

Caracterización sinóptico-climatológica de la rapidez media del viento en la costa norte de la mitad oriental de Cuba



<https://cu-id.com/2377/v28n4e03>

Synoptic-climatological characterization of the mean wind speed on the north coast of the eastern half of Cuba

Edgardo Soler Torres*, Luis M. Sánchez Suárez, Yuslandis Verdecia Naranjo, Luis B. Lecha Estela

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

RESUMEN: La costa norte de la mitad oriental de Cuba está considerada como la zona promisoría para el aprovechamiento del recurso eólico en Cuba. Para caracterizar, desde un enfoque sinóptico-climatológico, la rapidez media del viento en esa región del país, se emplearon las series de datos de la clasificación de tipos de situaciones sinópticas (TSS), así como, de la rapidez media del viento (RMV) en estaciones meteorológicas seleccionadas para el periodo 1978-2017. El resultado presenta los valores de frecuencias observados en la RMV para cada localidad estudiada, que muestran una estructura coherente sobre la región climática, además, identifica los TSS predominantes en los diferentes periodos estacionales del año sobre la mitad oriental de Cuba y demuestra que la variabilidad anual de la rapidez media del viento en la costa norte de la mitad oriental de Cuba está asociada a los cambios en las frecuencias de ocurrencia de estas situaciones sinópticas. También, se establecen relaciones estadísticas con valores de frecuencias igual o mayor a 5 %, que explican algunos comportamientos climáticos predominantes de la RMV en las estaciones meteorológicas seleccionadas. Finalmente, queda demostrado que la influencia del flujo anticiclónico oceánico extendido (TSS II) es la situación sinóptica predominante en la mitad oriental de Cuba, y presenta relaciones con frecuencias máximas para las clases con valores bajos de la RMV; mientras que, los valores elevados de la RMV ocurren más frecuentemente bajo la influencia del anticiclón continental migratorio (TSS VIII), principalmente en el extremo oriental.

Palabras claves: Climatología sinóptica, Situación sinóptica, Rapidez media del viento.

ABSTRACT: The north coast of the eastern half of Cuba is considered the promising area for the use of the wind resource in Cuba. To characterize, from a synoptic-climatological approach, the average speed of the wind in that region of the country, the data series of the classification of types of synoptic situations (TSS) were used, as well as the average speed of the wind (RMV) at selected meteorological stations for the period 1978-2017. The result presents the values of frequencies observed in the RMV for each studied locality, which show a coherent structure over the climatic region, in addition, it identifies the predominant TSS in the different seasonal periods of the year over the eastern half of Cuba and shows that the variability annual mean wind speed on the north coast of the eastern half of Cuba is associated with changes in the frequencies of occurrence of these synoptic situations. Also, statistical relationships are established with frequency values equal to or greater than 5 %, which explain some predominant climatic behaviors of the RMV in the selected meteorological stations. Finally, it is demonstrated that the influence of the extended oceanic anticyclonic flow (TSS II) is the predominant synoptic situation in the eastern half of Cuba, and presents relationships with maximum frequencies for the classes with low values of the RMV; while, the high values of the RMV occur more frequently under the influence of the migratory continental anticyclone (TSS VIII), mainly in the extreme east.

Key words: Synoptic climatology, Synoptic situation, Average wind speed.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento desigual de la superficie de la Tierra, producto de la diferenciada distribución de los océanos y continentes, genera zonas de altas y bajas presiones distribuidas por todo el planeta, su dinámica existencia conforma los procesos de la circulación general de la atmósfera (CGA) en la escala global y los tipos de situaciones sinópticas (TSS) en la escala

regional, cuya influencia es uno de los factores que determina el comportamiento de los elementos meteorológicos en una localidad.

Los desequilibrios de estos sistemas de presión atmosférica provocan desplazamientos del aire, dando lugar al viento, que no es más que el aire que se mueve de un lugar a otro, bien sea debido a la brisa marina, a un anticiclón invernal o un intenso huracán.

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

Recibido: 15/09/2022

Aceptado: 10/10/2022

La climatología sinóptica es el estudio de la relación entre la circulación atmosférica y el medio ambiente en superficie. Para establecer esta relación, todas las climatologías sinópticas tienen dos etapas (Barry y Perry 1973), la primera etapa es la clasificación de la circulación atmosférica; la segunda es la determinación de la relación entre las categorías de circulación y los elementos del medio ambiente en superficie (Yarnal y Draves, 1993).

A principios de los años 70 del pasado Siglo XX se publicó la obra Geografía Eólica de Oriente (Boytel, 1972), donde se detalla el comportamiento del viento en esa región del país. Posteriormente, otros autores desarrollaron estudios con diversos objetivos sobre el tema que abarcaron a Cuba y sus regiones (Carnesoltas, 1986; Rego, 1989 y Lecha *et al.*, 1994).

En décadas recientes, nuevas investigaciones (Soltura *et al.*, 2002; León y Álvarez, 2011; Rodríguez *et al.*, 2011 y Perdígón *et al.*, 2012) continúan aportando conocimientos sobre el viento y sus posibles aplicaciones en Cuba, incluyendo los estudios realizados en la Isla de la Juventud (Soler *et al.*, 2015).

Paralelamente, a finales de los años 80 del siglo pasado se dió a conocer un criterio subjetivo de clasificación manual de los tipos de situaciones sinópticas influyentes sobre Cuba (Lapinel, 1988), que tenían una relación definida con la ocurrencia o no de precipitaciones en el territorio nacional.

Esta tipificación se expresa normalmente mediante el empleo de criterios genéticos o naturales de clasificación, que surgen del comportamiento más frecuente de los procesos de la circulación general de la atmósfera influyentes sobre una zona o región dada, así como, su repercusión sobre el clima local (Lapinel, 1988).

Estos criterios subjetivos de clasificación de las situaciones sinópticas influyentes sobre Cuba han tenido varias aplicaciones en los últimos años (Carrasco *et al.*, 2011 y López *et al.*, 2016). Recientemente, (Soler *et al.*, 2021) demostraron la existencia relaciones estadísticas entre algunos tipos específicos de situaciones sinópticas, que influyen sobre la mitad occidental de Cuba y la rapidez media diaria del viento en la estación meteorológica de La Fe, Isla de la Juventud, principalmente con la influencia del anticiclón continental migratorio durante la temporada poco lluviosa del año. Su recomendación fue estudiar los tipos de situaciones sinópticas que influyen sobre Cuba y su relación con la rapidez media del viento [...], específicamente para el periodo subestacional, definido como el rango de tiempo entre 2 semanas y 2 meses (Vitart y Robertson, 2018).

En la actualidad un nuevo contexto del clima mundial y regional, asociado a las influencias de las propias actividades humanas, demanda estudios sobre la génesis del clima nacional, así como, incorporar nuevos métodos y tecnologías para entender las complejas

interrelaciones que existen entre los procesos de la circulación atmosférica y los elementos del medio ambiente en superficie, que influyen sobre la sociedad ó tienen potencial como recurso energético renovable para su aprovechamiento en la vida económica del país.

El presente trabajo tiene como objetivo la caracterización sinóptico-climatológica de la rapidez media del viento en estaciones meteorológicas seleccionadas de la costa norte en la mitad oriental de Cuba, zona promisoría para el aprovechamiento de la energía eólica, mediante la determinación de sus relaciones con los tipos de situaciones sinópticas que generan sus diversos comportamientos climáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon la base de datos de clasificaciones de tipos de situaciones sinópticas (TSS) de superficie establecidas (Lapinel, 1988), actualizada y corregida para el periodo decenal durante la ejecución de esta investigación, así como, la base de datos de la rapidez media del viento (RMV) correspondiente a las estaciones meteorológicas seleccionadas de Cuba, elaborada en este proyecto para el periodo 1978-2017.

A la RMV se le aplicó un proceso de discretización para obtener las clases de rapidez media del viento que caracterizan esta variable en Cuba, teniendo en cuenta estudios de potencial eólico realizados anteriormente (Soltura *et al.*, 2009; Soler *et al.*, 2013 y Roque *et al.*, 2014).

Para determinar la existencia de asociación entre las variables TSS y RMV se realizó una prueba de independencia estadística de las variables, acompañada del nivel de significación y de las condiciones impuestas para contrastar las hipótesis, lo que garantiza la correcta validación del resultado. Mediante el uso de un programa estadístico aplicamos el procedimiento Tabla de Contingencia (Hoel, 1972) a las variables categóricas previamente definidas.

Una modificación, en la conformación de los grupos de TSS establecida (Soler *et al.*, 2020), fue realizada al presentar en un mismo grupo el análisis de los procesos ondulatorios y frontales, lo que se justifica al mostrar comportamientos similares de las frecuencias de ocurrencia de la rapidez media del viento, muy diferentes de los TSS anticiclónicos, grupo donde tradicionalmente se han incluido las ondas tropicales.

Los mapas sinópticos diarios en formato digital fueron construidos a partir de la información del reanálisis disponible en el sitio web del Centro Nacional de Predicciones Ambientales (NCEP en inglés) de los EE.UU., para una ventana geográfica regional, comprendida entre 10° y 50° de latitud norte y desde 60° a 110° de longitud oeste, donde se encuentra Cuba y áreas adyacentes (Atlántico occidental, mar Caribe, golfo de México y sur de los EE. UU).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Frecuencias observadas de la rapidez media del viento Selección de estaciones meteorológicas representativas

A partir de los resultados publicados en la Primera edición del Mapa de Potencial Eólico de Cuba (Soltura *et al.*, 2009) fue seleccionado un grupo de cuatro estaciones meteorológicas, representativas de la costa norte de la mitad oriental de Cuba (Fig. 1).

Los datos empleados en la investigación fueron tomados de la información básica brindada por el Sistema Automatizado de Revisión de Observaciones Meteorológicas (SAROM), actualmente operativo en la Red de Estaciones de Cuba, el cual contiene los algoritmos de revisión automática de incompatibilidades, además, de las revisiones manuales realizadas para el control de la calidad de los datos y la validación de las series climáticas realizadas a postproceso de las cuatro estaciones meteorológicas seleccionadas: Nuevitas, Puerto Padre, Cabo Lucrecia y Punta de Maisí, que fueron normalizadas a 40 años, desde el 1 de enero de 1978 hasta el 31 de diciembre de 2017 (Tabla 1).

Frecuencias observadas de la rapidez media del viento

Se definieron cinco clases de rapidez media del viento y fueron calculadas sus frecuencias absolutas (Tabla 2). Los datos de rapidez media del viento son representativos del área propuesta para los cálculos con el 98.1 % de casos validados entre 1978-2017. La estación con afectación por valores invalidados es Punta de Maisí con el 7.5 %. La estación de Puerto Padre solo tiene el 0.15 % de casos perdidos, mientras, Nuevitas y Cabo Lucrecia presentan sus series completas.

También, se determinaron sus frecuencias relativas (Tabla 3) en cada estación meteorológica, que muestran una estructura coherente sobre la región climática. En la medida que aumenta la rapidez media del viento se aprecia una disminución de los casos, que se va ralentizando de occidente a oriente, alcanzando la frecuencia máxima en las categorías de RMV 3, 4 y 5 en el extremo oriente, y específicamente en las clases de RMV 4 y 5, donde los valores de la estación Cabo Lucrecia (78365), 10.0 y 4.6 % respectivamente, son muy superiores al resto de las estaciones.



Figura 1. Mapa con localización de las estaciones meteorológicas seleccionadas

Tabla 1. Metadatos de las estaciones seleccionadas

Estación	Número	Latitud	Longitud	Altitud	Inicio	Final	Años
Nuevitas	78353	21.56	77.25	20.0	1/1/1970		47
Puerto Padre	78358	21.21	76.62	13.0	1/1/1970	31/12/2017	47
Cabo Lucrecia	78365	21.07	75.62	4.0	1/6/1974		43
Punta de Maisí	78369	20.24	74.15	8.0	1/1/1976		41

Tabla 2. Frecuencia absoluta (casos) de rapidez media diaria del viento 1978-2017

RMV (m/s)	Nuevitas (78353)	Puerto Padre (78358)	Cabo Lucrecia (78365)	Punta Maisí (78369)
1 (0.5 - 3.4)	8927	8234	7199	6346
2 (3.5 - 5.4)	4234	4426	2796	3586
3 (5.5 - 7.4)	1281	1673	2482	2528
4 (7.5 - 9.4)	149	224	1455	886
5 (≥ 9.5)	19	30	678	168
Suma de casos	14610	14587	14610	13514
Casos perdidos	0	23	0	1096
Por ciento	0	0.15	0	7.5
Total	14610	14610	14610	14610

Tabla 3. Frecuencias relativas (%) de la rapidez media diaria del viento 1978-2017

Estación Meteorológica	No de Estación	Clases de rapidez media del viento (m/s)				
		RMV 1 0.0 - 3.4	RMV 2 3.5 - 5.4	RMV 3 5.5 - 7.4	RMV 4 7.5 - 9.4	RMV 5 ≥9.5
Nuevitas	78353	61,1	29,0	8,8	1,0	0,1
Puerto Padre	78358	56,4	30,3	11,5	1,5	0,2
Cabo Lucrecia	78365	49,3	19,1	17,0	10,0	4,6
Punta de Maisí	78369	50,9	24,5	17,3	6,1	1,1

Todas las estaciones seleccionadas de la región en estudio, costa norte de la mitad oriental de Cuba, presentan valores de frecuencias de ocurrencia superiores a las obtenidas para La Fe, en la Isla de la Juventud (Soler *et al.*, 2021), en las cinco categorías definidas, lo que corrobora diversos estudios ya mencionados anteriormente que señalan a la costa norte de la mitad oriental de Cuba, como la región promisoría para el aprovechamiento de la energía eólica en Cuba.

Situaciones sinópticas influyentes sobre la mitad oriental de Cuba

Clasificaciones de tipos de situaciones sinópticas

Los procesos sinópticos son continuos y están en constante movimiento, transformándose al moverse sobre el largo y estrecho territorio nacional, por lo que resulta importante conocer las características y el tiempo de influencia del TSS bajo análisis en la región de estudio. Para decidir las clasificaciones aplicadas se utilizaron las secuencias de mapas sinópticos diarios.

La base de datos actualizada de clasificaciones de tipos de situaciones sinópticas (TSS) de superficie para la mitad oriental de Cuba contiene 14 610 casos (Tabla 4), detallados para cada TSS con el cálculo de sus frecuencias de ocurrencia por decenas (1 a 36) en el periodo 1978-2017.

Durante el periodo de estudio en la mitad oriental de Cuba ha predominado la influencia del flujo oceánico extendido (29.9 %), seguido de la influencia del anticiclón continental migratorio (22.9 %) y en tercer lugar la influencia cercana del anticiclón subtropical oceánico (12.8 %), los tres tipos de situaciones

sinópticas anticiclónicas contenidas en la clasificación (Lapinel, 1988).

Después de las situaciones anticiclónicas, son las situaciones de débiles gradientes las únicas que alcanzan una frecuencia de ocurrencia superior al 10 % de la muestra (12.3 %), por encima de los restantes cuatro TSS.

Se presenta la marcha anual de los TSS para la mitad oriental de Cuba, basada en las frecuencias decenales observadas, que muestran la existencia de comportamientos predominantes en cuatro estaciones del año; para el periodo poco lluvioso del año, con invierno en el trimestre diciembre-febrero, predominan los TSS VI, VII y VIII (Fig. 2a), con representación en todos los meses de año y máximas frecuencias en los periodos de transición entre estaciones los TSS II, III y IV (Fig. 2b) y en el verano los TSS I y V (Fig. 2c).

Los TSS de la Fig. 4a (VI, VII y VIII), corresponden a las bajas extratropicales, los sistemas frontales y la influencia del anticiclón continental migratorio, esta última situación sinóptica es señalada como la predominante durante la temporada poco lluviosa del año, al igual que en la mitad occidental de Cuba (Soler *et al.*, 2021), sin embargo, llega a tener valores de frecuencias de ocurrencia igual a cero entre las decenas 18 y 22 (desde finales de junio hasta inicios de agosto).

Los TSS (II y III) poseen valores de ocurrencia durante todo el año con máximos bimodales individualizados en los periodos de transición, el flujo anticiclónico extendido alcanza sus máximos en la decena 15 (finales de mayo) y entre la 24 y 26 (de finales de agosto e inicios de septiembre; mientras, los procesos de débiles gradientes de presión tienen un discreto

Tabla 4. Frecuencias absolutas y relativas para los TSS de la mitad oriental de Cuba

TSS ORI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total
Casos	1867	4369	1795	296	1358	302	1277	3346	14610
Por ciento	12,8	29,9	12,3	2,0	9,3	2,1	8,7	22,9	100,0

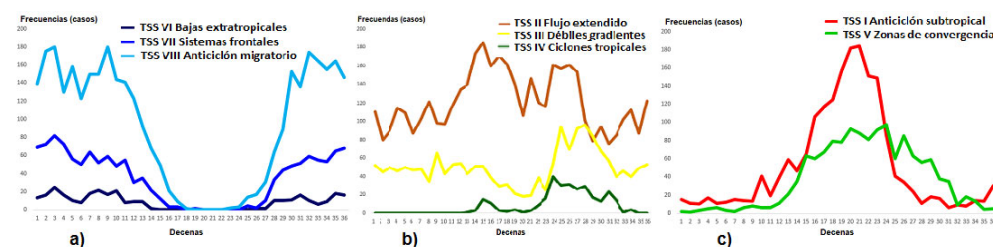


Figura 2. Marcha anual de los TSS para la mitad oriental de Cuba 1978-2017

máximo en la decena 9 (finales de marzo) y un pico más pronunciado entre la 25 y la 28 (septiembre e inicios de octubre), mientras, el TSS IV registra su valor modal de días con afectaciones por ciclones tropicales en la decena 24 (finales de agosto), aunque mantiene valores significativos de la 24 a la 28 (de finales de agosto a principios de octubre).

El TSS I, anticiclón subtropical oceánico es la situación sinóptica típica del verano en la mitad oriental de Cuba, comportamiento que se extiende a la mitad occidental (Lecha *et al.*, 2020), con máximos en las decenas 20 y 21 (segunda y tercera de julio). El TSS V, que recoge la presencia de vaguadas y ondas tropicales alcanza valores máximos muy cercanos entre las decenas 20 y la 24 (verano).

Marcha anual de la rapidez media del viento

Debido al interés específico de la investigación en el comportamiento de la rapidez media del viento para la escala temporal subestacional, en el análisis sinóptico-climatológico es utilizado como periodo de tiempo la decena.

Se presenta la marcha anual de la rapidez media decenal del viento para las cuatro estaciones de la costa norte de la mitad oriental de Cuba (Fig. 3). La utilización de las medias decenales hace evidente detalles del comportamiento de la variable que son borrados cuando se utilizan datos mensuales, como el pico de la RMV en la decena 19 debido al reforzamiento de la influencia del anticiclón subtropical oceánico (TSS I), que da inicio al periodo de mayor estabilidad del año para la RMV entre las decenas 19 y 23 (de julio a mediados de agosto), bajo la influencia predominante de ese mismo TSS. También, permite apreciar los momentos de valor mínimo de la RMV en la marcha anual, que corresponden con los periodos de transición estacionales, mayo-junio y septiembre-octubre, centrados en las decenas 16 (primera de junio) y 27 (tercera de septiembre) respectivamente, donde son predominantes la influencia del flujo anticiclónico extendido (TSS II) y las situaciones de débiles gradientes de presión atmosférica (TSS III), apareciendo con menor frecuencia los picos de ocurrencia del TSS IV (ciclones tropicales).

También, de forma general se observa un incremento de la RMV durante la temporada poco lluviosa del año (decena 30 finales de octubre hasta la 13 inicios de mayo) bajo la influencia predominante de la influencia del anticiclón continental migratorio (TSS VIII), con apariciones regulares de los sistemas frontales (TSS VII) y con menor frecuencia las afectaciones de bajas extratropicales (VI).

En su distribución espacial los valores máximos sostenidos de la RMV están marcados hacia el extremo oriental (Cabo Lucrecia y Punta del Maisí) de la región en estudio, dentro de la temporada poco lluviosa del año; mientras, los mínimos aparecen hacia

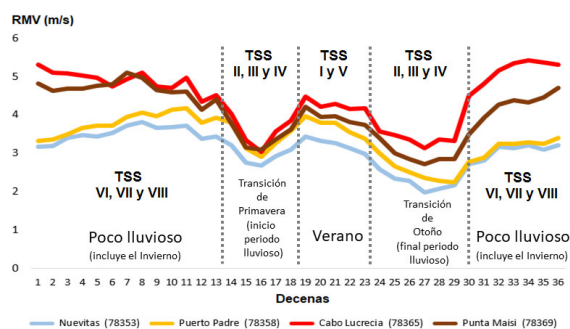


Figura 3. Marcha anual de la rapidez media decenal 1978-2017

el oeste (Nuevitas) en los dos periodos de transición estacionales del año, anotando como dato significativo, que en el periodo de transición primaveral (mayo-junio) los valores mínimos medios de la RMV son similares en todas las estaciones meteorológicas.

Variabilidad anual de la rapidez media del viento

La variabilidad de la rapidez media del viento se estudió mediante el cálculo del coeficiente de variación (Fig. 4).

En su marcha anual observamos que todas las estaciones mantienen valores mínimos de variación en periodos dominados por las situaciones anticiclónicas, creciendo su variación en los periodos de transición entre estaciones, principalmente en la transición del otoño (septiembre-octubre), donde Puerto Padre llega a alcanzar un valor de 1.1 en el coeficiente de variación; así como, que las estaciones del extremo oriente (Cabo Lucrecia y Punta de Maisí) mantienen los valores mínimos de variabilidad durante los periodos estables, apareciendo importantes diferencias en los periodos de inestabilidad donde crece el coeficiente de variación de Punta de Maisí.

Prueba de independencia estadística

Para establecer la existencia de asociación estadística entre las variables TSS y RMV se realizó la prueba de independencia entre variables nominales, el resultado de la aplicación del procedimiento de Tabla de Contingencia para cada una de las estaciones seleccionadas. Un resumen con los valores de Chi-cuadrado, su nivel de significación y condiciones empíricas sobre el recuento esperado impuestas para validar el contraste de hipótesis se relaciona a continuación (Tabla 5).

Los valores obtenidos de Chi-cuadrado de Pearson entre los TSS y RMV son superiores al valor crítico de su distribución tabulado, y su medida de significación estadística arroja una probabilidad de rechazo de la hipótesis nula, menor a 0.05, en todas las estaciones seleccionadas; lo que demuestra su significación estadística y la incompatibilidad de los datos con la hipótesis de independencia. Además, el por ciento de re-

cuento esperado y recuento mínimo esperado permiten considerar el contraste de hipótesis estadísticamente válido, por lo que se puede afirmar que las variables estudiadas están relacionadas.

El contraste de hipótesis es considerado estadísticamente válido (Hoel, 1972), pues solo en Nuevitas el recuento esperado de celdas menores que 5 supera el 20 %, siendo en todos los casos el valor mínimo esperado mayor que cero.

Posteriormente, fueron seleccionadas las relaciones TSS-RMV con frecuencias relativas ≥ 5.0 %, umbral considerado con representación climática para constituir grupos dentro del total de casos en el periodo de estudio (Barry y Carleton, 2001), cuyos resultados se presentan en el epígrafe siguiente.

Características de las relaciones estadísticas existentes entre los TSS y la RMV de estaciones seleccionadas en la costa norte de la mitad oriental de Cuba

Se establecieron 11 relaciones estadísticas TSS-RMV, que suman 33 casos con valores de frecuencias relativas igual o mayor a 5 %, teniendo en cuenta los ocho tipos de situaciones sinópticas y las cinco clases de rapidez media del viento en las cuatro estaciones seleccionadas.

Para su mejor comprensión el análisis de las relaciones estadísticas se presenta en tablas que agrupan las situaciones sinópticas influyentes sobre Cuba en: anticiclónicas, ciclónicas, ondulatorias-frontales y de débil gradiente, que contienen las frecuencias relativas obtenidas en las cuatro estaciones meteorológicas seleccionadas de oeste a este, es decir, de Nuevitas a Maisí, a partir de las cuales se pueden explicar comportamientos climáticos establecidos en la rapidez media del

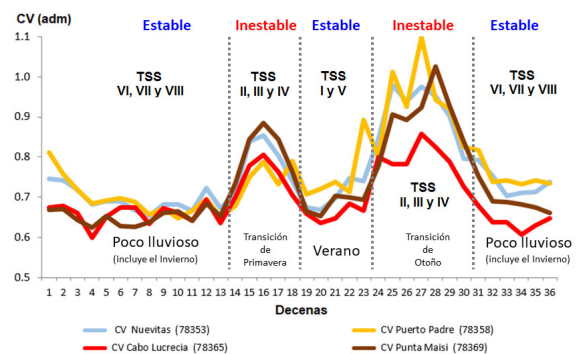


Figura 4. Marcha anual del coeficiente de variación decenal 1978-2017

viento a lo largo de la costa norte de la mitad oriental de Cuba.

Los grupos de TSS están ordenados de mayor a menor por la cantidad de relaciones establecidas.

Situaciones sinópticas anticiclónicas

Este grupo está compuesto por el TSS I anticiclón subtropical oceánico, TSS II flujo anticiclónico extendido y TSS VIII anticiclón continental migratorio (Fig. 5). Las situaciones sinópticas anticiclónicas (I, II y VIII) se determinan en el mapa por la posición del centro anticiclónico y la forma que adoptan las isobaras sobre toda Cuba, no sobre una u otra región. Los mapas típicos aquí presentados fueron extraídos del álbum de mapas elaborados y sus clasificaciones están corroboradas.

El TSS I influencia cercana del anticiclón subtropical oceánico logra establecer dos relaciones. La relación TSS I - RMV 1 que abarca toda la región, con valores de frecuencias de ocurrencia que disminuyen

Tabla 5. Resumen de la Prueba de Chi-cuadrado de Pearson entre TSS y RMV

Estación meteorológica	No de Estación	Valor de Chi-cuadrado de Pearson	Grados de libertad	Significación asintótica (bilateral)	Porcentaje celdas con recuento esperado < 5	Recuento mínimo esperado
Nuevitas	78353	1568.743	28	0.000	22.5	0.38
Puerto Padre	78358	1681.437	28	0.000	20.0	0.61
Cabo Lucrecia	78365	1525.770	28	0.000	0.0	13.74
Punta Maisí	78369	1394.908	28	0.000	5.0	3.41

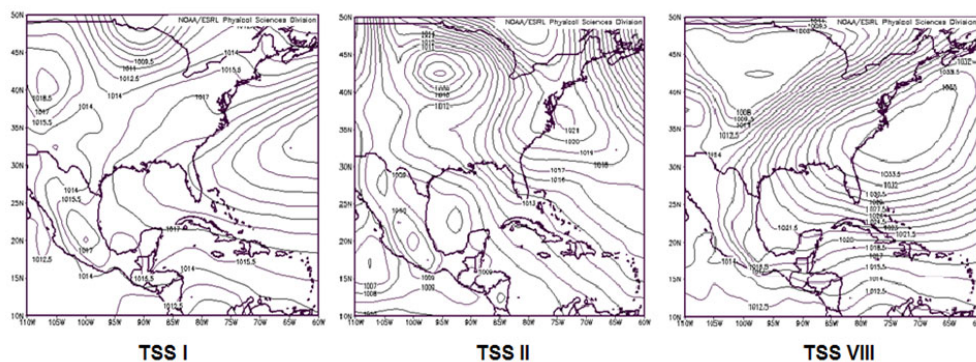


Figura 5. Mapas típicos de las situaciones anticiclónicas (TSS I, II y VIII)

de oeste a este y la TSS I - RMV 2 que aparece hacia el centro-este, aunque solo en Puerto Padre es ≥ 5.0 %, en Nuevitas alcanza el valor secundario de frecuencia con 4.6 % (Tabla 6).

Las relaciones de TSS II flujo anticiclónico oceánico extendido con RMV 1 y 2 se extienden por toda la región, mientras, con RMV 3 solo en el extremo oriental. La TSS II - RMV 1 presenta los valores de frecuencias máximas en las cuatro estaciones, con el máximo absoluto de 18.1 % en Nuevitas. Mientras, la relación TSS II - RMV 2 logra valores máximos en el centro-este, Puerto Padre 10.5 % y Nuevitas 9.2 %. Por su parte, la TSS II - RMV 3 se expresa con 6.3 % en ambas estaciones del oriente, Cabo Lucrecia y Punta del Maisí.

La influencia del anticiclón continental migratorio (TSS VIII) también logra establecer relaciones con la RMV 1, 2 y 3, sumando ocho casos en la región de estudio. La TSS VIII - RMV 1 alcanza las cuatro estaciones con un máximo de 9.7 % en Nuevitas, disminuyendo la frecuencia en el resto de las estaciones hacia el oriente.

La relación TSS VIII - RMV 2 se logra en tres estaciones, con máximo en Nuevitas de 8.9 %, sin embargo, es significativo el comportamiento de Cabo Lucrecia para este tipo de situación sinóptica, con un valor de 3.7 % en la RMV 2, pero con frecuencias superiores de 4.4 % en la RMV 3 y de 4.0 % en la RMV 4. La relación TSS VIII - RMV 3 queda expresada en la estación del extremo este de la región, Punta de Maisí con 5.8 %.

Las relaciones obtenidas entre el grupo de TSS anticiclónicas y la RMV evidencian el predominio de estos TSS en la generación de condiciones meteorológicas con valores de la rapidez media del viento aprovechables desde el punto de vista energético, especialmente la influencia del flujo oceánico extendido (TSS II) que logra 10 casos con frecuencias ≥ 5.9 %, inclu-

yendo seis casos en las clases RMV 2 (3.5 - 5.4 m/s) y RMV 3 (5.5 - 7.4 m/s), mientras, el anticiclón continental migratorio (TSS VIII) acumula ocho casos con $fr \geq 5.8$ %, de ellos cuatro en las clases RMV 2 y 3. La influencia del anticiclón subtropical oceánico (TSS I), que aparece preponderantemente durante el verano, el periodo más estable de la RMV en el año, solo logra cinco casos con $fr \geq 5.1$ %, de ellos uno en la RMV 2.

Situaciones sinópticas ondulatorias y frontales

Las zonas de convergencia, ondas tropicales y hondonadas del oeste se agrupan en el TSS V, mientras, los frentes fríos clásicos, revesinos, casi-estacionarios y en disipación están contenidos en el TSS VII. (Fig. 6).

Las ondas tropicales, hondonadas y zonas de convergencia (TSS V) se clasifican cuando en el mapa de superficie el eje de mínima presión atmosférica, que marca un cambio de cuadrante en las isobaras se extiende la mayor parte del día sobre la región de interés. De mayor complejidad es la clasificación de los sistemas frontales, porque estos sistemas baroclínicos son áreas generadoras de gran inestabilidad atmosférica y se transforman rápidamente al moverse sobre el país, por lo que pueden afectar con subtipos diferentes a sus mitades occidental y oriental.

La relación TSS V - RMV 1 se presenta en las cuatro estaciones, con su valor máximo de 6.8 % en Nuevitas (Tabla 7). Mientras, el TSS VII logra relaciones con $fr \geq 5.0$ % solo con la RMV 1 en el centro-oriente de Cuba, Nuevitas y Puerto Padre, con 5.8 y 6.1 % respectivamente, lo que puede estar evidenciando una característica subregional de un comportamiento ya establecido en el Catálogo de TSS (Soler *et al.*, 2020), el incremento en la frecuencia de días con frentes en proceso de disipación sobre la mitad oriental del país.

Tabla 6. Frecuencias relativas (%) para TSS anticiclónicos

TSS	RMV (m/s)	Nuevitas (78353)	Puerto Padre (78358)	Cabo Lucrecia (78365)	Punta Maisí (78369)
TSS I	5 (≥ 9.5)	0.0	0.0	0.4	0.1
	4 (7.5 - 9.4)	0.1	0.2	1.5	1.0
	3 (5.5 - 7.4)	1.5	1.9	2.5	2.9
	2 (3.5 - 5.4)	4.6	5.1	2.6	3.4
	1 (0.5 - 3.4)	6.6	5.5	5.8	5.4
TSS II	5 (≥ 9.5)	0.0	0.0	1.0	0.3
	4 (7.5 - 9.4)	0.2	0.5	3.2	1.8
	3 (5.5 - 7.4)	2.4	3.7	6.3	6.3
	2 (3.5 - 5.4)	9.2	10.5	5.9	8.1
	1 (0.5 - 3.4)	18.1	15.1	13.5	13.2
TSS VIII	5 (≥ 9.5)	0.1	0.1	2.7	0.6
	4 (7.5 - 9.4)	0.6	0.7	4.0	3.0
	3 (5.5 - 7.4)	3.6	4.4	4.4	5.8
	2 (3.5 - 5.4)	8.9	8.3	3.7	6.6
	1 (0.5 - 3.4)	9.7	9.5	8.2	6.7

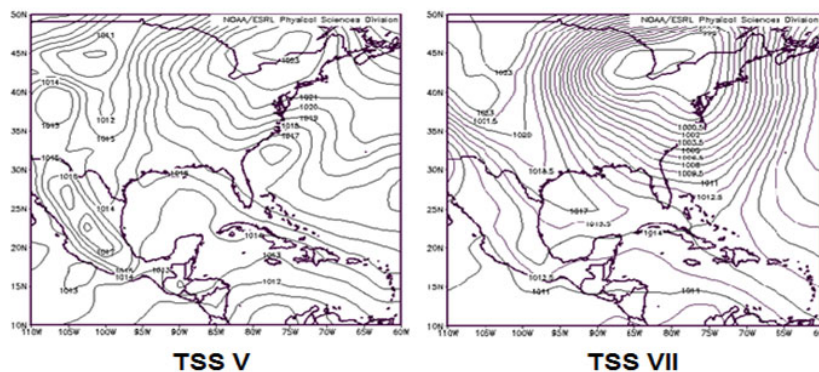


Figura 6. Mapas típicos de las situaciones ondulatorias y frontales (TSS V y VII)

Tabla 7. Frecuencias relativas (%) para TSS ondulatorios y frontales

TSS	RMV (m/s)	Nuevitas (78353)	Puerto Padre (78358)	Cabo Lucrecia (78365)	Punta Maisí (78369)
TSS V	5 (≥ 9.5)	0.0	0.0	0.1	0.0
	4 (7.5 - 9.4)	0.0	0.0	0.5	0.1
	3 (5.5 - 7.4)	0.4	0.6	1.2	1.2
	2 (3.5 - 5.4)	2.1	2.3	2.0	2.2
	1 (0.5 - 3.4)	6.8	6.3	5.5	5.8
TSS VII	5 (≥ 9.5)	0.0	0.0	0.3	0.1
	4 (7.5 - 9.4)	0.0	0.1	0.5	0.4
	3 (5.5 - 7.4)	0.6	0.5	1.3	1.3
	2 (3.5 - 5.4)	2.4	2.0	2.0	2.7
	1 (0.5 - 3.4)	5.8	6.1	4.7	4.2

Situaciones sinópticas de débiles gradientes

Las situaciones de débiles gradientes de presión atmosférica pertenecientes al TSS III (Fig. 7) se determinan por la imposibilidad de establecer la dirección de circulación del viento sobre el área geográfica, teniendo en cuenta, la ausencia de centros dinámicos y valores bajos de la presión atmosférica.

Con similar comportamiento al TSS V, el TSS III supera el umbral de ≥ 5.0 % en las cuatro estaciones estudiadas, con valores máximos en el centro-oriente, Nuevitas y Puerto Padre con 11.1 y 10.9 % respectivamente y menores en el extremo oriente (Tabla 8).

Sin embargo, las frecuencias para las restantes clases de la RMV presentan valores muy pequeños, indicando la baja frecuencia de días con RMV mayor a 3.4 m/s, lo que demuestra que la debilidad del viento es la característica fundamental de este tipo de situación sinóptica (Soler *et al.*, 2020).

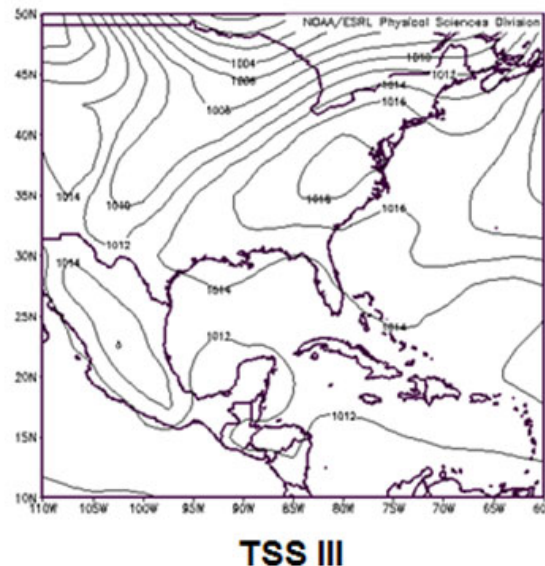


Figura 7. Mapa típico de la situación de débiles gradientes de presión atmosférica (TSS III)

Situaciones sinópticas ciclónicas

Está formado por el TSS IV con los ciclones tropicales (bajas, depresiones, tormentas, huracanes) y el TSS VI con las bajas extratropicales (en su sector cálido y sector frío, con pre-frontal y sin prefrontal).

La influencia del ciclón tropical (IV) se determinó en el mapa cuando el área geográfica de interés se encuentra dentro de la circulación cerrada de las

isobaras del ciclón o bajo la influencia de isobaras abiertas con curvatura ciclónica en su trayectoria de desplazamiento. Mientras, la clasificación de las bajas extratropicales (TSS VI) se realizó atendiendo al área de influencia del sector cálido o frío de la baja, así como, al área que abarca la última isobara cerrada del sistema (Fig.8).

Tabla 8. Frecuencias relativas (%) para TSS débiles gradientes

TSS	RMV (m/s)	Nuevitas (78353)	Puerto Padre (78358)	Cabo Lucrecia (78365)	Punta Maisí (78369)
TSS III	5 (≥ 9.5)	0.0	0.0	0.1	0.0
	4 (7.5 - 9.4)	0.0	0.0	0.2	0.1
	3 (5.5 - 7.4)	0.1	0.1	1.0	0.8
	2 (3.5 - 5.4)	1.1	1.3	2.2	2.5
	1 (0.5 - 3.4)	11.1	10.9	8.9	9.2

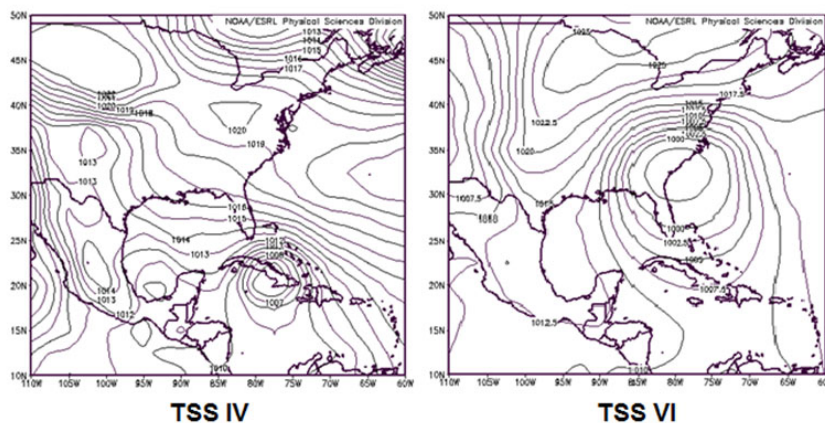


Figura 8. Mapas típicos de las situaciones ciclónicas tropicales y extratropicales (TSS IV y VI)

Tabla 9. Frecuencias relativas (%) para TSS ciclónicos

TSS	RMV (m/s)	Nuevitas (78353)	Puerto Padre (78358)	Cabo Lucrecia (78365)	Punta Maisí (78369)
TSS IV	5 (≥ 9.5)	0.0	0.0	0.1	0.1
	4 (7.5 - 9.4)	0.0	0.1	0.1	0.2
	3 (5.5 - 7.4)	0.1	0.2	0.2	0.2
	2 (3.5 - 5.4)	0.5	0.5	0.4	0.4
	1 (0.5 - 3.4)	1.3	1.2	1.1	1.1
TSS VI	5 (≥ 9.5)	0.0	0.0	0.0	0.0
	4 (7.5 - 9.4)	0.0	0.0	0.0	0.0
	3 (5.5 - 7.4)	0.0	0.0	0.1	0.2
	2 (3.5 - 5.4)	0.2	0.3	0.4	0.6
	1 (0.5 - 3.4)	1.8	1.8	1.5	1.3

Las situaciones ciclónicas, tanto tropicales como extratropicales, que son conocidas por sus fenómenos meteorológicos peligrosos asociados, es el único grupo en el que no se logra ninguna relación estadística entre TSS y RMV (Tabla 9), debido a la baja frecuencia de ocurrencia de los procesos atmosféricos que lo componen, no obstante, a los altos valores de rapidez del viento que se registran durante su influencia.

Es de interés que los valores máximos corresponden a la estación de Nuevitas para TSS IV - RMV 1 de 1.3 % y para TSS VI - RMV 1 de 1.8 % en Nuevitas y Puerto Padre, lo que está en correspondencia con la conocida disminución histórica de la influencia de ambos tipos de situaciones sinópticas hacia el extremo oriental de Cuba, especialmente los ciclones tropicales (Pérez, 2013), no obstante, las recientes afectaciones ocurridas en la década 2011-2020.

Un resumen gráfico de las relaciones entre los TSS y la RMV (Fig. 9), muestra las principales características del comportamiento observado de la RMV en las localidades estudiadas, demostrando el predominio de las frecuencias de ocurrencia de la RMV 1 en las cuatro estaciones meteorológicas bajo la influencia de todos los TSS, así como, que el flujo anticiclónico oceánico extendido (TSS II) es la situación sinóptica predominante en la mitad oriental de Cuba, y presenta relaciones con frecuencias máximas para las clases de la RMV 1, 2 y 3; aunque, como se ha mencionado anteriormente los valores elevados de las clases de la RMV 4 y 5 ocurren más frecuentemente bajo la influencia del anticiclón continental migratorio (TSS VIII), principalmente en las estaciones meteorológicas del extremo oriental, Cabo Lucrecia y Punta de Maisí.

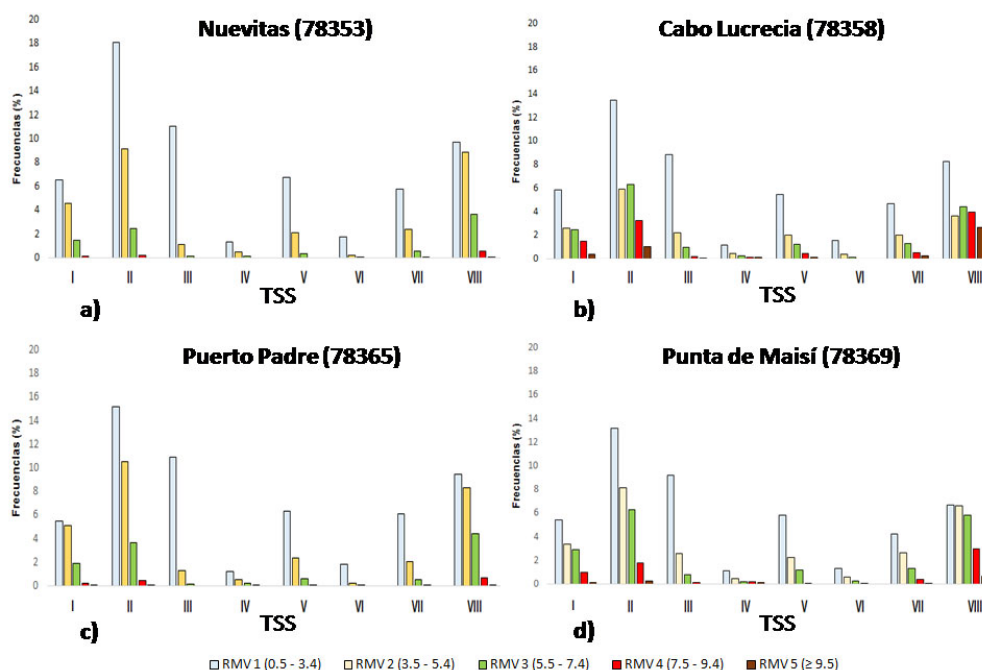


Figura 9. Frecuencias relativas de la RMV para cada TSS en las estaciones meteorológicas localizadas en la costa norte de la mitad oriental de Cuba 1978-2017

CONCLUSIONES

Se definen cinco categorías para la rapidez media del viento y fueron calculadas sus frecuencias relativas en cada estación meteorológica, que muestran una estructura coherente sobre la región climática, en la medida que aumenta la rapidez media del viento se aprecia una disminución de los casos, que se va ralentizando de oeste a este dentro de la región de estudio.

La influencia del flujo anticiclónico extendido (TSS II) es la situación sinóptica predominante en la mitad oriental de Cuba, y presenta relaciones con frecuencias máximas para las clases de la RMV 1, 2 y 3; aunque, los valores elevados de la RMV 4 y 5 ocurren más frecuentemente bajo la influencia del anticiclón continental migratorio (TSS VIII), principalmente en las estaciones del extremo oriental, Cabo Lucrecia y Punta de Maisí.

La marcha anual de la rapidez media del viento para las estaciones meteorológicas seleccionadas de Cuba, evidencia un incremento de la rapidez media del viento hacia el oriente de Cuba, marcado por un comportamiento de cuatro estaciones: una temporada de noviembre a abril (poco lluviosa) con los valores máximos de RMV, el verano (julio-agosto) que se considera el periodo más estable para la RMV y dos periodos de transición entre las anteriores, mayo-junio y septiembre-octubre, marcados por los valores mínimos de RMV.

El coeficiente de variación de la rapidez media del viento presenta sus máximos en los periodos de mini-

mos valores medios, especialmente en el periodo centrado en la decena 27 del año (tercera de septiembre), donde se alcanzan valores superiores a 0,9 en todas las estaciones, excepto Cabo Lucrecia.

Se establecen 11 relaciones estadísticas, que suman 33 casos con valor de frecuencia igual o mayor a 5 %, entre los tipos de situaciones sinópticas (TSS) y las clases de la rapidez media del viento (RMV 1, 2 y 3) en las estaciones meteorológicas seleccionadas, que explican comportamientos climáticos predominantes de la RMV en la costa norte de la mitad oriental de Cuba.

REFERENCIAS

- Barry, R. G. y Perry, A. H. (1973). *Synoptic Climatology. Methods and Applications*. Methuen and Co, 572 pp.
- Barry, R. y Carleton, A. (2001). *Synoptic and Dynamic Climatology*. Methuen and Co, 547-592 pp.
- Boytel, F. (1972). *Geografía Eólica de Oriente*. Ed. Ciencia y Técnica, 251 pp.
- Carnesoltas, M. (1986). *La circulación local de la brisa en Cuba*. Tesis de Candidato a Doctor en Ciencias Físico - Matemáticas, Instituto de Meteorología, 96 pp.
- Carrasco, M., Roque A. y Carnesolta, M. (2011). "Caracterización de la brisa de mar. Sus efectos en el aprovechamiento de la energía eólica. Estudio de dos casos". *Revista Cubana de Meteorología*,

- 17(1), 27-45 pp, ISSN: 0864-151X, <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/99>
- Hoel, P. (1972). *Introducción a la Estadística Matemática*. Edición Revolucionaria, Instituto Cubano del Libro, 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. B., Paz, L. y Lapinel, B. (1994). *El clima de Cuba*. Editorial Academia, 186 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*, 26(2), 1-18 pp. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/507>
- León, D. y Álvarez, L. (2011). “Estudio de la marcha interanual del viento con vista a la prospección eólica en tres lugares diferentes de Cuba”. *VI Congreso Cubana de Meteorología*, 17 pp.
- López, R., García, E., Collazo, A., Expósito, P. J. y Perdomo, A. J. (2016). “Composición iónica de la lluvia y tipos de situaciones sinópticas en Cuba: Efectos en la contaminación atmosférica”. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 22, No 2, 141-149 pp.
- Perdigón, J., Rodríguez, G. y Roque, A. (2012). “Condiciones sinópticas más favorables para el aprovechamiento de la energía eólica en Cuba. Período poco lluvioso”. *Revista Cubana de Meteorología*, 18(2), 243-258, ISSN: 2664-0880. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/19/0>
- Pérez, R. (2013). *Cronología de los Huracanes de Cuba*. Agencia de Medio Ambiente, Instituto de Meteorología, 7 pp.
- Rego, J. S. (1989). *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. Mapas de campo de presión y viento para enero y julio. Edit. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba - Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. RHEA, VI.2.3 pp.
- Rodríguez, D.; Carrasco, M. y Roque, A. (2011). Representación espacial del potencial eólico en el municipio Los Palacios. VI Congreso Cubana de Meteorología, 14 pp.
- Roque, A.; Wei, Y., Alonso, Y., Calzadilla, A., Borrajero, I., Bezanilla, A., González, O., Martínez, Y. y Chardon, L. (2014). *Atlas Eólico de Cuba*. Informe Científico Técnico, Instituto de Meteorología, 48 pp.
- Soler, E., Rivero, R., Rosales, Y. y Izquierdo, J. (2013). “Estudio de prospección eólica con fines energéticos en la Isla de la Juventud”. *Revista Eco Solar*, 44(2), 1-7 pp. <http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/ecosolar/revista44>
- Soler, E., Sánchez, L. y Borrego, R. (2015). “Caracterización del viento para evaluar su potencial energético en la Isla de la Juventud”. *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio, julio-diciembre, 2015, Vol.16, No.2*, 164-175 pp. <http://www.iga.cu/publicaciones/revista/assets/04.caracterizacion-viento.i.j.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.
- Soltura, R., Vázquez, R. J., Mon, S. I. y Rodríguez, G. (2002). Aplicaciones del bombeo eólico a la ganadería en Cuba. *Anais de Congressos Brasileiros de Meteorología*, 1980-2006, 5 pp. <http://www.cbmet.com/cbm-files/13-b952196203bc4efe537bce7007de146a.pdf>
- 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):1-18pp. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar21/HTML/articulo06.htm>
- Vitart, F. y Robertson A. (2018). “The sub-seasonal to seasonal prediction project (S2S) and the prediction of extreme events”. *Climatic and Atmospheric Science*, 1:3, 1-7 pp. <http://www.nature.com/npjclimatsci>
- Yarnal, B. y Draves, J.D. (1993). “A synoptic climatology of stream flow and acidity”. *Climate Research*, Vol. 2, 193-202 pp.

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

Contribución de los autores: Gestión del proyecto, investigación, análisis formal, y redacción-revisión del artículo: **Edgardo Soler Torres**. Investigación, análisis formal, primera redacción del artículo: **Luis M. Sánchez Suárez**. Conservación de datos, investigación, visualización y primera redacción del artículo: **Yuslandis Verdecia Naranjo**. Conceptualización, metodología, investigación, redacción-revisión del artículo: **Luis B. Lecha Estela**.

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