

CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA NATURAL DE LA RAPIDEZ Y EL RUMBO DEL VIENTO SOBRE LA ISLA DE CUBA.

Rosendo Álvarez Morales, Lourdes Álvarez Escudero, Laura Aenlle Ferro, Dulce O. Pérez Betancourt.

Instituto de Meteorología, Cuba.

E – mail: rosendo@met.inf.cu

1. INTRODUCCIÓN.

El viento es una de las variables mas utilizadas en meteorología ya que puede realizar tareas beneficiosas y perjudiciales. Las beneficiosas están relacionadas con el refrescamiento del ambiente, y las perjudiciales con los vientos fuertes que acompañan a las tormentas y huracanes y los nulos que provocan la alta concentración de contaminantes alrededor de una fuente emisora. También los vientos son el principal agente en el transporte de contaminantes en la atmósfera.

Se han realizado numerosos estudios del viento en Cuba. Así, Álvarez (1983) elaboró un modelo a partir de una tabla de doble entrada que realizaba la conversión del vector viento en un escalar calculado en forma de matriz y que llamó “carta característica”, método que después se propagó a cualquier par de variables.

Más tarde Álvarez, R. (1984) definió lo que se entendería por permanencia del viento y realizó a partir de esto análisis de permanencia y mas tarde de oscilaciones contiguas de la rapidez y el rumbo del viento (Álvarez, L. (1996). Soltura et. Al (1995) elaboraron, a partir de datos de 10 años en las estaciones, el Atlas Eólico – Energético de Cuba y así se han elaborado otros muchos trabajos acerca de esta variable.

Sin embargo, hasta donde conocen los autores solo se han realizado estudios de la tendencia del viento en Finlandia, donde se construyó el mapa de tendencias del viento para Europa, pero sin calcular su variabilidad.

En el presente Capítulo pretendemos realizar un análisis de la tendencia del viento y su variabilidad a lo largo de Cuba con vistas a su posible introducción en los problemas de confort humano y animal, el transporte de contaminantes y las afectaciones o beneficios que este pueda causar en la agricultura. Se analizará el comportamiento de la rapidez y el rumbo para cada estación por separado y a posteriori a lo largo de la Isla.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

Para acometer el presente trabajo se contó con la información proveniente de 14 estaciones meteorológicas

(Fig. 1), de las cuales 12 trabajaron durante 24 horas (8 observaciones) y 2 durante 12 horas (5 observaciones), todas con observaciones trihorarias de las series 1970 – 2001 contenidas en la base de datos GRANMET (1 238 080 observaciones) (Álvarez, L. et. al 2003). Esta data fue procesada en frecuencias y calculada su tendencia por la metodología elaborada por Álvarez R. (2000) y a posteriori calculada la variabilidad natural por la metodología que se explica en el trabajo.

o

Fig. 1 Distribución espacial de las estaciones asentadas en la base.

3. DESARROLLO

A modo de ejemplo presentaremos los resultados obtenidos para tres estaciones meteorológicas: Cabo San Antonio en el extremo occidental, Santa Clara en la región central y Punta de Maisí en el extremo oriental.

3.1 Rapidez del viento.

3.1.1. Análisis de la frecuencia y tendencia de la rapidez del viento.

A continuación analizaremos el comportamiento de la frecuencia y la tendencia en 3 estaciones de nuestro país.

Cabo San Antonio.

Fig. 2. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Rapidez del Viento para la estación meteorológica de Cabo San Antonio.

En esta estación (Figura 2) el máximo de frecuencias (moda) se ubica en 1 m/s con un valor bastante mayor que en el resto de las clases. Presenta una distribución del tipo J, aunque aparece un pequeño máximo secundario en 5 m/s. La tendencia presenta valores positivos en todas las clases excepto en 8 m/s, aunque a partir de 6 m/s los valores son pequeños. Debemos notar que de acuerdo con la tendencia los valores 1 m/s, 2 m/s y 4 m/s deben aumentar con mayor rapidez que el resto. O sea, los valores bajos de la rapidez del viento tenderán a aumentar con mayor rapidez que el resto de los valores. Como es lógico los incrementos se realizarán a costa de las calmas.

Santa Clara.

Fig. 3. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Rapidez del Viento para la estación meteorológica de Santa Clara.

Como en los casos anteriores en esta estación (Figura 3) la frecuencia de 1 m/s se presenta como la mayor con valores bastante distantes de los demás en una distribución en forma de J. En 5 m/s aparece un máximo secundario de frecuencias mientras a partir de 7 m/s los valores son pequeños. La tendencia presenta altos valores positivos en 1 m/s con un máximo secundario en 5 m/s. Aquí el mínimo negativo se ubica en 4 m/s acompañado de 3 m/s. A partir de 6 m/s la tendencia presenta valores positivos muy pequeños. Aquí tendremos que los valores muy bajos de la rapidez crecerán a expensas de los valores de 3, 4 m/s.

Maisí.

La curva de frecuencias en esta estación (Figura 4) presenta forma irregular (la mayor irregularidad de todas) con 3 máximos bastante altos en 1 m/s (absoluto) y 3 y 5 m/s (relativo). La diferencia entre los valores de frecuencia $1 \text{ m/s} \leq f \leq 6 \text{ m/s}$ y $7 \text{ m/s} \leq f \leq 11 \text{ m/s}$ es pronunciada. La tendencia presenta excepcionalmente valores negativos en 1 m/s. Aquí sólo se presentan valores positivos de la tendencia en 2, 3, 5, 6 m/s con los restantes negativos, con mínimos en 4 m/s y 8 m/s. Aquí los vientos tenderán a aumentar su rapidez entre 1 y 6 m/s con excepción de 4 m/s

Fig. 4. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Rapidez del Viento para la estación meteorológica de Maisí.

3.1.1 Rango de la tendencia de la rapidez del viento.

Para conocer cuanto varía la tendencia a lo largo de la Isla miremos a la Figura 5. En ella podemos ver que aunque se alcanzan valores relativamente grandes, hay estaciones que presentan un cambio pequeño como son Las Tunas y Maisí seguidas de Camagüey, Puerto Padre y Paso Real. Analizando la Figura 4 como un todo podemos apreciar que el rango de la tendencia es más amplio en el occidente de la Isla, se estrecha un poco al centro (Caibarién, Camagüey) y alcanza sus valores mínimos en la región extremo oriental.

Podemos pensar que esta amplitud del rango en la región occidental está relacionada con la entrada en la misma de frentes fríos con vientos muy variables y que los mismos casi nunca llegan a afectar la región extremo oriental, manteniendo en ella un régimen más estacionario.

Fig. 5 Rango de la tendencia de la Rapidez del Viento a lo largo de la Isla de Cuba.

3.1.2 Norma de la tendencia de la rapidez del viento.

Dado que los valores del rango de la tendencia para la rapidez del viento oscilan entre valores muy grandes (entre 0.0544 y 0.0031) se decidió normalizar el espacio con base 0.0031%. Esta normalización a lo largo de Cuba de la tendencia de la rapidez del viento puede verse en la Figura 6. En ella notamos que su mayor valor se presenta en la estación de San Juan y Martínez, repitiendo los máximos en Casablanca, Santa Clara, Cabo Cruz y Jucarito, y su mínimo en Las Tunas repitiéndose en Paso Real de San Diego, Cienfuegos y Camagüey.

Fig. 6 Normalización de la tendencia para las 14 estaciones analizadas.

Podemos señalar que eliminando San Juan y Martínez la norma se comporta como una función oscilante a lo largo de Cuba, para la rapidez del viento.

3.1.3 Tendencia Neta de la rapidez del viento.

Si resumimos los valores de la tendencia en cada estación sumando algebraicamente los valores de todas las clases y hallando su promedio tendremos la tendencia neta en la estación de la rapidez del viento. La Figura 7 nos muestra el cambio de esta tendencia neta desde occidente hacia el oriente de la Isla de Cuba. En ella podemos ver que se presenta positiva en 7 estaciones: Cabo San Antonio, San Juan y Martínez, Paso Real de San Diego, Santa Clara, Camagüey, Jucarito y Puerto Padre, mientras que se presenta negativa en las otras 7 estaciones: Casablanca, Cienfuegos, Caibarién, Cabo Cruz, Manzanillo, Las Tunas y Maisí. De las 7 positivas dos son costeras, mientras de las 7 negativas 6 son costeras. Promediando sobre las 14 estaciones tendremos una tendencia neta para Cuba de -0.0001% y si eliminamos las estaciones de Manzanillo y Jucarito del proceso obtendremos una tendencia neta para Cuba de 0.0002% respecto a la rapidez del viento.

Fig. 7. Cambio de la tendencia de la Rapidez del Viento a lo largo de la Isla de Cuba.

3.2 Rumbo del Viento.

3.2.1 Análisis de la frecuencia y tendencia del rumbo del viento.

Cabo San Antonio.

Fig. 8. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia del Rumbo del Viento para la estación meteorológica de Cabo San Antonio.

En la Figura 8 podemos ver que los rumbos más frecuentes se agrupan en el primero y segundo cuadrantes (entre el N y el S) con máximos de ocurrencia en el NE y el E donde ocurre el máximo absoluto. La tendencia tiene una distribución similar con valores positivos en el NNE y el E y un poco menores aunque positivo en el NE. Ya a partir del SE la tendencia toma valores pequeños oscilando alrededor de cero.

Santa Clara.

La distribución de frecuencias presenta una distribución cuasi – gaussiana asimétrica con la moda en el rumbo E (Figura 9) y valores pequeños desde el SSE hasta el NNW. La tendencia siempre es positiva indicativo de una disminución de las calmas (rumbo nulo), con máximos en el NE (absoluto) y el E (relativo). Es de destacar que salvo la ubicación del máximo absoluto la distribución de la tendencia es similar a la distribución de frecuencias para la estación.

Fig. 9 Comportamiento de la frecuencia y la tendencia del Rumbo del Viento para la estación meteorológica de Santa Clara.

Maisí.

Aquí se presenta también una forma de distribución del tipo cuasi – gaussiana asimétrica (Figura 10) con su máximo en el rumbo E valor que cae rápidamente hacia ambos lados con valores altos en el ENE y el NE y valores bajos a partir del SSE y hasta el NNW aunque presenta un valor algo mayor en el rumbo S. La tendencia presenta dos máximos positivos en el NE y el ESE y un mínimo negativo en el E. A partir del SE y hasta el NNW los valores de tendencia son muy pequeños.

Fig. 10. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia del Rumbo del Viento para la estación meteorológica de Maisí.

3.2.2 Signo de la tendencia para cada rumbo y estación.

Con el fin de conocer la tendencia a aumentar o disminuir para cada rumbo y cada estación se elaboró la Tabla 1 como una tabla de doble entrada con los rumbos en la línea y las estaciones en la columna, representando por el símbolo “+” las coincidencias positivas, o sea, aumento de tendencia neta positiva en la estación, y con el signo “-” disminución de la tendencia neta en la estación.

La Figura 11 es una representación esquemática de la distribución de signos de la tendencia donde para diferenciar se han sombreado los valores de la tendencia positivos. En ella podemos ver que en las primeras tres estaciones mayorean los casos positivos, a continuación una estación con casi la totalidad negativa, dos con mayoría positiva (una de ellas para todos los rumbos), otra línea mayormente negativa, una línea 50% positiva, dos mayormente positivas, una 50% positiva, dos mayormente positivas y la final 50% positiva.

Aunque claramente las opciones positivas son mayores que las negativas, eso no implica que la tendencia resultante sobre Cuba para los rumbos del viento sea positiva, ya que aquí solo hemos considerado el signo y no la magnitud. En el cálculo de la variabilidad que abordaremos en el capítulo siguiente tendremos en cuenta el signo y la magnitud.

Tabla 1 Signo de la tendencia neta para cada uno de los rumbos del viento en las 14 estaciones estudiadas.

Estaciones	N	N	N	E	E	E	S	S	S	S	S	W	W	W	N	N
		N	E	N		S	E	S		S	W	S		N	W	N
		E		E		E		E		W		W		W		W
Cabo San Antonio	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-

San Juan y Martínez	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-
Paso R. de San Diego	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+
Casablanca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Cienfuegos	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-
Santa Clara	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Caibarién	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Camagüey	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+
Cabo Cruz	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Manzanillo	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+
Las Tunas	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-
Jucarito	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+
Puerto Padre	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Maisí	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+

Rumbos

N E E S S W W N
N N N S S S S S S N N N
N E E E E E E E S W W W W W W W

Cabo San Antonio	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-
San Juan y Martínez	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-
Paso Real de San Diego	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+
Casablanca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Cienfuegos	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-
Santa Clara	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Caibarién	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Camagüey	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+
Cabo Cruz	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Manzanillo	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+

Las Tunas	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-
Jucarito	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+
Puerto Padre	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Maisí	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+

Fig. 11 Mosaico representativo de los signos de la tendencia de los rumbos del viento en las 14 estaciones estudiadas.

4. CONCLUSIONES.

- ? Los valores de los rangos de la tendencia de la rapidez del viento oscilan entre valores muy grandes (entre 0.0544 y 0.0031) comparativamente con las demás variables utilizadas.
- ? Si normalizamos los valores hallados para la tendencia se puede señalar que eliminando la estación de San Juan y Martínez la norma se comporta como una función oscilante a lo largo de Cuba, para la rapidez del viento.
- ? Promediando sobre 12 estaciones que cuentan con observaciones nocturnas tendremos una tendencia neta para Cuba de 0.0002% respecto a la rapidez del viento.
- ? El rango de la tendencia de la rapidez del viento es mas amplio en el occidente de la Isla, se estrecha un poco en el centro y alcanza sus valores mínimos en la región extremo oriental.
- ? Los rumbos del viento presentan gran dispersión en los valores de la tendencia. Así en las tres primeras estaciones (de occidente hacia el oriente) mayorean los casos positivos, a continuación una estación con casi la totalidad de los rumbos con tendencia negativa, dos mas con mayoría positiva (una de ellas para todos los rumbos), otra mayormente negativa, una 50% positiva, dos mayormente positivas, una 50% positiva, 2 mayormente positivas y la final 50% positiva.
- ? La variabilidad natural de la rapidez del viento para Cuba es de 0.005 m/s por año para su distribución de frecuencias.
- ? Dada la característica circular del rumbo del viento no puede determinarse un valor promedio para la Isla, quedando explicado en el texto como determinar la variabilidad para cada rumbo y para cada estación meteorológica.

BIBLIOGRAFÍA

- ? **Álvarez, R.** 1983: Nuevo método de empleo de los datos de viento para su aplicación a los problemas de la contaminación del aire. Ciencias de la tierra y el Espacio. 139- 241 pp.
- ? **Álvarez, R.** 1984: Nueva metodología para el estudio de los cambios en la dirección del viento. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 8: 81-92.
- ? **Álvarez L.; R. Álvarez,** 1996: Aplicación del método de oscilaciones por observaciones contiguas al estudio del viento. En Memorias VII Congreso Argentino Latinoamericano e Ibérico de Meteorología.

Buenos Aires, Argentina, septiembre 1996, pp. 395 - 396.

- ? **Álvarez, R.** 2000: Nueva metodología para el estudio de la variabilidad climática. Revista Cubana de Meteorología. Vol. 7, Nº. 1 pp. 55 – 61.
- ? **Álvarez L., R. Álvarez, L. Aenlle, I. Borrajero, R. Báez** 2003: Base de datos GranMet. Memorias del X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, II Simposium Internacional de Ciclones Tropicales "Benito Viñes in Memoriam" y II Congreso Cubano de Meteorología. Ciudad de la Habana, del 3 al 7 de marzo del 2003, publicación electrónica, ISBN 959-270-014-1, (E:\Paginas\Articulos\Cubanos(PDF)\Lourdes_Alvarez2.pdf).
- ? **Soltura, R.** 1995: Atlas eólico de Cuba. Informe Científico del Instituto de Meteorología. ACC. 200 pp.