

# MARCHA DIARIA MÁS PROBABLE Y TENDENCIA DE LA COBERTURA NUBOSA A LO LARGO Y ANCHO SOBRE CUBA.

*Dulce O. Pérez Betancourt, Rosendo Álvarez Morales y Laura Aenlle Ferro.*

Instituto de Meteorología. Cuba

Teléfonos: 8670721 al 24, exts. 248,249,250, 288

e-mail: dperez@met.inf.cu

## RESUMEN.

Se realiza un estudio del comportamiento de la cobertura nubosa sobre Cuba por ser el indicador fundamental en la producción de las precipitaciones, además reviste gran importancia en el transporte de la radiación, por la utilización de ésta como recurso energético y su influencia en la variabilidad climática, la economía y la salud humana.

Los cambios en la cobertura nubosa (CN) contra horas del día fueron analizados mediante una línea imaginaria que se desplaza de oeste a este sobre la Isla de Cuba, tomando como base las series de datos de 14 estaciones de superficie, cada una con una serie de observaciones trihorarias en el período 1970 - 1999.

La marcha diaria más probable de la cobertura nubosa indica un aumento de la nubosidad en el transcurso de día, con el máximo de cielo cubierto en el horario de las 1900 horas en el 64 % de las estaciones analizadas. Aumentará la cobertura nubosa de cielo despejado y 1 décimo en el 57 % de las estaciones meteorológicas en estudio y los máximos de la tendencia neta a disminuir los valores de cobertura nubosa son para cielo despejado y 1 décimo en el 64 % de las estaciones meteorológicas.

# MARCHA DIARIA MÁS PROBABLE Y TENDENCIA DE LA COBERTURA NUBOSA A LO LARGO Y ANCHO SOBRE CUBA.

*Dulce O. Pérez Betancourt, Rosendo Álvarez Morales y Laura Aenlle Ferro.*

Instituto de Meteorología. Cuba

Teléfonos: 8670721 al 24, exts. 248,249,250, 288

e-mail: dperez@met.inf.cu

## INTRODUCCIÓN

El propósito de analizar la cobertura nubosa (CN) es establecer la relación que existe entre la distribución de frecuencias de la cobertura nubosa de acuerdo con las horas del día en las estaciones en estudio mediante sus patrones de comportamiento utilizando técnicas de análisis multivariado (Koroliuk, 1981; Maurin, 1972) y establecer las tendencias de esta variable atmosférica y su cambio en función de su ubicación geográfica, lo que puede implicar cambios en las precipitaciones y da la posibilidad de conocer dónde se puede utilizar la energía solar mediante celdas fotoeléctricas con mayor eficiencia.

A partir de los datos de las fotos de satélite, en los últimos tiempos, se han realizado varios trabajos tales como los de Hughes (1984), en el que presentó una investigación global de la climatología de las nubes; Warren (1986, 1988) realizó un análisis global de la nubosidad; Jones (1991), analizó los cambios aparentes de la cobertura nubosa sobre Australia; Posteriormente Jones y Hunderson-Sellers (1992) examinaron los cambios de la nubosidad en Australia; McGuffie (1993) estudió la distribución de la nubosidad sobre Australia usando los datos del Experimento Global del GARP en el período diciembre 1978 a noviembre de 1979, Lam y LI (1998) realizaron un estudio en el cual correlacionaron la radiación solar y la cobertura nubosa en Hong Kong.

En Cuba, Amaro (1995) realizó un estudio de la cobertura nubosa mensual en Juraguá donde encontraron valores medios mensual entre 3 y 5 octavos, posteriormente Álvarez (1999) y Pérez (2000 y 2001) realizaron estudios sobre el comportamiento de la cobertura contra horas del día en algunas estaciones

meteorológicas obteniendo que en la mayoría de las estaciones analizadas se observa un aumento de la cobertura nubosa en el transcurso del día de acuerdo con la marcha diaria más probable, para disminuir a las 2200 horas. El máximo absoluto de tendencia creciente a aumentar la cobertura nubosa se observa en la estación meteorológica de Caibarién con 0,6, mientras que el máximo de tendencia a disminuir la nubosidad ocurre en la estación meteorológica de San Juan y Martínez con un 1,1.

En un estudio reciente (Alvarez, 1997) realizado en la estación meteorológica de Casablanca tomando como base de datos el período 1906-1995, encontraron que la cobertura nubosa, en el horario comprendido entre las 0600 y las 1800 horas disminuye, con valores mínimos en las 1000 y las 1600 horas para la clase de 5/10 de cielo cubierto y la de cielo despejado a las 1600 horas.

## OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son analizar los cambios en la cobertura nubosa (CN) contra horas del día mediante una línea imaginaria que se desplaza de oeste a este sobre la Isla (Fig. 1), tomando como base las series de datos de 14 estaciones de superficie en el período 1971 – 1999. Realizando un análisis de la marcha diaria más probable y de la tendencia neta de esta variable meteorológica a lo largo y ancho de Cuba.

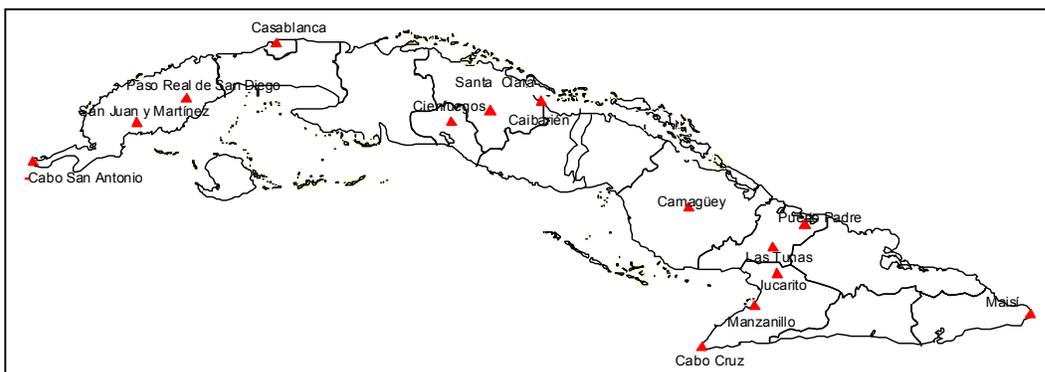


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas seleccionadas.

## MATERIALES Y METODOS

Para el presente trabajo se contó con las series de datos de cobertura nubosa vs horas del día de las estaciones meteorológicas de superficie: 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, y Maisí.

En el período 1970 hasta 2000 con observaciones trihorarias, las estaciones de Jucarito y Manzanillo no tienen observaciones nocturnas.

La base teórica elaborada por Alvarez (1996) permite utilizar la metodología que consta de los siguientes pasos:

i) Obtener a partir de los datos, las matrices donde los  $a_{ij}$  son las frecuencias de dos variables tomadas simultáneamente de una tabla de doble entrada.

ii) Cada  $a_{ij}$  representa la probabilidad de ocurrencia de ese elemento en la serie de 5 años.

iii) Se obtuvieron 6 matrices para la serie de 30 años y se agruparon cada uno de los  $a_{ij}$ .

iv) Sobre la matriz múltiple se calculó la curva de mejor aproximación para cada  $a_{ij}$  y teniendo en cuenta que una serie cronológica puede descomponerse en un movimiento a largo plazo o tendencia, movimientos sistemáticos a corto plazo y componentes aleatorias (Yule, 1958) y que una serie meteorológica puede ser descompuesta en oscilaciones de pequeña escala, de mesoescala, sinópticas, globales, estacionales, interanuales (cuasi - bienales particularmente en la atmósfera ecuatorial), ENSO, autooscilaciones anuales de las ramas Norte de la corriente del Golfo, intercentenales, de largo período, además de los efectos de retroalimentación (Kagan, 1995); se decidió aproximar por una curva que contuvieran un término lineal y varios que contuvieran términos de oscilación, así se llega a la curva :

$$y = a + bx + c \text{ sen } x + d \text{ cos } x.$$

En todos los casos se fijó el ajuste superior al 70 % de correlación encontrándose que para la variable analizada el coeficiente de correlación ( $R_o$ ) entre la curva real y la ajustada fue, el 90 % de los casos mayor que 0.90.

v) Desechando los términos oscilatorios en las series de cada uno de los  $a_{ij}$ , ya que una oscilación tiene el mismo valor al principio y al final se tomó el coeficiente del término lineal en la aproximación como la tendencia (pendiente de la recta) de cada  $a_{ij}$  y el conjunto de todas las tendencias de las  $a_{ij}$  conformó la matriz de probabilidad de tendencia para series de 5 años de datos.

vi) A partir de las matrices obtenidas para la variable en estudio: cobertura nubosa vs hora del día, se obtuvieron las cartas bidimensionales de cambios de esta variable, así como las superficies de tendencias.

Con la información obtenida de las cartas bidimensionales de los cambios de esta variable se obtuvo la marcha diaria más probable de la cobertura nubosa, para las estaciones meteorológicas escogidas señaladas con el número de orden latitudinal, que no es más que los máximos de frecuencia para cada hora del día (Alvarez, 2003).

Se calculó la tendencia neta de la cobertura nubosa en cada una de las estaciones, donde se recoge el cambio de la misma para cada uno de los valores de la cobertura nubosa separada por valores de un décimo de cielo cubierto para las 14 estaciones en estudio a lo largo y ancho de Cuba (Álvarez, 2003).

## **RESULTADOS**

### **CAMBIOS DE LA COBERTURA NUBOSA CONTRA EL TIEMPO.**

#### **MARCHA DIARIA MÁS PROBABLE.**

Los valores mayores de frecuencia para cada hora del día muestran la marcha diaria más probable de la cobertura nubosa para las estaciones meteorológicas escogidas señaladas con el número de orden latitudinal.

#### **Región occidental.**

En la estación de Casablanca (Fig. 2) se observa que en su marcha diaria más probable la cobertura nubosa se mantiene con 8 décimos desde las 0700 horas hasta las 2200 horas, en las estaciones de la provincia de Pinar del Río se observa un aumento de la nubosidad más probable en el transcurso del día, para disminuir bruscamente a las 2200 horas en Paso Real y San Juan y Martínez, en la estación de

El Cabo de San Antonio el cambio de la cobertura nubosa más probable es más suave en el transcurso del día, aumentando el total de cielo cubierto hasta 8 décimos entre las 1600 y las 1900 horas, para posteriormente disminuir hasta 1 décimo a las 2200 horas. El comportamiento de la marcha diaria más probable varió en las estaciones de Casablanca y San Juan y Martínez, de acuerdo a la tendencia pronosticada (Álvarez, 1999).

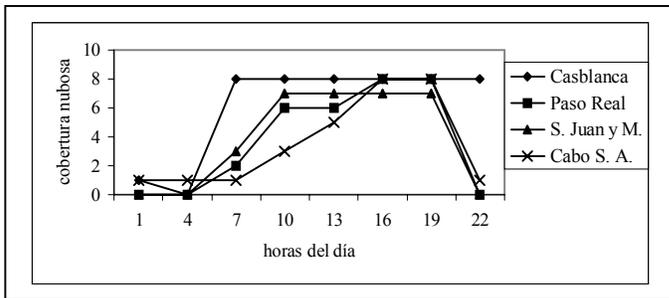


Figura 2. Marcha diaria más probable de la cobertura nubosa en las estaciones meteorológicas ubicadas en la región occidental.

### Región Central.

Las curvas representativas de la marcha diaria más probable de la cobertura nubosa (Fig. 3) presentan valores coincidentes en las estaciones de Cienfuegos y Santa Clara a las 0100, 0400, 1900 y 2200 horas, no así Caibarién que presenta el mismo máximo de cielo cubierto (1/10) en todos los horarios con excepción de las 1300 horas (2/10).

En Santa Clara y Cienfuegos hay un aumento de la cobertura nubosa más probable en el transcurso del día y una brusca disminución a las 22 horas.

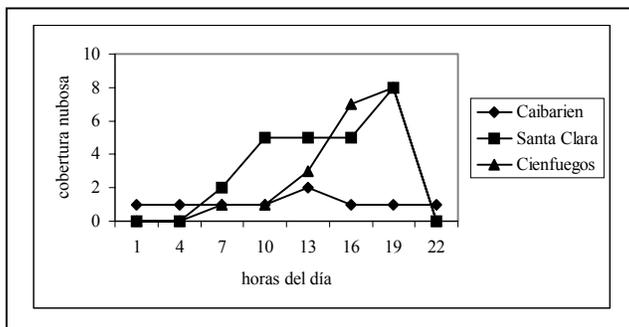


Figura 3. Marcha diaria más probable de la cobertura nubosa en las estaciones meteorológicas de Cienfuegos, Santa Clara y Caibarién.

Al comparar el comportamiento de la marcha diaria más probable con el resultado del análisis realizado en el período 1970 al 1995 (Pérez, 2000) se observa un comportamiento similar al incluir el quinquenio 1995-1999, con una pequeña variación a las 1300 horas para 2 décimos de cielo cubierto en Caibarién, manteniéndose en 5 décimos en Santa Clara hasta las 1600 horas, y en Cienfuegos a las 1600 horas es más probable 7 y no 8 décimos.

**Región oriental.**

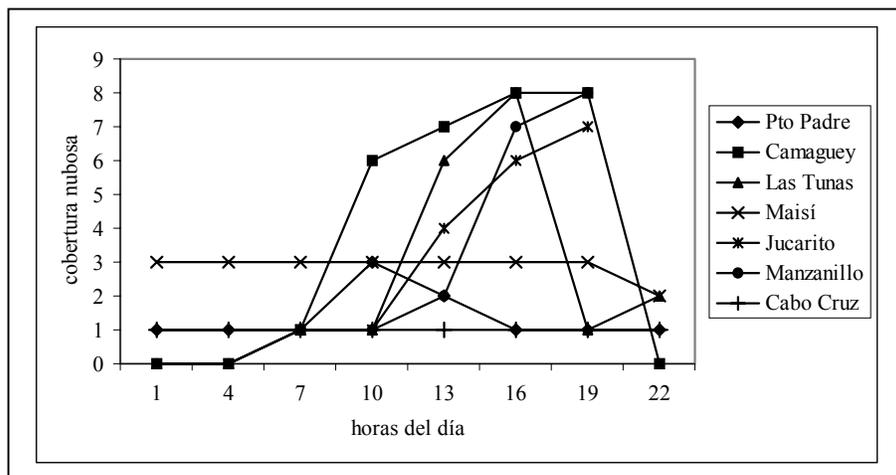


Figura 4. Marcha diaria más probable de la cobertura nubosa en las estaciones meteorológicas ubicadas en la región oriental.

En la mayoría de las estaciones se observa un aumento más probable de la nubosidad en el transcurso del día, para disminuir a las 2200 horas con excepción de Cabo Cruz (Fig. 4) que se mantiene con 1/10 de cobertura nubosa en todos los horarios y Puerto Padre que aumenta la cobertura nubosa más probable hasta las 1000 horas (3/10) y disminuye en el resto de los horarios, este comportamiento de Puerto Padre y Cabo Cruz debe estar relacionado con su situación geográfica, y Maisí que se mantiene en todo el transcurso del día en 3 décimos hasta las 1900 horas para bajar a 2 décimos a las 2200 horas.

En las estaciones ubicadas en Maisí y Cabo Cruz las curvas representativas de la marcha diaria más probable se mantienen prácticamente constantes en 3 y 1 décimo de cobertura nubosa respectivamente, se observa un aumento de la cobertura nubosa en

el resto de las estaciones en el transcurso del día, presentando valores coincidentes todas las estaciones, excepto Maisí, a las 0700 con 1/10 de cobertura nubosa, a las 1000 horas las estaciones de las Tunas, Jucarito, Manzanillo y Cabo Cruz también centrado en 1 décimo, y a las 1600 horas con 8 décimos en Camagüey y las Tunas y entre los horarios de las 1900 y las 2200 disminuye la cobertura nubosa.

El comportamiento de la marcha diaria más probable de las estaciones Camagüey, Puerto Padre, y Maisí, en un estudio reciente (Álvarez, 1999) es similar al que se muestra en este resultado, teniendo en cuenta que la tendencia pronosticada se aproxima a los valores de la frecuencia al incluir el último quinquenio en general en las tres estaciones.

### CARACTERÍSTICAS DE LAS TENDENCIAS DE LA COBERTURA NUBOSA CONTRA EL TIEMPO.

Las tendencias, se analizan considerando la metodología elaborada por Alvarez (1997) basado en el análisis multivariado, y señalan la probabilidad del aumento, disminución o que la cobertura nubosa se mantenga sin variación con las horas del día cuantitativamente, con el máximo de tendencia a aumentar los valores de la cobertura nubosa en la estación ubicada en Puerto Padre con un coeficiente de 0,025 y

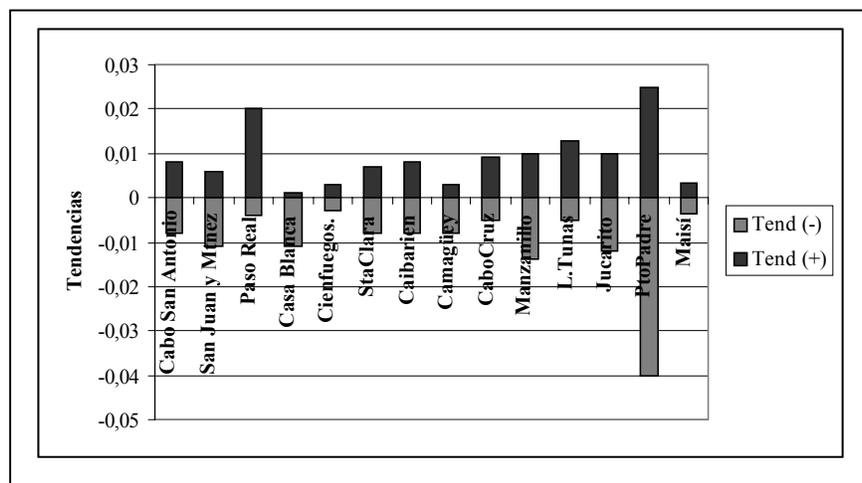


Figura 5. Valores de los máximos positivos (Tend (+)) y negativos (Tend (-)) de la tendencia para las 14 estaciones en estudio.

el mínimo en la estación de Casablanca con 0,001 y la tendencia negativa oscila entre 0,04 en Puerto Padre y 0,003 en Cienfuegos, en general la tendencia es a disminuir el número de casos, con excepción de las estaciones Paso Real, Las Tunas y Cabo Cruz (Fig. 5).

En la mayoría de las estaciones el rango de valores de la tendencia esta acotado entre 0,01 y -0,01 con excepción de las estaciones de Paso Real, Las Tunas y Puerto Padre para la tendencia a aumentar el número de casos y San Juan y Martínez, Casablanca, Manzanillo y Puerto Padre en el caso de las tendencias a disminuir el número de casos.

El análisis incluye las 14 estaciones climatológicas seleccionadas desde la zona occidental a la oriental dividida en las tres regiones occidental central y oriental.

**Comportamiento de la Tendencia Neta de la cobertura nubosa sobre Cuba.**

En el Cabo San Antonio y San Juan y Martínez, en general, la tendencia neta es positiva con el máximo en 10 décimos. En Paso Real el máximo de tendencia creciente para 2 décimos de cobertura nubosa, de 3 a 6 décimos la tendencia neta es negativa o nula, en la estación de Casablanca le tendencia neta es a disminuir la cobertura nubosa con el máximo de la tendencia negativa en 2 décimos de cobertura nubosa (Fig. 6).

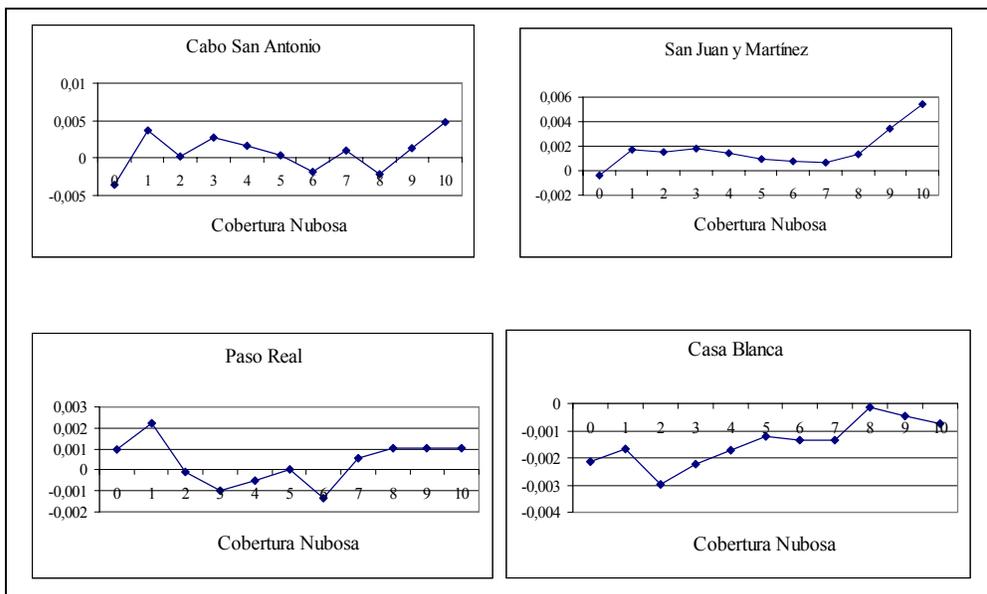


Figura 6 Cambio de la Tendencia Neta para cada valor de la cobertura nubosa en la región occidental

Con excepción de Paso Real el máximo de la tendencia decreciente se observa para valores de cobertura nubosa entre cielo despejado y 2 décimos.

La tendencia neta de la cobertura nubosa sobre las estaciones de la región central de la Isla tiene un comportamiento similar en Caibarién y Santa Clara, caracterizadas por valores negativos próximos a cero o nulos hasta 7 y 6 décimos de cielo cubierto respectivamente posteriormente un aumento con el máximo de tendencia creciente en 10 décimos en ambas estaciones, los valores de la tendencia neta en Cienfuegos alcanzan el máximo en 1 décimo de cobertura nubosa en el resto los valores son negativos y muy próximos a cero en general (Fig. 7). Por lo que la tendencia es a disminuir la cobertura nubosa de norte a sur.

En las estaciones de la región oriental los máximos, de la tendencia neta creciente en las estaciones desde Puerto Padre hacia el sur, se encuentran entre 5 y 8 décimos, no así para Camagüey y Maisí que el máximo es para 1 décimo de cobertura nubosa. La tendencia neta decreciente tiene sus máximos para cobertura nubosa entre 1 y 3 décimos con excepción de las estaciones de las Tunas y Manzanillo en las que disminuirá la frecuencia de la cobertura nubosa para 7 y 10 décimos (Fig. 8).

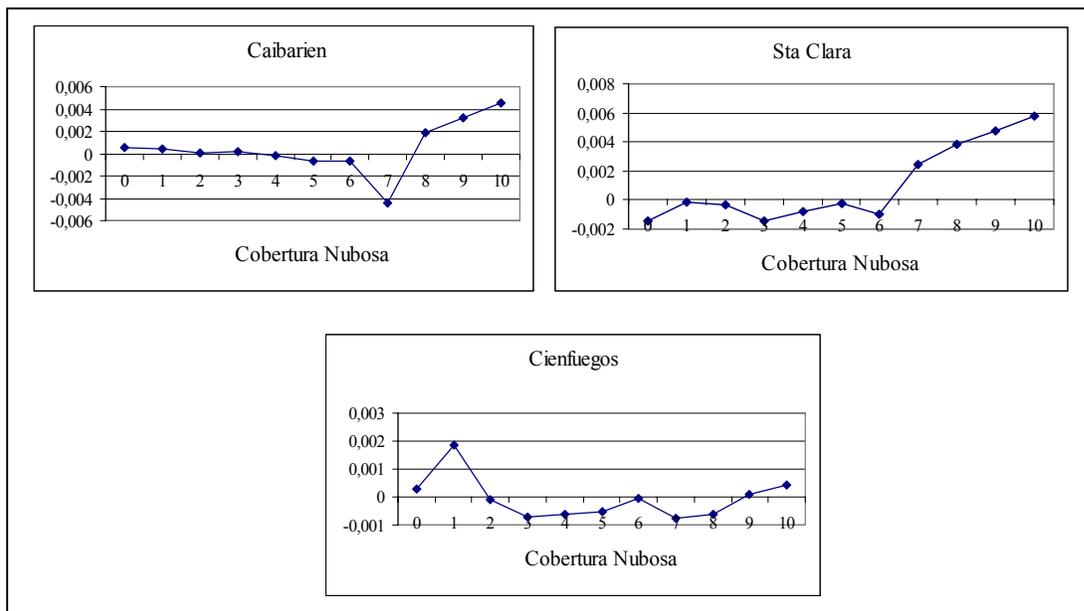


Figura 7. Cambio de la Tendencia Neta para cada valor de la cobertura nubosa en la región central

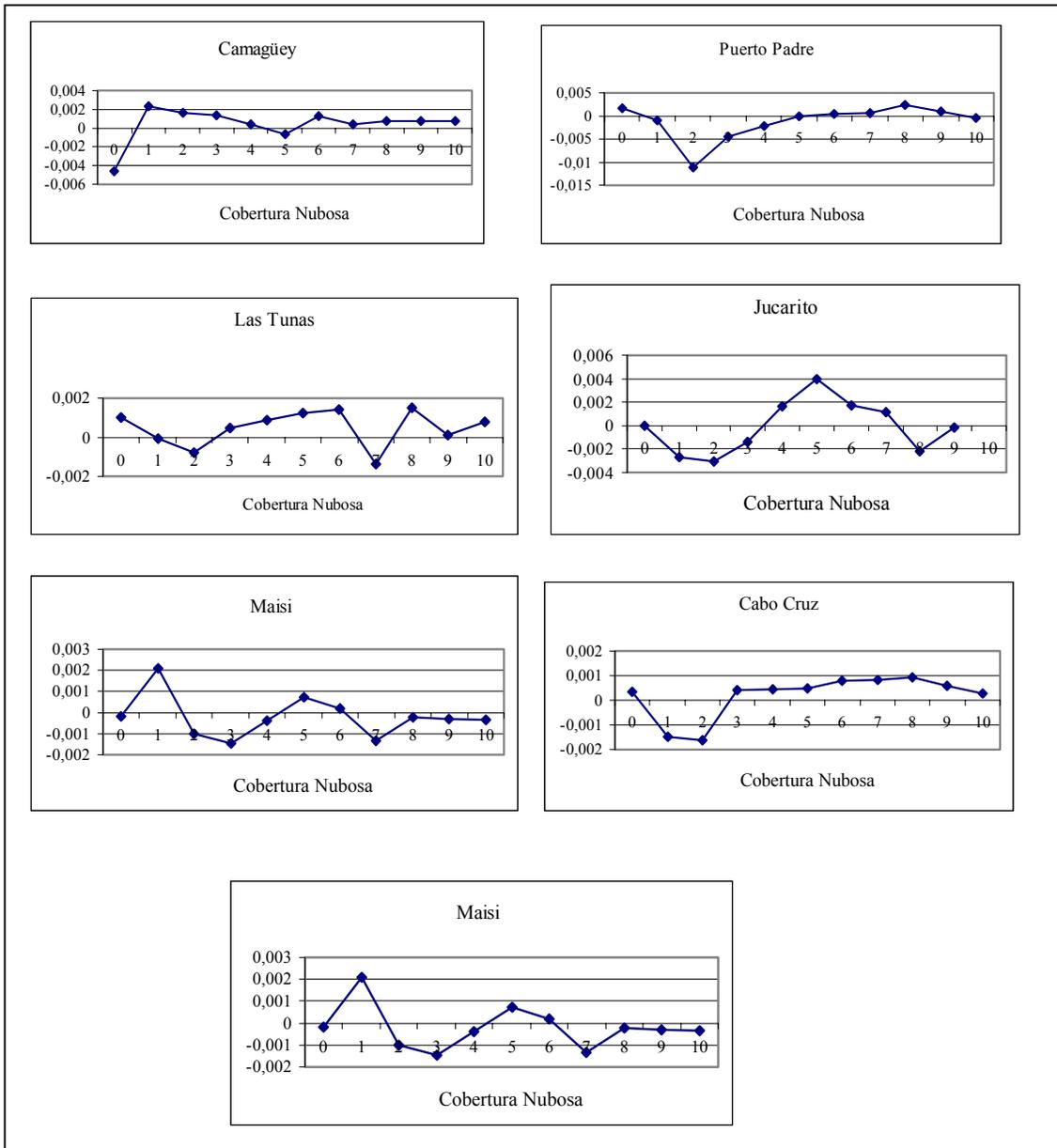


Figura 8. Cambio de la Tendencia Neta para cada valor de la cobertura nubosa en la región oriental

## CONCLUSIONES

En el comportamiento de la marcha diaria más probable de la cobertura nubosa se observa un aumento de la nubosidad en el transcurso de día, con el máximo de cielo cubierto en el horario de las 1900 horas en el 64 % de las estaciones analizadas.

La estación de Cabo Cruz mantiene 1 décimo de cobertura nubosa más probable en todos los horarios de observación, en Caibarién y Puerto Padre la marcha diaria más probable en general es de 1 décimo con excepción de 2 décimos de cobertura nubosa a las 1300 horas en Caibarién; de 3 y 2 décimos a las 1000 y a las 1300 respectivamente en Puerto Padre. En Maisí se mantiene con 3 décimos en general.

El máximo de tendencia a aumentar los valores de la cobertura nubosa en la estación ubicada en Puerto Padre con un coeficiente de 0,025 y el mínimo en la estación de Casablanca con 0,001 y la tendencia negativa oscila entre 0,04 en Puerto Padre y 0,003 en Cienfuegos

Los máximos de la tendencia neta a aumentar los valores de la cobertura nubosa se observan para valores mayores a 6 décimos de cielo cubierto en 10 de las estaciones analizadas, mientras que los máximos de la tendencia neta a disminuir los valores de la cobertura nubosa en 10 de las estaciones corresponden a valores menores a 3 décimos.

## REFERENCIAS

**Álvarez, L.** y Alvarez, R. (1996): Aplicación del método de oscilaciones por observaciones contiguas al estudio del viento. Memorias VII Congreso Argentino Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Buenos Aires, Argentina, septiembre 1996, pp 395 – 396.

**Alvarez, R.,** Álvarez, L., Roque, A., Soltura, R., Pérez, D., Borrajero, I., Aenlle, L. et al. (1997): Análisis de los cambios en los patrones de dispersión de contaminantes, del potencial eólico energético y algunas variables meteorológicas debido a la variabilidad y/o los cambios climáticos. Análisis de la estación Casablanca. Informe de Resultado. Departamento de Aerología. Instituto de Meteorología. CITMA.

**Alvarez, R.,** Álvarez, L., Borrajero, I., Roque, A., Pérez, D., Aenlle, L. et al. (1999): Análisis de los cambios en los patrones de dispersión de contaminantes del potencial eólico energético y algunas variables meteorológicas debido a la variabilidad climática y/o los cambios climáticos. Informe Científico Técnico, INSMET.

**Amaro, L.,** Pérez, D., Soltura, R., Rivero, I., Rodríguez, G. (1995): Informe de seguridad nuclear. Central Electronuclear. Juraguá. Cap. 2.3. Características meteorológicas del emplazamiento. Tomo I. Epígrafe 2.3.2. CITMA La Habana Cuba. 114 pp.

**Jones, P. M.,** Larrinaga, M. A. and Wilson C. B. (1991): The urban wind velocity profile. Atmospheric Environment, 5(2):89-102.

**Jones, P. A.** and Hunderson-Sellers, A. (1992): The urban wind velocity profile. Atmospheric Environment, 5(2):89-102.

**Kagan, B.A.** (1995): Ocean-Atmospheric Interaction and Climate Modeling, Cambridge University Press London.

**Koroliliuk, V. S.** (1981): Manual de la teoría de probabilidades y estadística matemática. Ed. Mir. Moscú. 580 pp.

**Lam, J.** and Li, D. (1998): Correlation analysis of solar radiation and cloud cover. International Journal of Ambient Energy. Vol. 19 No 4. pp 187-198.

**Pérez, D.,** Alvarez, R., Aenlle, L. y Bouza, L. (2000): Características de la cobertura nubosa y su tendencia al atravesar la isla de Cuba. Vol 6 N° 1, publicación electrónica: [http://www.met.inf.cu/sometcub/boletin/v06\\_n01/english/paper\\_61.htm](http://www.met.inf.cu/sometcub/boletin/v06_n01/english/paper_61.htm)

**Pérez, D.**, Alvarez, R., Aenlle, L. y Bouza, L. (2001): La cobertura nubosa en Casablanca y su impacto en el aprovechamiento de la energía solar. Informe Científico Técnico, INSMET, Agencia del Medio Ambiente, CITMA

**Lapinel, B.**, Rivero, R., Rivero, R., Aroche, R. Pérez, D., Cutie, V. Fonseca, C., Roque, A., et al. (2000): La sequía en Cuba. Sus Causas. Resultado Científico Técnico, INSMET, Agencia del Medio Ambiente, CITMA

**Maurin, K.** (1972): Methods of Hilbert spaces. Warszawa. Polonia. 553 pp.

Rao, Radhakrishna 1971: Inverse of Matrices and its pplikations. John Wiley Sons. New York, 240 pp.

**Yule, M. A.**, and Kendall, M. A. (1958): An introduction to the Teory of Statistics. Griffin 701 pp.