos del tiempo técnicos, la variable más compleja de pronosticar es la nubosidad, seguida por la precipitación, las temperaturas extremas, la dirección y la fuerza del viento (Figura 9). Sin embargo, en la efectividad del pronóstico persistente, no se manifiesta igual tendencia debido a que la dirección del viento ocupa el tercer lugar en como una de las variables menos persistente.

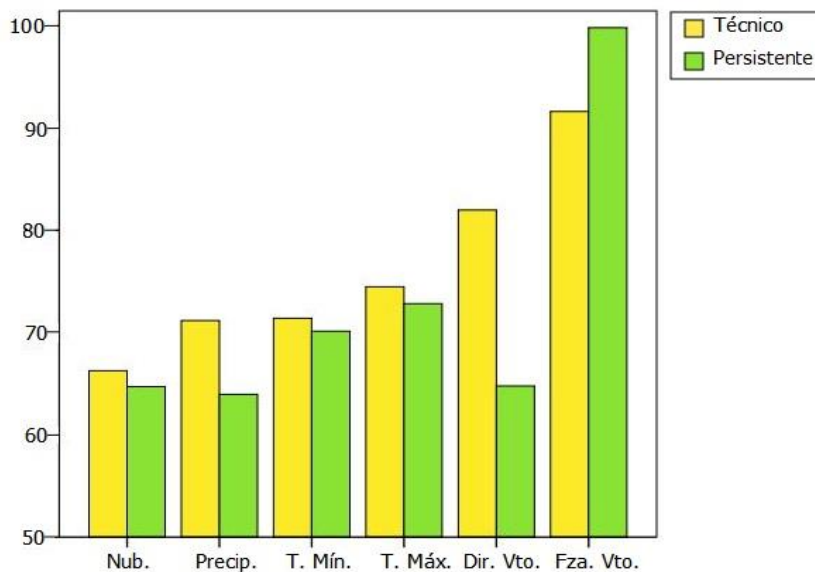
Puesto que la dirección del viento es una variable que experimenta grandes cambios (de 0 a 360°), e incluso de una hora a otra, este es un factor que influye en la baja efectividad de las predicciones. Al mismo tiempo, el predominio de los procesos de meso escala sobre los sinópticos hace que el sistema de vientos locales (brisa de mar, brisa de tierra, vientos catabáticos, etc.) adquiera una mayor relevancia en las fluctuaciones del régimen de vientos de una localidad determinada.

Por otro lado, se puede afirmar que en la mayoría de las variables, excepto la fuerza del viento, la efectividad del pronóstico técnico superó a la persistencia. Sin embargo, en la efectividad mensual del pronóstico persistente influyen significativamente los altos valores mensuales obtenidos en la evaluación de la fuerza del viento por el método de la persistencia. Ello se evidencia claramente en la

tabla 4, en la que la habilidad de la fuerza del viento alcanza valores significativamente negativos, lo que se traduciría en la superioridad del pronóstico del método persistente por encima del técnico. En contraposición, el resto de las variables meteorológicas alcanzan valores positivos en la habilidad, correspondiéndose las predicciones con un mayor grado de dificultad.



**Figura 8.** Efectividad de los pronósticos del CenPro y del persistente entre los meses de mayo y octubre de 2016



**Figura 9.** Efectividad de las variables meteorológicas que intervinieron en el pronóstico del CenPro y en el persistente en los meses de mayo a octubre de 2016



**Tabla 4.** Habilidad de los pronósticos del tiempo del CenPro en el periodo lluvioso del año 2016

Variables	Meses						Promedio
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	
Nubosidad	0.01	0.04	0.08	0.09	0.11	-0.05	0.04
Precipitación	0.25	0.14	0.20	0.15	0.22	0.25	0.20
Temp. Mínima	-0.26	0.15	0.14	0.13	0.17	0.00	0.06
Temp. Máxima	-0.16	0.12	0.18	0.04	0.17	0.00	0.07
Dirección viento	0.49	0.55	0.48	0.41	0.52	0.46	0.49
Fuerza viento	-49.27	-44.15	-24.27	-46.99	-197.42	-31.83	-65.65
Promedio	-8.15	-7.19	-3.86	-7.70	-32.71	-5.20	-10.80

### CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados en este estudio satisfacen los objetivos trazados y demostraron que la utilización de la persistencia en la estimación de la habilidad de las predicciones del Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología de Cuba resultó satisfactoria.

Se confeccionaron y validaron los procedimientos para el pronóstico por persistencia de la nubosidad, la precipitación y el viento; el de las temperaturas extremas se validó y reformuló, encontrándose nuevos escenarios en comparación con resultados obtenidos en otras investigaciones.

El comportamiento de la efectividad del pronóstico persistente entre mayo y octubre de 2016 refleja claramente la transición del periodo lluvioso al poco lluvioso del año y viceversa, al igual que los descensos en aquellos días en los que las variaciones de las condiciones meteorológicas son significativas; su cumplimiento fue de un 71.34 % y se encuentra a 4.81 puntos porcentuales por debajo de los pronósticos técnicos.

Se estimó la habilidad de las predicciones del Centro de Pronósticos del Tiempo, válidas para 24 horas, para cada uno de los meses del periodo lluvioso del año 2016, resultando el índice de habilidad positivo para la nubosidad, la precipitación, las temperaturas mínima y máxima y la dirección del viento. En el caso de la fuerza del viento los valores fueron

negativamente significativos a favor del persistente.

### REFERENCIAS

- BALLESTER, M. & TRUJILLO, G. (2016). Método para verificar los pronósticos de cobertura nubosa. 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, 64 p.
- CAZORLA, A., OLMO, F. J. & ALADOS-ARBOLEDAS, L. (2005): Estimación de la cubierta nubosa en imágenes de cielo mediante el algoritmo de clasificación KNN. XI Congreso Nacional de Teledetección. Puerto de la Cruz. Tenerife, pp. 335-338.
- 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.
- FINLEY, J. P. (1884). Tornado prediction. American Meteorological Journal 1(3), 85–88.
- 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.
- LECHA, L. B., PAZ, L. R. & LAPINEL, B. (1994): El clima de Cuba. Editorial Academia, La Habana, Cuba, 196 p.

- 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.
- MURPHY, A. H. & DAAN, H. (1985): Forecast evaluation. En: Probability, Statistics and Decision Making in the Atmospheric Sciences, Murphy, A. H. & Katz, R. W. (eds.). Westview Press, Boulder, CO, pp. 379-437.
- ODAK, I. & PASARIÉ, Z. (2013): Persistency as a reference in verification forecast with categorical predictands, 21 p. Consultado el 15 de octubre de 2015 en [http://www.meteohmd.hr/files/file/Aktivnosti/MeteoIzazovi/MI3/PDF/TALK\\_PR15.pdf](http://www.meteohmd.hr/files/file/Aktivnosti/MeteoIzazovi/MI3/PDF/TALK_PR15.pdf)
- PORTELA, M. A. (2006): Meteorología General. Instituto de Meteorología INSMET. La Habana, Cuba, 240 p.
- QUEVEDO, J. L. (2012): Estimación de las áreas de lluvia sobre Cuba a partir de las imágenes VIS e IR obtenidas del satélite GOES-E. Tesis presentada en opción al Título de Licenciado en Meteorología. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas InSTEC. La Habana, Cuba, 53 p.
- RIEHL, H. (1965): Introduction to the atmosphere. McGraw-Hill Book Company. New York, 365 p.
- SOROCHINSKI, M., GONZÁLEZ, C., RUBIO, G., CARCAÑO, G. & MARTÍNEZ, R. (1975). Métodos para la Evaluación de Pronósticos. Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Meteorología INSMET, 12 p.
- THORNES, J. E. (1996): The quality and accuracy of a sample of public and commercial weather forecast in the UK. *Meteorological Applications* 3, 63-74.
- THORNES, J. E. & PROCTOR, E. A. J. (1999): Persisting with persistence: The verification of radio 4 weather forecasts. *Weather* 54(10), 311-321. URL <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.1477-8696.1999.tb03991.x/pdf>.
- TRUJILLO, G. (2011): Estimación de la cobertura nubosa sobre Cuba a partir de las imágenes del satélite GOES-E. Tesis presentada en opción al Título de Licenciado en Meteorología. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas InSTEC. La Habana, Cuba, 57 p.
- WILKS, D. S. (2006). *Statistic Methods in Atmospheric Sciences*. Academic Press, New York, 627 p.