



Revista Cubana de Meteorología

ISSN: 2664-0880

Instituto de Meteorología

Soler Torres, Edgardo; Sánchez Suárez, Luis Manuel;
Verdecia Naranjo, Yuslandis; Rojas González, Nelson
Probabilidades predominantes de ocurrencia de la rapidez del viento en la costa norte del oriente de Cuba
Revista Cubana de Meteorología, vol. 28, núm. 4, e08, 2022
Instituto de Meteorología

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=701977562008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Probabilidades predominantes de ocurrencia de la rapidez del viento en la costa norte del oriente de Cuba



<https://cu-id.com/2377/v28n4e08>

Predominant probabilities of occurrence of wind speed in the north coast of eastern Cuba

✉Edgardo Soler Torres*, ✉Luis Manuel Sánchez Suárez, ✉Yuslandis Verdecia Naranjo, ✉Nelson Rojas González

Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, Isla de la Juventud, Cuba.

RESUMEN: La climatología sinóptica estudia la relación entre la circulación atmosférica y el medio ambiente en superficie. Para determinar las probabilidades predominantes de ocurrencia de la rapidez media del viento en estaciones seleccionadas de la costa norte en la mitad oriental de Cuba, según los tipos de situaciones sinópticas influyentes, se elabora un diseño metodológico de pronóstico sinóptico-estadístico subestacional, que utiliza las bases de datos de las clasificaciones de los tipos de situaciones sinópticas y la de registros de rapidez media del viento durante el periodo entre 1978 y 2017. Un diagrama lógico de procesos representa la secuencia en que se desarrollan los pasos que conforman la metodología utilizada para calcular las probabilidades predominantes de ocurrencia de las clases de rapidez media del viento, mediante el concepto de probabilidad condicional, que previamente establece la existencia de asociación estadística entre las variables categóricas: tipos de situaciones sinópticas y rapidez media del viento, mediante una prueba de Chi-cuadrado de Pearson. La verificación del pronóstico sinóptico-estadístico muestra buena exactitud hacia el extremo oriente de Cuba (Punta de Maisí) y aceptable en el centro oriente (Nuevitás), excepto en el periodo de verano. La mayor coherencia entre las diferentes medidas estadísticas de error determinadas se obtuvo para la clase de rapidez media del viento de 3.5 a 9.4 m/s, que es la de mayor interés predictivo pues posee potencial eólico Elevado. El resultado obtenido aporta nuevos conocimientos sobre la circulación atmosférica y su relación con la rapidez media del viento en la superficie, y por su utilidad predictiva contribuirá a una mayor eficiencia en la planificación, la ejecución de mantenimientos y la gestión de las instalaciones eólicas, existentes y proyectadas.

Palabras claves: Método sinóptico-estadístico, Rapidez del viento, Tipos de situaciones sinópticas.

ABSTRACT: Synoptic climatology studies the relationship between atmospheric circulation and the surface environment. To determine the predominant probabilities of occurrence of the average wind speed in selected stations of the north coast in the eastern half of Cuba, according to the types of influential synoptic situations, a methodological design of subseasonal synoptic-statistical forecast is elaborated, which uses the databases of the classifications of the types of synoptic situations and the average wind speed records during the period between 1978 and 2017. A logical process diagram represents the sequence in which the steps that make up the methodology used to calculate the predominant probabilities of occurrence of the classes of average wind speed, through the concept of conditional probability, which previously establishes the existence of statistical association between the categorical variables: types of synoptic situations and average wind speed, through a Chi-test Pearson square. The verification of the synoptic-statistical forecast shows good accuracy towards the extreme east of Cuba (Punta de Maisí) and acceptable in the central east (Nuevitás), except in the summer period. The greatest coherence between the different statistical error measures determined was obtained for the average wind speed class of 3.5 to 9.4 m/s, which is the one with the greatest predictive interest since it has High wind potential. The result obtained provides new knowledge about atmospheric circulation and its relationship with the average speed of the wind on the surface, and due to its predictive usefulness, it will contribute to greater efficiency in the planning, execution of maintenance and management of existing wind installations. and projected.

Key words: Synoptic-statistical method, Wind speed, Types of synoptic situations.

*Autor para correspondencia: Edgardo Soler Torres. E-mail: edgardosoler2@gmail.com

Recibido: 29/09/2022

Aceptado: 29/10/2022

1. INTRODUCCIÓN

La obra Geografía Eólica de Oriente (Boytel, 1972), se considera el antecedente pionero para las investigaciones sobre el viento en esa región del país. No obstante, en la revisión bibliográfica realizada (Soler *et al.*, 2022), se relacionan otros estudios desarrollados sobre ese elemento meteorológico con diversos objetivos, que abarcan a Cuba y sus regiones.

Dando continuidad a las investigaciones del viento con fines energéticos, (Roque *et al.*, 2018) determinan las principales particularidades del comportamiento del viento en la región oriental de Cuba, tales como: la oscilación diurna y anual de la rapidez media del viento, su distribución por rumbos, así como, su comportamiento en la capa superficial atmosférica.

Mientras, utilizando el método de clasificación de los tipos de situaciones sinópticas (TSS) que influyen sobre las mitades occidental y oriental Cuba, (Lecha *et al.*, 2020) completan una base de datos para el período 1970-2019, que en su versión actual (1970-2021), se organiza taxonómicamente en cuatro grupos básicos, ocho tipos y 19 subtipos. Los grupos son representativos de los procesos sinópticos principales: anticiclónicos, frontales, ciclónicos y débiles gradientes de presión.

Recientemente, (Soler *et al.*, 2021) siguiendo el enfoque *circulación atmosférica a medio ambiente en superficie* (Yarnal, 1993) establecen la existencia de relaciones estadísticas predominantes (frecuencia de ocurrencia ≥ 5.0 %) entre los TSS que influyen sobre la mitad occidental de Cuba y la rapidez media del viento (RMV) en la estación meteorológica de La Fe, Isla de la Juventud.

Durante las últimas dos décadas en Cuba se ha acumulado experiencia en la gestión de los parques eólicos experimentales instalados, lo que ha demostrado la necesidad de contar con información pronóstico especializada a diferentes escalas de tiempo; que contribuya a una eficiente planificación, ejecución de mantenimientos y gestión de las instalaciones eólicas existentes, así como, su crecimiento proyectado.

La no existencia de información pronóstico en la escala subestacional, que cubra el vacío existente entre los pronósticos del tiempo y la predicción climática estacional, permite proponer el diseño metodológico de un pronóstico sinóptico-estadístico subestacional, para determinar la probabilidad predominante de ocurrencia de las clases de rapidez media del viento, en estaciones meteorológicas seleccionadas en la costa norte de la mitad oriental de Cuba, basado en la relación estadística demostrada entre los tipos de situaciones sinópticas influyentes y las clases de rapidez media del viento; que debe contribuir a una mayor eficiencia en la planificación, organización y ejecución de tareas que involucren la asignación de recursos, el traslado de elementos de gran porte y la ejecución de mantenimientos complejos a los aerogeneradores,

teniendo en cuenta la probable disponibilidad del recurso eólico en esa región del país.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Fuentes de datos

Como fuentes fundamentales de datos para este estudio se emplearon:

- a. base de datos de valores de la rapidez media del viento (RMV), correspondiente a las estaciones meteorológicas seleccionadas en la costa norte de la mitad oriental de Cuba.
- b. base de datos codificados de las clasificaciones de tipos de situaciones sinópticas (TSS) establecidas por (Lapinel, 1988), actualizada y verificada, según (Soler *et al.*, 2020), para la mitad oriental de Cuba.
- c. conjuntos de datos pronósticos de la rapidez media del viento generados por el Global Forecast System (GFS).

Las dos primeras fueron normalizadas para un período de 40 años (1978-2017), de ellos los 30 años comprendidos entre 1978 y 2007 se utilizaron para el cálculo estadístico de las probabilidades de ocurrencias condicionadas, y los 10 años entre 2008 y 2017 fueron reservados como muestra independiente para la verificación de la metodología propuesta.

Siendo la RMV una variable continua, se le aplicó un proceso de discretización para obtener las clases de rapidez media del viento que caracterizan esta variable en Cuba, para lo que se tuvo en cuenta el mapa de potencial eólico de Cuba (Soltura *et al.*, 2009).

La base de datos de las clasificaciones de tipos de situaciones sinópticas (TSS) de superficie establecidas por (Lapinel, 1988), posee el 100 % de las tipificaciones diarias entre el 1 de enero de 1978 y el 31 de diciembre de 2017. Fue construida a partir del álbum de mapas isobáricos diarios, con la información que ofrece el sitio web del Centro Nacional de Predicciones Ambientales (NCEP en inglés) de los Estados Unidos de América para el área comprendida de 0° a 90° de latitud norte y de 0° a 180° de longitud oeste, accesible en línea desde el sitio www.esrl.noaa.gov/psd/, lo que garantiza una fuente homogénea de referencia para clasificar las situaciones sinópticas diarias.

Los conjuntos de datos pronósticos de la rapidez media del viento, generados por el modelo Global Forecast System (GFS), corresponden a las salidas de los días 1, 11 y 21 a las 0600 UTC, durante el trimestre marzo-abril de 2022. El conjunto GFS1 pronosticó la decena inmediata a transcurrir y el GFS2 los primeros siete días de la siguiente decena.

2.2 Cálculo de las probabilidades predominantes

La probabilidad de ocurrencia de las clases de rapidez media del viento, según el tipo de situación sinóp-

tica influyente, se calculó utilizando el concepto de probabilidad condicional (Hoel, 1972). El método propuesto determina la probabilidad de ocurrencia para las clases de rapidez media del viento en cada estación meteorológica seleccionada, condicionada a los tipos de situaciones sinópticas influyentes sobre la mitad oriental de Cuba (1), a partir del cálculo de la frecuencia relativa.

$$P(TSS/RMV) \neq P(TSS); P(RMV/TSS) \neq P(RMV)$$

Se define la frecuencia relativa de una clase, según la ecuación (2), como la razón entre el número de ocurrencias n y el número total de casos N bajo las condiciones impuestas.

$$F_r = \frac{n}{N}$$

Estableciendo, que F_r no puede ser negativa y que su valor satisface las siguientes desigualdades:

$$0 \leq F_r \leq 1; \text{ (ya que } 0 \leq n \leq N \text{)}$$

Teniendo en cuenta los bajos los valores de frecuencias relativas obtenidos para algunas de las clases empleadas en el mapa de potencial eólico de Cuba (Soltura *et al.*, 2009), tomadas como referencia para este estudio, en el diseño metodológico para el pronóstico sinóptico-estadístico se propuso agrupar las clases de RMV según el potencial eólico en: Pobre (0.0 a 3.4 m/s), Elevado (3.5 a 9.4 m/s) y Excepcional (≥ 9.5 m/s), para cada estación meteorológica seleccionada (Tabla 1).

De las probabilidades de ocurrencia condicionadas, obtenidas para todas las relaciones existentes, fueron seleccionadas las que sus frecuencias relativas son mayores o iguales a 5.0 %, que es el umbral considerado para constituir grupos de casos con representación climática respecto al total en un periodo de estudio (Barry & Carleton, 2001), obteniéndose las probabilidades predominantes $P_p(TSS/RMV)$.

Se relaciona la leyenda empleada en las figuras que muestran las probabilidades predominantes (P_p) de ocurrencia para las clases de RMV, y una breve descripción de los TSS influyentes que las condicionan sobre la mitad oriental de Cuba (Tabla 2).

2.3 Establecimiento de los periodos subestacionales

Se analizó el comportamiento de los tipos de situaciones sinópticas predominantes en cada decena sobre la mitad oriental de Cuba y la asociación estadística existente con los valores de probabilidades de la rapidez media del viento pronosticados para las estaciones meteorológicas seleccionadas, lográndose establecer seis periodos subestacionales en el año, que agrupan entre 5 y 8 decenas cada uno.

Para la temporada extendida por 19 decenas sucesivas en la que es predominante la influencia del anticiclón migratorio (TSS VIII), comprendida entre la decena 29 (segunda de octubre) y la 11 (segunda de abril), se establecieron tres periodos subestacionales: (1) de la decena 29 a la 33, donde la influencia del anticiclón migratorio es creciente, (2) de la decena 34 a 5, con influencia estable, y (3) de la decena 6 a la 11, donde su influencia alcanza el pico máximo.

Los restantes tres periodos subestacionales son: (4) de la decena 12 a la 18 y (6) de la decena 24 a la 28, ambos reconocidos como de transición entre estaciones del año bajo la influencia del anticiclón subtropical oceánico extendido (TSS II), así como, el (5) de la decena 19 a la 23, dentro de la estación del verano con marcada influencia del anticiclón subtropical oceánico (TSS I).

2.4 Verificación de los pronósticos

La verificación de la fiabilidad y exactitud de la metodología propuesta para el pronóstico sinóptico-estadístico se realizó para las clases agrupadas de RMV 1 y RMV 2, que son las que poseen representatividad climática en las estaciones meteorológicas seleccionadas. Mientras, que para el pronóstico realizado utilizando los datos del modelo Global Forecast System (GFS) se determinaron las medidas estadísticas de error en los conjuntos de datos GFS1 y GFS2 durante las decenas 7 a la 18 (trimestre marzo-mayo) del año 2022.

Tabla 1. Clases agrupadas de rapidez media del viento

Clases agrupadas de RMV	Rangos de rapidez media del viento (m/s)	Clasificación del potencial eólico
RMV 1	0.0 a 3.4	Pobre
RMV 2	3.5 a 9.4	Elevado
RMV 3	≥ 9.5	Excepcional

Tabla 2. Tipos de situaciones sinópticas influyentes

TSS	Breve descripción del tipo de situación sinóptica influyente
I	Anticiclón subtropical oceánico
II	Flujo anticiclónico oceánico extendido
III	Situación de débiles gradiente de presión atmosférica
IV	Ciclones tropicales
V	Zonas de convergencia y ondas tropicales
VI	Bajas extratropicales
VII	Sistemas frontales
VIII	Anticiclón continental migratorio

Las medidas estadísticas de errores (León, 2005; Villareal, 2016) determinadas fueron el Error Medio (EM) que evalúa la magnitud de la sobrestimación o subestimación de la variable pronosticada, el Error Medio Absoluto (EMA) que brinda la medida del error total del pronóstico, el Error Medio Cuadrático (EMC) que es particularmente sensible a los grandes errores y el Error Medio Absoluto Porcentual (EMAP) por su utilidad para comparar el resultado con otros métodos de pronósticos. Una escala de categorías fue asociada a los valores del EMA para evaluar los resultados de la verificación de exactitud: Excelente (0.0 a 1.0), Buena (1.1 a 2.0), Aceptable (2.1 a 3.0) y Mala (≥ 3.1).

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Diseño metodológico para un pronóstico probabilístico subestacional de la ocurrencia de la rapidez media del viento

Los enfoques metodológicos determinan una primera aproximación general al diseño metodológico, representando el posicionamiento del investigador frente a la realidad a investigar (Souza *et al.*, 2012). Siendo esta una investigación cuantitativa a nivel explicativo, concebimos el Diseño Metodológico como la estructura u organización esquematizada que adopta el investigador para relacionar y controlar las variables en estudio (Sánchez *et al.*, 2018).

El Diagrama Lógico de Procesos representa con especial cuidado la secuencia en que se desarrollaron los procesos que intervienen en la metodología propuesta (Fig. 1). Esta representación conceptual muestra el sistema funcionalmente, quedando eliminadas todas las referencias al entorno físico.

Para una mejor comprensión del diseño fueron definidos procedimientos que en su ejecución agrupan varios de los procesos representados, como:

Adquisición y validación de datos

Este procedimiento está compuesto en el Diagrama Lógico de Procesos por las entradas de datos, los procesos de validación, determinación de clases estadísticas y tipificación subjetiva de la clasificación de (Lapinel, 1988).

Determinación de asociación estadística

Para establecer la existencia de asociación estadística entre las variables TSS y RMV se realizó la prueba de independencia entre variables nominales, aplicando el procedimiento de Tabla de Contingencia para cada una de las estaciones seleccionadas, obteniéndose un resumen con los valores de Chi-cuadrado de Pearson, su nivel de significación y condiciones empíricas impuestas sobre el recuento esperado.

Los valores obtenidos de Chi-cuadrado de Pearson entre los TSS y RMV fueron contrastados con el valor crítico de su distribución tabulado. Su medida de significación estadística determinó el resultado de la prueba de independencia estadística entre las series

de datos, mientras, el por ciento de recuento esperado y recuento mínimo esperado permitió considerar la validez del contraste de hipótesis realizado.

El análisis de las relaciones estadísticas agrupó las situaciones sinópticas influyentes sobre Cuba en: anti-ciclónicas, ciclónicas, frontales y de débil gradiente y contiene las frecuencias relativas obtenidas en las estaciones meteorológicas seleccionadas.

Este procedimiento está representado en el Diagrama Lógico de Procesos por la primera toma de decisiones con un lazo de retroalimentación sobre la reelaboración de las clases estadísticas (Fig. 1a).

Cálculo de las probabilidades predominantes

El método propuesto determinó la probabilidad predominante de ocurrencia para las clases de rapidez media del viento en cada estación meteorológica seleccionada, condicionada a los tipos de situaciones sinópticas influyentes sobre la mitad oriental de Cuba a partir del cálculo de la frecuencia relativa, como se describe en epígrafe de materiales y métodos.

Se determinaron las probabilidades predominantes para las clases agrupadas de rapidez media del viento: RMV1 (0.0 a 3.4 m/s) potencial eólico Pobre y RMV 2 (3.5 a 9.4 m/s) con potencial eólico Elevado. La clase con potencial eólico Excepcional RMV 3 (≥ 9.5 m/s) no alcanza representatividad climática en ninguna de las series estudiadas.

Para el pronóstico con el modelo GFS, se calculó directamente la probabilidad de ocurrencia de la rapidez media del viento para cada periodo decenal.

En el Diagrama Lógico de Procesos este procedimiento contiene dos tomas de decisiones, con lazos de retroalimentación enfocados en la revisión de clases de RMV y la formación de grupos de TSS en la base de datos (Fig. 1a) para el pronóstico sinóptico-estadístico, así como, una toma de decisiones con retroalimentación en el pronóstico que utiliza los datos del modelo GFS (Fig. 1b).

Actualización de la herramienta de ayuda al pronosticador

Se obtuvo como salida, de la metodología de pronóstico de probabilidad para la rapidez media del viento, una herramienta informática de ayuda al pronosticador, que brinda dos pronósticos de probabilidades de la rapidez media del viento:

- un pronóstico sinóptico-estadístico subestacional que determina las probabilidades predominantes de ocurrencia de la rapidez media del viento para tres decenas consecutivas, y
- un pronóstico de las probabilidades de la rapidez media del viento para la decena inmediata y próxima a transcurrir, empleando los datos generados por el modelo hidrodinámico GFS.

La herramienta (Fig. 2) permite la selección de las decenas a pronosticar y brinda el pronóstico de probabilidades de ocurrencia para las clases de la rapidez media del viento, basada en las probabilidades calcu-

ladas para cada estación meteorológica seleccionada, condicionadas a los tipos de situaciones sinópticas influyentes sobre la mitad oriental de Cuba.

Consta de: (1) encabezamiento, que proporciona el nombre, el número y las coordenadas de localización geográfica de la estación meteorológica; (2) el selector de decenas, que permite al meteorólogo pronosticador la selección de tres decenas del año en orden sucesivo; (3) el pronóstico del valor medio de la rapidez del viento y su desviación estándar, climático y del modelo GFS; y (4) el pronóstico de probabilidades de ocurrencia para dos clases de rapidez media del viento en el sinóptico-estadístico y tres clases en el pronóstico con el modelo GFS, que aporta las probabilidades de ocurrencia de las clases de RMV, además, del tipo de situación sinóptica con mayor frecuencia esperada sobre la mitad oriental de Cuba para las próximas decenas.

La utilidad de a) el pronóstico sinóptico-estadístico para un plazo subestacional, es ser efectivo a largo plazo, de cinco a 10 años, pues para periodos de tres o menos años no logra consistencia estadística, debido a su dependencia del número de casos. Por lo que es aplicable, como se menciona en varias partes del texto, a ejercicios de planificación para periodos subestacionales dentro del año, que es una de sus novedades.

Como predicción sinóptico-climática, pudiera tomarse como valor de referencia para periodos subestacionales del año, basado en datos decenales, que puede ser comparado con otros métodos de pronósticos.

Su fundamentación en el procesamiento de mediciones y su relación con los análisis isobáricos de los tipos de situaciones sinópticas que influyeron sobre la región, también permite, el análisis de las anomalías de la rapidez media del viento en periodos subestacionales de un año específico.

Mientras, b) proporciona las probabilidades (no condicionadas) de las clases de rapidez del viento a partir de los datos actualizados del modelo GFS, para la decena inmediata y próxima a transcurrir.

La combinación de ambas salidas informa al pronosticador sobre las anomalías del pronóstico del modelo GFS respecto a la climatología sinóptica de referencia, para cada decena del periodo pronosticado, así como, sobre los TSS influyentes durante ese periodo subestacional.

Adicionalmente, se presentan los valores decenales de la rapidez media del viento, calculados con el viento climático de cada estación meteorológica y con los datos pronósticos del GFS.

3.2. Probabilidades predominantes de la rapidez media del viento

Se determinaron las probabilidades predominantes de ocurrencia de Pp(TSS/RMV) las clases agrupadas de rapidez media del viento, condicionadas a cada TSS. Las sumas decenales de estos valores se toman

como pronóstico de la ocurrencia de las clases RMV 1 (0.0 a 3.4 m/s) y RMV 2 (3.5 a 9.4 m/s) en las 36 decenas del año para cada estación meteorológica seleccionada, y se presentan en la tabla del [Anexo](#)

3.2.1. Clase agrupada RMV 1 (0.0 a 3.4 m/s) con potencial eólico Pobre

Se presenta la marcha anual de los TSS influyentes que condicionan las probabilidades predominantes de ocurrencia para la clase RMV 1 (0.0 a 3.4 m/s), con potencial eólico Pobre, en las estaciones meteorológicas de Nuevitas y Puerto Padre mediante las [Figuras 3a\) y 3b\)](#) respectivamente. Mientras, para las estaciones Cabo Lucrecia y Punta de Maisí están representadas en las [Figuras 4a\) y 4b\)](#).

En las cuatro estaciones estudiadas los valores de las probabilidades predominantes para la clase RMV 1 describen un comportamiento bimodal, con máximos durante el periodo de transición verano-invierno entre las decenas 26 y 28 (segunda de septiembre y primera de octubre), alcanzándose el máximo absoluto de Pp(TSS/RMV 1) en Puerto Padre con 84.7 % en la decena 28.

Mientras, los máximos secundarios se registran en el periodo de transición invierno-verano entre las decenas 16 y 17 (primera y segunda de junio), con el mayor valor de Pp(TSS/RMV 1) igual a 67.3 % en Cabo Lucrecia durante la decena 16 (primera de junio).

Por su parte, los valores mínimos corresponden a la misma época del año solo para Nuevitas y Puerto Padre, con 30.0 y 36.0 % en las decenas 8 y 10 (segunda de marzo y primera de abril) respectivamente. Mientras, Punta de Maisí presenta su mínimo de 29.0 % en la decena 3 (tercera de enero) y Cabo Lucrecia de 39.7 % en la decena 34 (primera de diciembre).

En cuanto al comportamiento de los TSS que condicionan la ocurrencia de las Pp(TSS/RMV 1) se observa que:

TSS I: domina la estación de verano, extendiéndose hacia ambos periodos de transición, especialmente en Cabo Lucrecia donde su influencia para esta clase de RMV se inicia en la decena 10 (primera de abril),

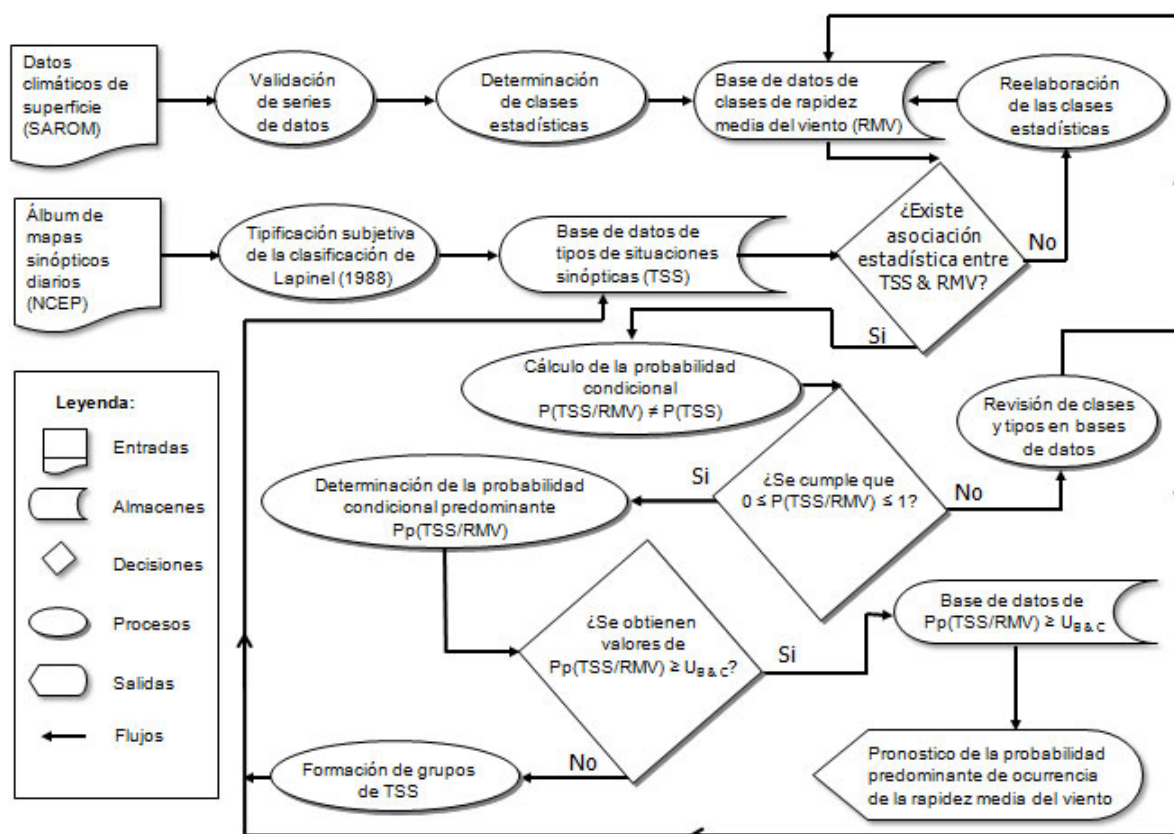
TSS II: es el único que impone valores de probabilidades durante las 36 decenas del año,

TSS III: sigue al TSS II en la cantidad de decenas que condiciona esta clase de rapidez del viento, solo se hace cero durante las decenas 20 y 21 (segunda y tercera de julio),

TSS IV: aparece discretamente solo durante el periodo de transición verano-invierno,

TSS V: se observa, de forma general, en la temporada lluviosa del año, que comprende la transición invierno-verano, el verano y la transición verano-invierno,

a) Diagrama Lógico de Procesos para el Pronóstico Sinóptico-estadístico



b) Diagrama Lógico de Procesos para el Pronóstico Operativo con el modelo GFS

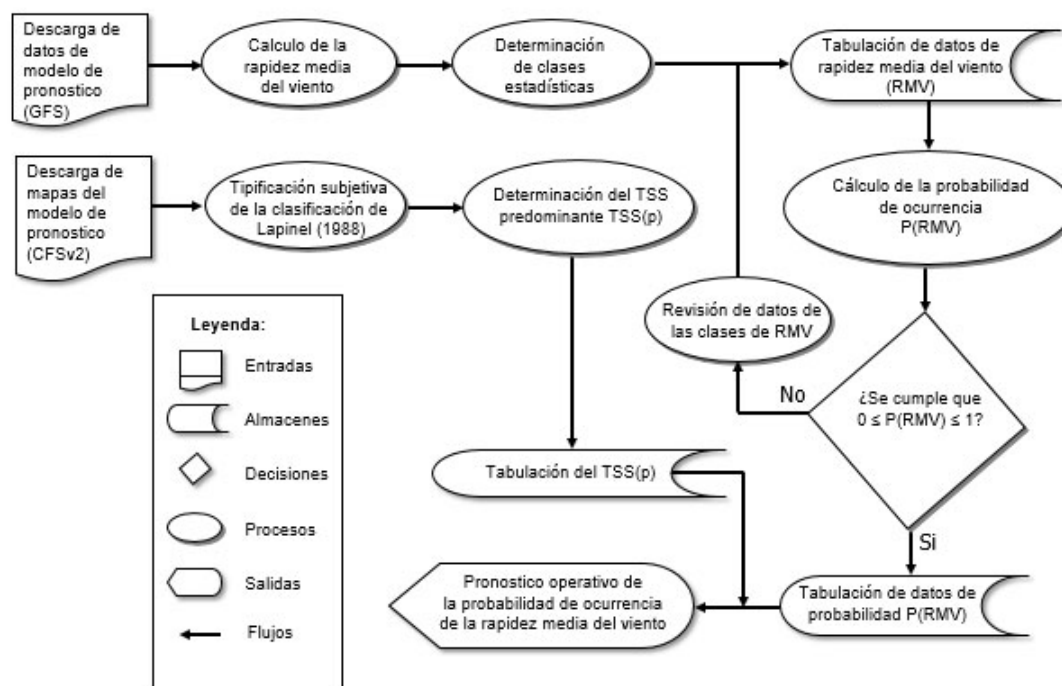


Figura 1. Diagramas lógicos de procesos del diseño metodológico para el pronóstico de probabilidades de las clases de rapidez media del viento

PROBABILIDADES PARA CLASES DE RAPIDEZ MEDIA DEL VIENTO
 Estación Nuevitas (78353) Camagüey

Verificación de datos
Coordenadas: GFS 1 GFS 2
 °N 21.56 21.56
 °W -77.25 -77.25

Escribir el número anual de las decenas a pronosticar (1 a 36) »

1era	2da	3era
12	13	14

MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR DE RMV

	GFS 1	GFS 2
Rapidez media del viento del modelo GFS (m/s)	3.4	2.3
Desviacion estandar media (m/s)	3.2	1.9

	1era	2da	3era
Rapidez media del viento climático (m/s)	3.7	3.7	3.5
Desviacion estandar media (m/s)	1.8	1.7	1.6

PROBABILIDADES PARA RMV 1 CON POTENCIAL EOLICO POBRE

	GFS 1	GFS 2
Probabilidad del modelo GFS para rapidez del viento $\leq 3,4$ m/s (%)	58.0	72.0
Anomalia del modelo GFS respecto a Pp RMV 1 [0,0 a 3,4 m/s] (%)	11.0	25.7

	1era	2da	3era
Probabilidad predominante para RMV 1 [0,0 a 3,4 m/s] (%)	47.0	46.3	40.0
Tipo de situacion sinoptica predominante (I a VIII)	II	II	II

PROBABILIDADES PARA RMV 2 CON POTENCIAL EOLICO ELEVADO

	GFS 1	GFS 2
Probabilidad del modelo GFS para rapidez del viento $\geq 3,5$ m/s (%)	42.0	28.0
Anomalia del modelo GFS respecto a Pp RMV 2 [3,5 a 9,4 m/s] (%)	-2.4	-15.7

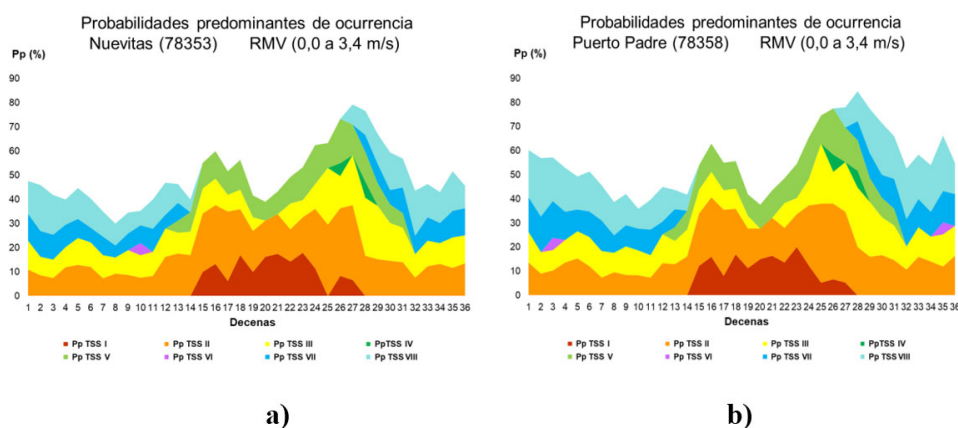
	1era	2da	3era
Probabilidad predominante para RMV 2 [3,5 a 9,4 m/s] (%)	44.3	43.7	47.0
Tipo de situacion sinoptica predominante (I a VIII)	II	II	II

PROBABILIDADES PARA RMV 3 CON POTENCIAL EOLICO EXCEPCIONAL

	GFS 1	GFS 2
Probabilidad del modelo GFS para rapidez del viento $\geq 9,5$ m/s (%)	0.0	0.0

TIPOS DE SITUACIONES SINOPTICAS

	1era	2da	3era
Clasificar con Lapinel (1988) los mapas del modelo CFSv2 (I a VIII)	II	I	II

Figura 2. Herramienta de Ayuda al Pronosticador

Figura 3. Probabilidades predominantes de ocurrencia para RMV 1 (1978-2007), a) Nuevitas y b) Puerto Padre

TSS VI: es el de menor representación, con apariciones aisladas en Nuevitas, Puerto Padre y Cabo Lucrecia en la temporada poco lluviosa del año,

TSS VII: influye durante la temporada poco lluviosa del año, con extensión a los periodos de transición,

TSS VIII: es predominante durante la temporada poco lluviosa del año, con extensión de inicio y

final mayor al TSS VII hacia los periodos de transición.

En la [Figura 5](#) se presentan las sumas de probabilidades predominantes de ocurrencia para la clase RMV 1 (0.0 a 3.4 m/s), que son los valores pronósticos obtenidos en las 36 decenas del año para cada estación seleccionada, cuya marcha anual tiene como característica común la existencia de valores máximos en los periodos de transición estacionales.

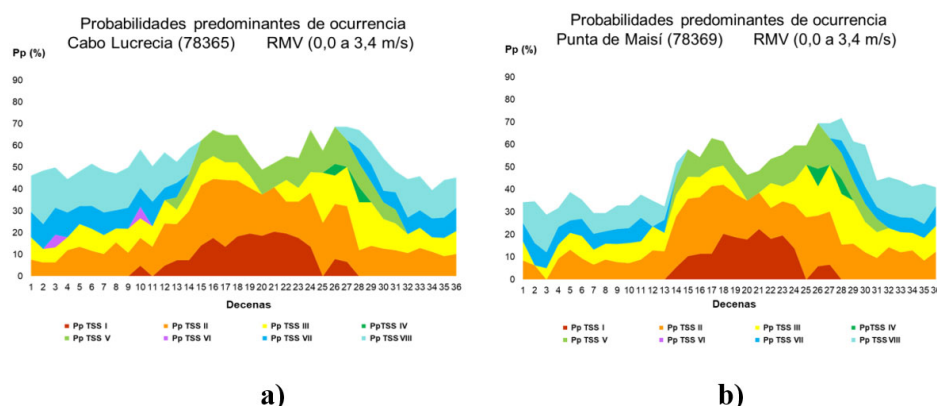


Figura 4. Probabilidades predominantes de ocurrencia para RMV 1(1978-2007), a) Cabo Lucrecia y b) Punta de Maisí

3.2.2. Clase agrupada RMV 2 (3.5 a 9.4 m/s) con potencial eólico Elevado

La marcha anual de los TSS condicionantes y las probabilidades predominantes de ocurrencia para la clase RMV 2 (3.5 a 9.4 m/s), con potencial eólico Elevado, determinan la existencia de dos regiones climáticas bien definidas que contienen en pares las cuatro estaciones meteorológicas estudiadas.

El análisis permitió identificar periodos del año con alta probabilidad predominante de potencial eólico Elevado, definidos como aquellos con más de una decena consecutiva donde $Pp(TSS/RMV\ 2 \geq TSS/RMV\ 1)$.

Región centro oriente

Se presentan las probabilidades predominantes ($\geq 5.0\%$) de ocurrencia para la clase de RMV 2 (3.5 a 9.4 m/s), con elevada similitud entre ambas estaciones.

Nuevitás (78353)

En Nuevitás (Fig. 6 a) se identifican dos periodos de alta probabilidad predominante de RMV con potencial eólico Elevado, donde $Pp(TSS/RMV\ 2 \geq TSS/RMV\ 1)$. El primero durante la temporada poco lluviosa del año, entre las decenas 2 y 11 (segunda de enero a segunda de abril), marcado por la influencia del anticiclón continental migratorio (TSS VIII), el flujo oceánico extendido (TSS II), los sistemas frontales (TSS VII) y el anticiclón subtropical oceánico (TSS I). El segundo ocurre en pleno verano, entre las decenas 19 y 22 (primera de julio a primera de agosto), bajo la influencia del anticiclón oceánico subtropical (TSS I), el flujo oceánico extendido (TSS II) y las ondas tropicales (TSS V).

El valor máximo de $Pp(TSS/RMV\ 2)$ se obtuvo en la decena 10 (primera de abril) con 57.3 %. El mínimo de probabilidad predominante se registró en la decena 27 (tercera de septiembre) con valor $Pp(TSS/RMV\ 2)$ de 7.0 %.

Puerto Padre (78358)

En Puerto Padre (Fig. 6 b), también se identifican dos periodos con valores de $Pp(TSS/RMV\ 2 \geq TSS/RMV\ 1)$, el primero entre las decenas 8 y

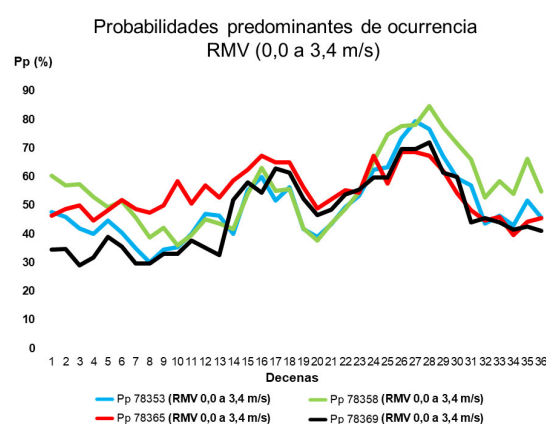


Figura 5. Marcha anual de la suma de probabilidades predominantes de ocurrencia para RMV 1(1978-2007)

14 (segunda de marzo a segunda de mayo), bajo la influencia del anticiclón continental migratorio (TSS VIII), el flujo oceánico extendido (TSS II) y el anticiclón subtropical oceánico (TSS I), mientras, el segundo corresponde a las decenas de la 19 a la 22 (primera de julio a primera de agosto), cuando influyen el anticiclón oceánico subtropical (TSS I), el flujo oceánico extendido (TSS II) y las ondas tropicales (TSS V).

El máximo de $Pp(TSS/RMV\ 2)$ se obtuvo en la decena 20 (segunda de julio) con 57.3 %. El mínimo de probabilidad predominante ocurrió en la decena 29 (segunda de octubre) con valor $Pp(TSS/RMV\ 2)$ igual a cero.

Región extremo oriente

Las estaciones localizadas en esta subregión presentan diferencias en el comportamiento de las probabilidades predominantes respecto al centro oriente, principalmente entre las decenas 1 y 12 (enero a abril).

Cabo Lucrecia (78365)

La alta dispersión de los valores de probabilidades de ocurrencia de RMV caracteriza su comportamiento en Cabo Lucrecia (Fig. 7 a), lo que determinó que se identificara un único y corto periodo con valores de $Pp(TSS/RMV\ 2 \geq TSS/RMV\ 1)$, localizado en las

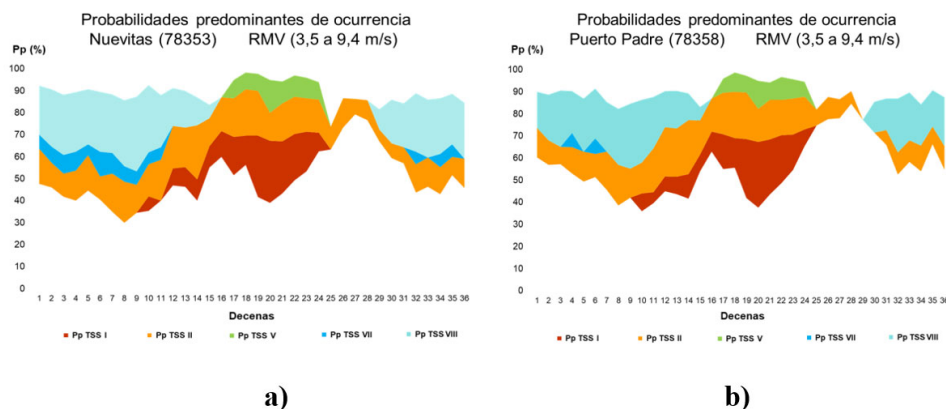


Figura 6. Probabilidades predominantes de ocurrencia para RMV 2 (1978-2007), a) Nuevitas y b) Puerto Padre

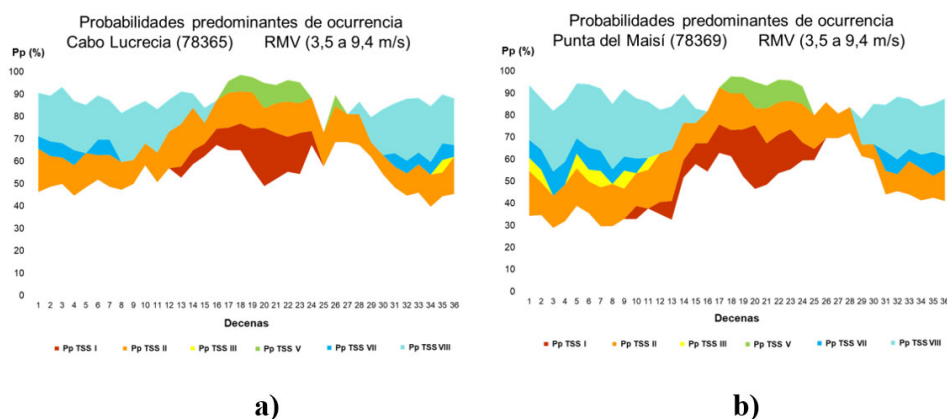


Figura 7. Probabilidades predominantes de ocurrencia para RMV 2 (1978-2007), a) Cabo Lucrecia y b) Punta de Maisí

decenas 34 y 35 (primera y segunda de diciembre), siendo los TSS influyentes el anticiclón continental migratorio (TSS VIII), el flujo anticiclónico extendido (TSS II), los sistemas frontales (TSS VII) y las situaciones de débil gradiente de presión atmosférica (TSS III) que aparece con valor único en la decena 35.

El máximo de Pp(TSS/RMV 2) es de 46.0 % en la decena 20 (segunda de julio). El mínimo de probabilidad predominante se registró en la decena 29 (segunda de octubre) con Pp(TSS/RMV 2) de 12.3 %.

Punta de Maisí (78369)

Punta del Maisí (Fig. 7 b) es la estación con el periodo más extenso de alta Pp(TSS/RMV 2) con potencial eólico Elevado, donde los valores de Pp(TSS/RMV 2 $\geq$ TSS/RMV 1) dominan 17 decenas de la temporada poco lluviosa del año, iniciando en la decena 33 (tercera de noviembre) hasta la 13 (primera de mayo), siendo los TSS influyentes: el anticiclón continental migratorio (TSS VIII), el flujo oceánico extendido (TSS II), los sistemas frontales (TSS VII), el débil gradiente de presión atmosférica (TSS III) y el anticiclón subtropical oceánico (TSS I).

El máximo de Pp(TSS/RMV 2) se obtuvo en la decena 7 (primera de marzo) con 62.6 %. El mínimo de probabilidad predominante se registró en la decena 27 (tercera de septiembre) con Pp(TSS/RMV 2) de 11.1 %.

La marcha anual de los valores pronósticos obtenidos como la suma de probabilidades predominantes de ocurrencia para la clase RMV 2 (3.5 a 9.4 m/s) en las 36 decenas del año para cada estación seleccionada, se presenta en la Figura 8, marcada por los valores mínimos en los periodos de transición estacionales, con el único valor igual a cero en la decena 29 de Puerto Padre.

3.2.3. Clase agrupada RMV 3 (≥ 9.5 m/s) con potencial eólico Excepcional

La clase RMV 3 (≥ 9.5 m/s), con potencial eólico Excepcional, solo alcanza un valor de probabilidad predominante de ocurrencia representativo, con 6.3 % durante la decena 32 (segunda de noviembre) en Cabo Lucrecia. En las restantes 35 decenas del año y estaciones meteorológicas estudiadas no se lograron valores predominantes.

3.3. Verificación de los pronósticos de probabilidades de rapidez del viento

Las probabilidades predominantes de ocurrencia de la clase agrupada RMV 2 (3.5 a 9.4 m/s), con potencial eólico Elevado, determinan la existencia de dos subregiones climáticas bien definidas para la rapidez media del viento en superficie (10 metros de altura), que contienen en pares las cuatro estaciones meteorológicas estudiadas: Nuevitas y Puerto Padre en el centro oriente; Cabo Lucrecia y Punta de Maisí en el extremo oriente.

Teniendo en cuenta estos comportamientos climáticos subregionales en la costa norte de la mitad oriental de Cuba y los periodos subestacionales establecidos anteriormente, se realizó la verificación de la metodología de pronósticos sinópticos-estadísticos en las estaciones Nuevitas (78353) y Punta de Maisí (78369), representativas de cada una de estas subregiones.

3.3.1. Región centro oriente. Estación Nuevitas (78353)

Se presenta la superposición gráfica (Fig. 9) de los valores pronósticos de probabilidades predominantes para las clases agrupadas RMV 1 y 2 obtenidos a partir de la base de datos 1978-2007 (líneas azul y roja) sobre las frecuencias de ocurrencia para las clases agrupadas RMV 1, 2 y 3 de la muestra independiente 2008-2017 (áreas blanca, verde y amarilla).

Se evidencia que en esta estación durante el periodo verificado predominaron los valores de RMV 1, en detrimento de la clase RMV 2, así como, la aparición de solo tres casos de RMV 3 en la decena 25 (primera de septiembre). Esta última clase de RMV no se pronostica por falta de representación en la serie de datos climática.

En la Tabla 3 el valor máximo del error medio absoluto (EMA) ocurre entre las decenas 19 y 23 (primera de julio a segunda de agosto), bajo la influencia del anticiclón subtropical oceánico (TSS I), con 3.4 casos (c) erróneos por decenas. Los grandes errores penalizados por el error medio cuadrático (EMC) con 12 casos al cuadrado (c^2) por decenas, tanto para RMV 1 como para RMV 2, incidieron de forma determinante en la exactitud del pronóstico para ese periodo subestacional.

El error medio (EM) indica que el pronóstico subestimó los valores para la clase RMV 1 y los sobrestimó para RMV 2 en todos los periodos subestacionales establecidos.

Sin embargo, el cálculo del error medio absoluto porcentual (MAPE) muestra diferencias significativas entre las clases de RMV 1 y RMV 2. Para RMV 1 el mayor error es del 8.2 % entre las decenas 24 y 28 del año (tercera de agosto a primera de octubre), bajo la influencia predominante del anticiclón subtropical

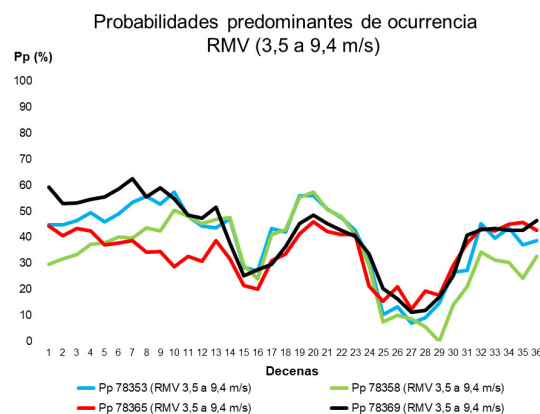


Figura 8. Marcha anual de la suma de probabilidades predominantes de ocurrencia para RMV 2 (1978-2007)

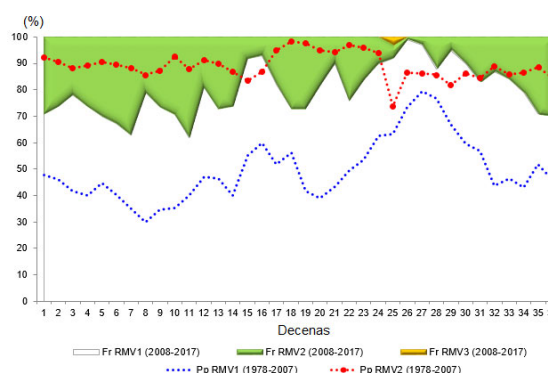


Figura 9. Probabilidades predominantes para RMV 1 y 2 (1978-2007), superpuestas a las frecuencias relativas de RMV 1, 2 y 3 (2008-2017) en Nuevitas

oceánico extendido (TSS II), mientras, para RMV 2 el mayor valor es de 44.3 % y corresponde al periodo entre las decenas 29 a la 33 (segunda de octubre a tercera de noviembre) con influencia creciente del anticiclón migratorio (TSS VIII).

En Nuevitas, el mejor pronóstico se obtuvo para el periodo entre las decenas 24 y 28 del año (tercera de agosto y primera de octubre) con influencia del anticiclón subtropical oceánico extendido (TSS II). Para la clase RMV 1 (0.0 a 3.4 m/s), con potencial eólico Pobre, el EMA fue de 1.6 casos decenales y el MAPE del 8.2 %, mientras, para la clase RMV 2 (3.5 a 9.4 m/s), con potencial eólico Elevado, el EMA es de 1.7 casos decenales, pero el MAPE alcanzó el 35.3 %, lo que indica diferencias importantes entre los valores pronósticos y las mediciones de esa clase de RMV durante ese periodo.

Mientras, el peor pronóstico tanto para RMV 1 como para RMV 2, se realizó para el periodo subestacional comprendido entre las decenas 19 y 23 (primera de julio a segunda de agosto), bajo la influencia del anticiclón subtropical oceánico (TSS I), con un EMA de 3.4 casos decenales, un EMC de 12 casos al cuadrado (c^2) por decenas y un MAPE de 6.2 y 26.6 % para RMV 1 y RMV 2 respectivamente.

Tabla 3. Errores medios determinados para 78353 en la muestra 2008-2017

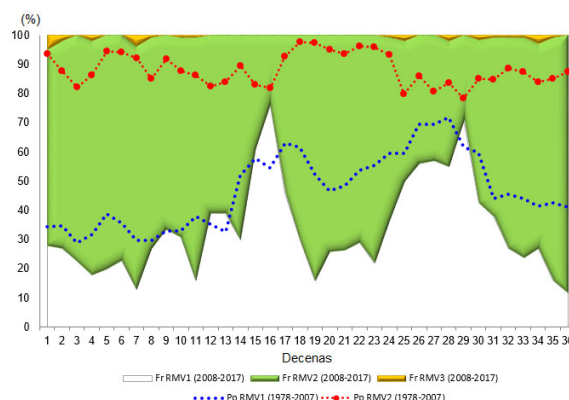
Clases	Periodos decenales	TSS predominantes	EM (c)	EMA (c)	MAPE (%)	EMC (c ²)
RMV 1	29 a 33 (5)	VIII (creciendo)	-2.8	2.8	6.2	8.1
	34 a 5 (8)	VIII (estable)	-2.3	2.3	3.9	5.9
	6 a 11 (6)	VIII (máximo)	-2.9	2.9	4.4	9.3
	12 a 18 (7)	II	-2.5	2.5	6.0	6.7
	19 a 23 (5)	I	-3.4	3.4	6.2	12.2
	24 a 28 (5)	II	-1.6	1.6	8.2	3.2
RMV 2	29 a 33 (5)	VIII (creciendo)	2.7	2.7	44.3	8.0
	34 a 5 (8)	VIII (estable)	2.3	2.3	10.6	5.8
	6 a 11 (6)	VIII (máximo)	2.9	2.9	12.2	9.1
	12 a 18 (7)	II	2.5	2.5	13.6	6.6
	19 a 23 (5)	I	3.4	3.4	26.6	12.1
	24 a 28 (5)	II	1.7	1.7	35.3	3.4

3.3.2. Región extremo oriente. Estación Punta de Maisí (78369)

Durante el periodo de verificación en la estación Punta de Maisí, a diferencia de Nuevitas, los valores de RMV 2 fueron predominantes, y como promedio un 31.8 % mas frecuentes que los de RMV 1 (Fig. 10), mientras, que la clase RMV 3 (≥ 9.5 m/s), con potencial eólico Excepcional, representó solo el 0.8 % de las mediciones realizadas. Los valores pronosticos de RMV 2 (línea roja) quedaron superpuestos dentro de las mediciones (área verde) en todas las decenas del año.

En el análisis de los datos brindados por la Tabla 4, el EM indica que el pronóstico sobreestimó los valores para la clase RMV 1 y los subestimó para RMV 2 en todos los periodos subestacionales. El valor máximo del EMA ocurre dentro de la estación del verano (decenas 19 a 23) bajo la influencia del anticiclón subtropical oceánico (TSS I), marcado por los grandes errores, más de 9 casos al cuadrado (c²) por decenas señalados por el EMC. Sin embargo, la relación porcentual entre valores pronosticos y las mediciones (MAPE) sufrió su mayor deterioro en el periodo de la decena 24 a la 28 (tercera de agosto a primera de octubre) bajo la influencia predominante del anticiclón subtropical oceánico extendido (TSS II), seguido por las situaciones de débiles gradientes de presión (TSS III) y la influencia de ciclones tropicales (TSS IV), lo que impone que en este periodo de transición se registre la mayor variabilidad anual de la rapidez media del viento.

Del análisis de los datos presentados se evidencia que el mejor pronóstico obtenido con la metodología sinóptico-estadística en la estación Punta de Maisí, corresponde al periodo subestacional de la decena 6 a la 11 (tercera de febrero a segunda de abril) con influencia máxima del anticiclón migratorio (TSS VIII), cuando el EMA fue de 1.3 y 1.5 casos decenales para RMV 1 y RMV 2, siendo el MAPE de 14.1 y 4.1 % respectivamente.


Figura 10. Probabilidades predominantes para RMV 1 y 2 (1978-2007), superpuestas a las frecuencias relativas de RMV 1, 2 y 3 (2008-2017) en Punta de Maisí

Es significativo que durante los tres periodos subestacionales bajo la influencia del anticiclón migratorio, cuando son altos los valores de rapidez media del viento, los valores de EMA fueron bajos.

Sin embargo, en ambas estaciones los valores máximos de EMA y EMC ocurrieron entre las decenas 19 y 23, dentro de la estación del verano con la influencia del anticiclón subtropical oceánico (TSS I), tanto para la clase RMV 1 como RMV 2.

3.3.3. Verificación del pronóstico de probabilidades utilizando el GFS

Los pronósticos de probabilidades de clases de la rapidez media del viento generados por el modelo Global Forecast System (GFS) fueron elaborados utilizando los conjuntos de datos GFS1 y GFS2, correspondientes al trimestre marzo-abril de 2022.

El conjunto GFS1 pronostica la decena inmediata a transcurrir y el GFS2 los primeros siete días de la siguiente decena. Al no contar con series largas de datos pronosticos del modelo GFS se realizó la verificación contrastando estos propios conjuntos de datos pronosticos con las mediciones de las estaciones meteorológicas seleccionadas. Aunque, se conoce que

Tabla 4. Errores medios determinados para 78369 en la muestra 2008-2017

Clases	Periodos decenales	TSS predominantes	EM (c)	EMA(c)	MAPE (%)	EMC (c ²)
RMV 1	29 a 33 (5)	VIII (creciendo)	1.6	1.8	7.9	3.8
	34 a 5 (8)	VIII (estable)	2.1	2.1	12.3	5.3
	6 a 11 (6)	VIII (máximo)	1.3	1.3	14.1	2.3
	12 a 18 (7)	II	1.1	1.5	7.7	3.6
	19 a 23 (5)	I	3.0	3.0	4.5	9.2
	24 a 28 (5)	II	2.2	2.2	24.5	5.1
RMV 2	29 a 33 (5)	VIII (creciendo)	-1.7	1.8	5.6	3.9
	34 a 5 (8)	VIII (estable)	-2.2	2.2	3.5	6.0
	6 a 11 (6)	VIII (máximo)	-1.5	1.5	4.1	2.6
	12 a 18 (7)	II	-1.1	1.6	2.8	3.6
	19 a 23 (5)	I	-3.0	3.0	4.1	9.4
	24 a 28 (5)	II	-2.1	2.1	7.8	4.7

Tabla 5. Errores medios determinados para RMV 2 utilizando el GFS

Estación	Periodos decenales	Salidas GFS	EM (c)	EMA(c)	MAPE (%)	EMC (c ²)
78353	6 a 11 (6)	GFS1	-1.6	1.6	5.4	7.4
		GFS2	-2.2	2.6	7.1	18.5
	12 a 18 (7)	GFS1	-0.8	1.5	0.6	5.5
		GFS2	-1.0	2.8	3.1	13.9
78369	7 a 11 (5)	GFS1	-3.8	3.8	10.9	15.1
		GFS2	-3.6	3.7	10.7	17.9
	12 a 18 (7)	GFS1	-6.8	7.6	5.9	28.9
		GFS2	-6.3	8.8	5.4	40.9

la utilización del EMA y el EMC para medir la exactitud de un pronóstico no proporciona estimaciones estables de la exactitud para muestras pequeñas, pues los resultados pueden estar condicionados por unos pocos errores grandes (León, 2005). Por lo que los resultados presentados en este epígrafe deben tomarse con discreción.

Los resultados de los cálculos de las medidas estadísticas de errores presentados corresponden solo a la clase RMV 2, que es la de interés para el aprovechamiento de su potencial eólico Elevado. La verificación se realizó en dos periodos subestacionales bajo la influencia del anticiclón migratorio (TSS VIII), uno clasificado como de comportamiento estable (decenas 6 a 11) y el otro donde ocurre su pico máximo de influencia (decenas 12 a 18), para las estaciones de Nuevitas y Punta del Maisí (Tabla 5).

En Nuevitas (78353) los valores de EM, EMA y MAPE son coherentes, siendo menores los errores de GFS1 que los de GFS2, lo que se debe interpretar como un ajuste de la salida del modelo de pronóstico para el plazo más corto (GFS1). En cambio, para Punta de Maisí los resultados obtenidos fueron malos, con valores de EMA cercanos a 4 casos por decenas en GFS1 y superiores en GFS2, por lo que será necesario un ajuste estadístico a la salida del modelo GFS con una muestra ampliada.

Es significativo que el signo del EM sea negativo en todas las predicciones, lo que indica una subestima-

ción del modelo respecto a las mediciones en ambas estaciones, que se mantiene igual o menor a 1.6 casos por decenas para GFS1 y a 2.2 casos por decenas para GFS2 en Nuevitas, mientras, para Punta de Maisí (78369) alcanza grandes valores, siendo igual o mayor a 3.8 casos por decenas para GFS1 y a 3.6 casos por decenas para GFS2.

4. CONCLUSIONES

1. La herramienta de ayuda al pronosticador elaborada, brinda dos salidas del diseño metodológico, el pronóstico sinóptico-estadístico y el pronóstico de probabilidades utilizando el modelo GFS, que proporcionan información predictiva novedosa en la escala subestacional, la que contribuirá a una mayor eficiencia en la planificación, organización y ejecución de tareas que involucren la asignación de recursos, el traslado de elementos de gran porte y la ejecución de mantenimientos complejos a los aerogeneradores, teniendo en cuenta la probable disponibilidad del recurso eólico.
2. La determinación de las probabilidades predominantes de ocurrencia para las clases agrupadas de rapidez media del viento, aporta nuevos conocimientos sobre las circulaciones atmosféricas como factor formador del clima de Cuba, al establecer que: la influencia del anticiclón oceánico extendido es el único TSS predominante durante todas las

decenas del año, la influencia del anticiclón subtropical oceánico muestra una extensión hacia el período de transición primaveral y no existen valores predominantes de la rapidez media del viento condicionados a las situaciones sinópticas ciclónicas (tropicales y extratropicales).

3. La verificación de la exactitud del pronóstico sinóptico-estadístico es buena en el extremo oriente (Punta de Maisí), obteniéndose la mayor coherencia entre las diferentes medidas de error para la clase 3.5 a 9.4 m/s, con potencial eólico Elevado, resultado que consideramos relevante, teniendo en cuenta que en la subregión del extremo oriente se proyecta el mayor desarrollo inversionista para la utilización de la energía eólica en Cuba. En la región centro oriente (Nuevitás) la exactitud es aceptable, excepto en el verano que el EMA supera los 3 casos por decenas.
4. Una mejor exactitud de los pronósticos sinóptico-estadísticos en el extremo oriente se asocia a que la influencia de las situaciones sinópticas anticiclónicas (TSS I, II y VIII) sobre Cuba aumenta hacia el este, determinando que el clima sea más estable y exista un mayor potencial eólico en esa región del país.
5. Los pronósticos de probabilidades de la rapidez media del viento elaborados utilizando el modelo Global Forecast System (GFS) obtienen buena exactitud en Nuevitás, con un correcto ajuste del modelo en el plazo de pronóstico más corto, mientras, en Punta de Maisí la exactitud es mala, por lo que será necesario un ajuste estadístico a la salida del modelo GFS con una muestra ampliada.

5. RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio, con la base de datos pronósticos del modelo GFS ampliada, para establecer un ajuste estadístico a la salida del modelo, que mejore la exactitud en la predicción de la probabilidad de la rapidez media del viento en el extremo oriente (Punta de Maisí).
2. Priorizar la estabilidad de las mediciones de dirección y velocidad del viento en las estaciones estudiadas de la costa norte en la mitad oriental de Cuba, región promisoría para el aprovechamiento del potencial eólico, donde se proyecta el mayor desarrollo inversionista para la utilización de la energía eólica en Cuba.

6. AGRADECIMIENTOS

Al Lic. Alfredo E. Roque Rodríguez, MSc. Pedro Roura Pérez y MSc. Axel Hidalgo Mayo, por los valiosos señalamientos y acertadas recomendaciones realizadas durante las revisiones del texto.

7. REFERENCIAS

- Barry, R. y Carleton, A. (2001). *Synoptic and Dynamic Climatology*. 547-592 pp.
- Boytel, F. (1972). *Geografía Eólica de Oriente*. La Habana: Ed. Ciencia y Técnica, 251 pp.
- Hoel, P. (1972). *Introducción a la Estadística Matemática*. Edición Revolucionaria, 471 pp.
- Lapinel, B. (1988). *La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las lluvias en Cuba*. [Tesis de Doctorado]. Instituto de Meteorología, 147 pp.
- Lecha, L., Sánchez, L., Verdecia, Y., Soler, E. y Sánchez, A. (2020). "Variabilidad de los tipos de situaciones sinópticas influyentes sobre el occidente de Cuba". *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 26, No 2, 1-18 pp., ISSN: 2664-0880. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/507>
- León, G. (2005). Verificación de los modelos meteorológicos. Nota Técnica IDEAM/METEO 0001/05, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 41 pp.
- Roque, A., Montenegro, U. y Peña A. (2018). Particularidades del viento en la región oriental del país. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 24, No 3, 335-348 pp., ISSN: 2664-0880.
- Sánchez, H. H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Edit. Universidad Ricardo Palma, 146 pp., ISBN N° 978-612-47351-4-1. <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>
- Soler, E., Lecha, L. B., Sánchez, L. M. y Verdecia, Y. (2020). *Catálogo de los Tipos de Situaciones Sinópticas que influyen sobre Cuba*. Informe Científico Técnico, Instituto de Meteorología, 59 pp.
- Soler, E., Sánchez, L. M., Lecha, L. B. y Verdecia, Y. (2021). "Los tipos de situaciones sinópticas que influyen sobre la mitad occidental de Cuba y su relación con la rapidez media del viento en La Fe, Isla de la Juventud". *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 27, No 3, 14 pp. ISSN: 2664-0880.
- Soler, E., Sánchez, L. M., Rojas, N. y Cardoso, A. (2022). Elaboración de la base metodológica para el pronóstico sinóptico-estadístico subestacional de la rapidez media del viento en estaciones meteorológicas seleccionadas de Cuba. Informe de Resultado, Instituto de Meteorología, 39 pp.
- Soltura, R., Roque, A., Rivero, I., Wallo, A., Báez, R., Vázquez, R., Rivero, R., Ayala, L., Rodríguez, G., Carrasco, H., Curbelo, A., González, A., Herrera, O., Martín G. y Díaz, J. C. (2009). "Primera edición del Mapa de Potencial Eólico de Cuba". *Revista Eco Solar*, 21(06), 1-18, <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar21/HTML/articulo06.htm>

- Souza, M.S., Giordano, C. J. y Migliorati M. A. (2012). *Hacia la tesis: itinerarios conceptuales y metodológicos para la investigación en comunicación*. Universidad Nacional de La Plata, 160 pp.
- Villareal, F. (2016). *Introducción a los Modelos de Pronósticos*. Universidad Nacional del Sur, 121 pp.
- Yarnal, B. (1993). *Synoptic Climatology in Environmental Analysis*. Belhaven Press, 200 pp.

Conflicto de intereses: Los autores del artículo científico, declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores: **Edgardo Soler Torres:** Gestión del proyecto, conceptualización, investigación, análisis formal y redacción-revisión del artículo. **Luis M. Sánchez Suárez:** Metodología, investigación, análisis formal, software, redacción-revisión del artículo. **Yuslandis Verdecia Naranjo:** Conservación de datos, investigación, visualización y primera redacción del artículo. **Nelson Rojas González:** Conservación de datos, investigación, validación, primera redacción del artículo.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)

ANEXO. Probabilidades predominantes de ocurrencia (%) de las clases agrupadas de rapidez media del viento (1978-2007)

Decenas	Estaciones meteorológicas							
	Nuevitas 78353		Puerto Padre 78358		Cabo Lucrecia 78365		Punta de Maisí 78369	
	RMV 1	RMV 2	RMV 1	RMV 2	RMV 1	RMV 2	RMV 1	RMV 2
1	47.7	44.7	60.3	29.7	46.3	44.3	34.4	59.3
2	46.0	44.7	57.0	31.7	48.7	40.7	34.8	53.0
3	41.8	46.4	57.3	33.3	50.0	43.3	29.0	53.2
4	40.0	49.3	53.0	37.3	44.7	42.3	31.9	54.4
5	44.7	46.0	49.3	37.7	48.3	37.0	38.9	55.6
6	40.5	49.0	51.4	40.1	51.8	37.7	35.6	58.6
7	35.0	53.3	45.7	39.7	48.7	38.7	29.6	62.6
8	30.0	55.7	38.7	43.7	47.3	34.3	29.6	55.6
9	34.5	52.7	42.1	42.4	50.0	34.5	33.0	58.9
10	35.3	57.3	36.0	50.3	58.3	28.7	33.0	54.8
11	40.0	48.0	39.7	48.0	50.7	32.7	37.8	48.5
12	47.0	44.3	45.0	45.3	57.0	30.7	35.2	47.4
13	46.3	43.7	43.7	46.8	52.7	38.7	32.6	51.5
14	40.0	47.0	41.7	47.6	58.7	31.7	51.9	37.8
15	55.2	28.5	54.0	29.1	62.4	21.5	57.9	25.3
16	60.0	27.0	63.0	24.0	67.3	20.0	54.4	27.4
17	51.7	43.3	55.0	40.9	65.0	31.0	63.0	29.6
18	56.3	42.0	55.7	43.0	65.0	33.7	61.5	36.3
19	41.7	56.0	42.0	55.3	56.3	41.3	52.2	45.2
20	39.0	56.0	37.7	57.3	49.0	46.0	46.7	48.5
21	43.3	50.9	43.6	50.6	52.1	42.1	48.5	45.1
22	49.3	47.7	48.7	48.0	55.3	41.0	53.7	42.6
23	53.3	42.7	54.7	41.0	54.3	41.0	55.6	40.4
24	62.4	31.5	65.5	29.1	67.3	21.2	59.6	33.7
25	63.3	10.3	74.7	7.3	57.7	15.3	59.6	20.4
26	73.3	13.3	77.7	10.0	68.7	21.0	69.6	16.3
27	79.3	7.0	78.0	8.7	68.7	12.3	69.6	11.1
28	76.7	9.0	84.7	5.7	67.3	19.3	71.9	11.9
29	67.0	14.7	77.3	0.0	62.0	17.7	61.5	17.0
30	59.4	26.7	71.5	13.9	54.2	29.1	59.9	25.3
31	57.0	27.3	66.0	21.0	48.3	37.7	44.1	40.7
32	43.7	45.3	52.7	34.3	44.7	43.3	45.6	43.0
33	46.3	39.7	58.3	31.3	46.0	42.3	44.1	43.3
34	43.0	43.7	54.0	30.3	39.7	45.0	41.5	42.6
35	51.7	37.0	66.3	24.3	44.3	45.7	42.6	42.6
36	45.8	38.8	54.8	32.7	45.5	42.7	41.1	46.5