

Aplicación de la nueva metodología

Después de haberse realizado el análisis de los cambios de la temperatura por los métodos conocidos internacionalmente, pasemos a realizar el análisis para la Isla de Cuba basados en la información obtenida en 14 estaciones a lo largo del territorio, 6 de las cuales nos informan también los cambios transversales a la Isla de esta variable, pero utilizando la nueva metodología desarrollada por Alvarez, et. al (2000) que convierte el estudio de la tendencia en operaciones comprobadas en el espacio de Gilbert mediante el empleo de frecuencias.

Prueba con muestra independiente.

Como quiera que la temperatura es una de las variables meteorológicas más estudiadas en lo referente a su tendencia y a su participación en los cambios climáticos se impone realizar una prueba con muestra independiente para probar la efectividad de la nueva metodología que de hecho se convierte en un método de pronóstico. Esta consiste en lo siguiente:

i) Se toma la matriz de frecuencias temperatura – hora del día calculada para el quinquenio 1990 – 94.

ii) A esta se le suma algebraicamente la matriz de tendencias calculada.

iii) Se toma la matriz de frecuencias real temperatura – hora del día para el período 1995 – 98 (cuatro años).

iv) Se halla la diferencia: $[(Temp - Hora 1990 - 1994) + (Tendencia)] - (Temp - Hora 1995 - 1998) = E_i$

donde E_i es el error cometido en la estimación de cada uno de los elementos de la matriz.

Si $E_i = 0$ se estimó ese elemento sin error y así sucesivamente se expresan éstos en por ciento, desde el 0.1 % hasta el 1 % y > 1 %.

v) Se dibuja la curva representativa del error, así como se da el valor de acierto y acierto $\pm 0.1, \pm 0.2, \pm 0.3, \pm 0.4, \pm 0.5$.

Análisis de las frecuencias y las tendencias a lo largo y ancho de la Isla de Cuba.

En las figuras desde la 2 hasta la 13 podemos ver las frecuencias y las tendencias que se presentan en 12 estaciones para cada uno de los valores de temperatura que se presentan en la misma con significación hasta la milésima de caso. En ellas podemos apreciar que:

Cabo San Antonio.

En la Figura 2 la moda se presenta en los 25°C con valores altos de la frecuencia entre 23°C y 30°C. En ese rango de valores de frecuencia la tendencia tiende

a disminuir para todos los valores con excepción de los 26°C para los próximos años. Desde el punto de vista práctico es de notar un pequeño aumento encontrado en los 31°C.

Cabo San Antonio

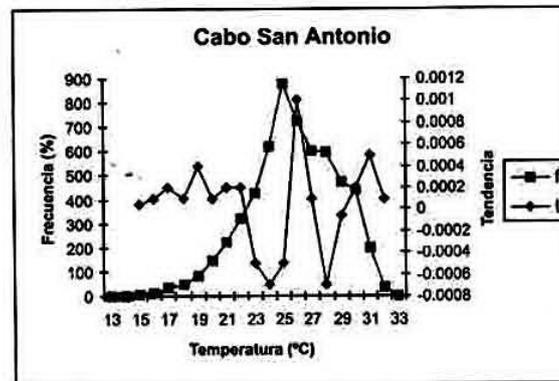


Fig. 2. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de Cabo San Antonio.

En la Figura 2 la moda se presenta en los 25°C con valores altos de la frecuencia entre 23°C y 30°C. En ese rango de valores de frecuencia la tendencia tiende a disminuir para todos los valores con excepción de los 26°C para los próximos años. Desde el punto de vista práctico es de notar un pequeño aumento encontrado en los 31°C. En la Figura 3 la moda se presenta en los

24°C con valores muy altos también en 25°C y en 23°C. En esta estación estos tres valores de la temperatura (T) tienden a aumentar con disminución de valores > 27°C y hasta 32°C. También podemos notar aumentos en la banda de 14°C hasta 22°C. Por tanto, en esta estación los valores de T tienden a aumentar para valores menores que la moda, con disminución para valores superiores.

San Juan y Martínez

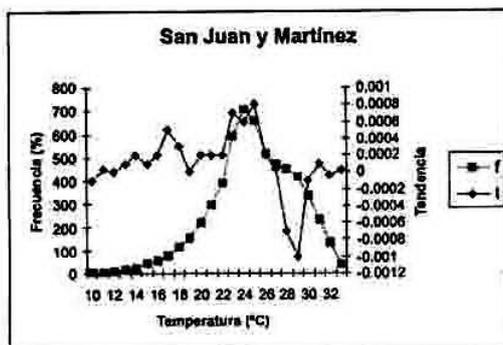


Fig. 3. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de San Juan y Martínez.

Paso Real de San Diego.



Fig. 4. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de Paso Real de San Diego.

Al igual que en la estación de San Juan y Martínez, en Paso Real (Fig.4) la moda alcanza el valor de 24°C con valores también altos de la frecuencia en 23°C y 25°C. Hay una tendencia pronunciada al aumento de los valores de T comprendidos entre 22°C y 27°C. Aquí se presenta un aumento ligero para valores altos (29°C, 30°C, 32°C y 33°C) y disminución en valores bajos (14°C, 15°C).

Casablanca.

Con una moda de 25°C y valores altos de la frecuencia en 24°C y 26°C esta estación (Fig.5) presenta la característica de valores negativos de la tendencia en todos los rangos de T con excepción de un incremento pequeñísimo en 33°C. La mayor disminución se encuentra en 28°C seguida de 24°C. Aquí los valores de T tienden a uniformarse alrededor de la moda.

Casablanca

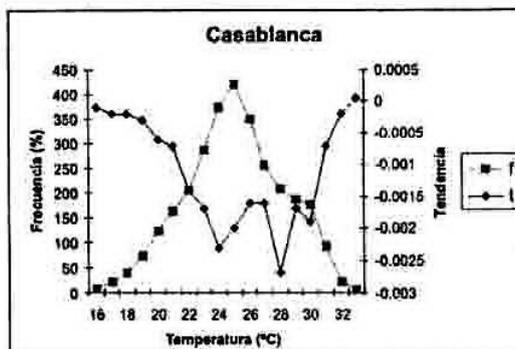


Fig. 5. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de Casablanca.

Cienfuegos

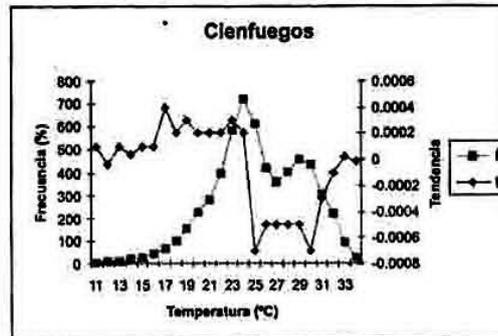


Fig. 6. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de Cienfuegos.

En la estación de Cienfuegos (Fig. 6) otra vez la moda se ubica en 24°C con valores altos en 23°C y 25°C, pero con un máximo secundario en 29°C que presenta también valores bastante altos de frecuencia en 28°C y 30°C. Sin embargo, la tendencia es a disminuir para valores de T entre 25°C y 32°C. Aquí también aparece un pequeño aumento en 32°C y en valores entre 13°C y 24°C.

Santa Clara.

En la Figura 7 la moda se ubica en 23°C con valores altos en 22°C y 24°C. Aquí se presenta el máximo decrecimiento de la tendencia coincidente con el máximo de frecuencia, y otro decrecimiento fuerte en 29°C con aumentos de la tendencia en 24°C, 25°C, 26°C y 27°C. O sea, la T tiende a uniformar su frecuencia en el rango entre 20°C y 27°C

Santa Clara

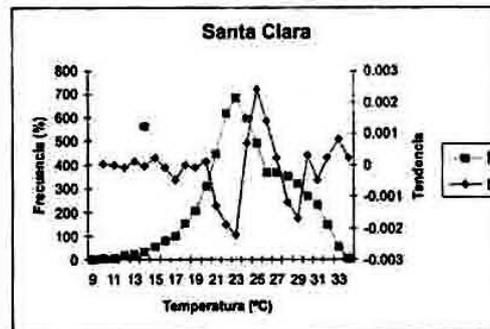


Fig. 7. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de Santa Clara.

Caibarién

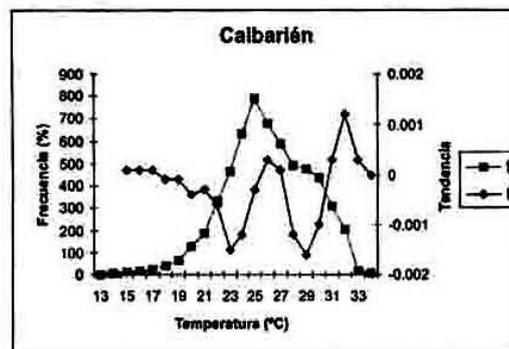


Fig. 8. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de Caibarién.

En la estación de Calbari n (Fig. 8) la moda se ubica en 25 C con valores altos de la frecuencia en 24 C, 26 C y 27 C. Con un pequeño aumento en 26 C y 27 C la T tiende a disminuir entre los 22 C y los 30 C especialmente en 23 C y 29 C. Debe sealarse un

aumento en 32 C, 33 C con disminución también entre 18 C y 22 C. Aquí la T tiende a uniformarse entre 23 C y 28 C con disminución de frecuencia en los valores bajos y aumento en los valores altos.

Camagüey

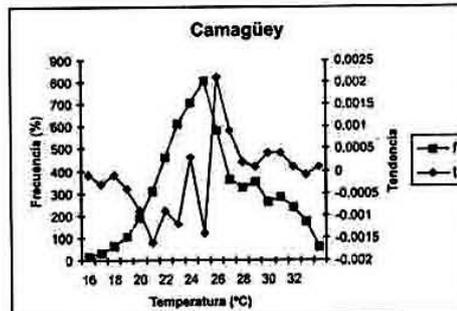


Fig. 9. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de Camagüey

En esta estación (Fig. 9) la moda se presenta en los 25 C con valores altos de la frecuencia en 23 C, 24 C y 26 C. La tendencia disminuye en el rango entre 16 C y 25 C excepto un pequeño

aumento en 24 C y aumento entre 26 C y 32 C. En esta estación la T disminuir  el número de ocurrencias en los valores bajos y aumentará en los valores altos.

Cabo Cruz

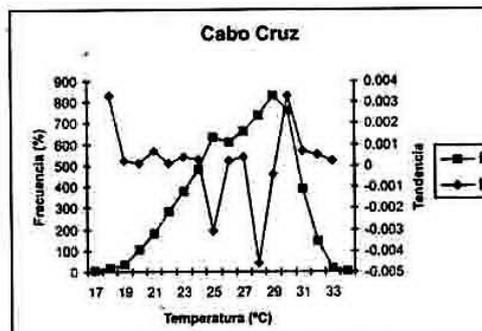


Fig. 10. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de Cabo Cruz.

Aquí la moda se presenta en 29 C con valores altos de la frecuencia entre 25 C y 30 C (Fig. 10). La tendencia de T es a aumentar los valores bajos (17 C hasta 24 C), disminución rápida entre 25 C y 29 C con un aumento pequeño en 26 C y 27 C y aumentos a

partir de 30 C y hasta 33 C. En esta estación se aprecia un aumento de las T bajas y las altas a expensas de una compensación en la zona media, con dos mínimos de tendencia en 25 C y 28 C y un máximo en 30 C.

Las Tunas

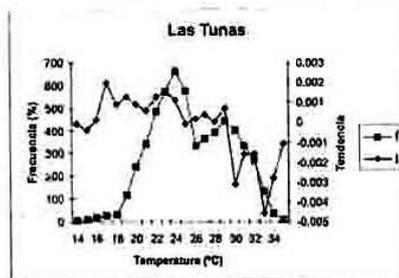


Fig. 11. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de Las Tunas

En Las Tunas (Fig. 11) la moda se ubica en 24°C con un máximo secundario de frecuencias en 29°C y valores altos de la misma en 22°C, 23°C y 25°C. A partir de 16°C y hasta 29°C la tendencia es positiva o nula descendiendo rápidamente en 30°C con un mínimo secundario y otro mínimo (el absoluto) en 33°C. En esta estación debe destacarse el crecimiento de las T bajas y medias a expensas de la altas.

Puerto Padre

En la estación de Puerto Padre (Fig. 12) la moda se presenta en 28°C con valores casi iguales para 24°C, 25°C y 27°C. Le siguen, considerándose altos 23°C y 29°C. La tendencia se divide en 4 sectores bien definidos: entre 15°C y 18°C hay tendencia negativa y 32°C positiva. Después hay valores pequeños negativos en 33°C. Aquí tienden a disminuir los valores bajos de T (entre 15° y 18°C) y a compensarse en la zona central.

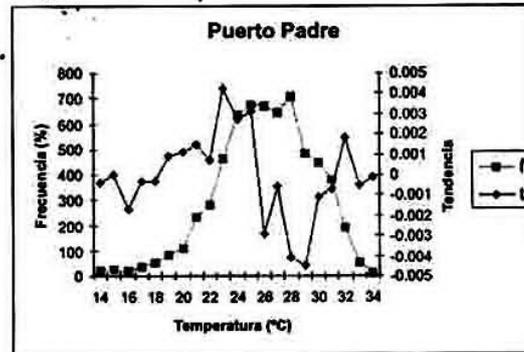


Fig. 12. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de Puerto Padre

Maisí

En esta estación (Fig. 13) se presenta una moda bien definida en 28°C con otra secundaria entre 25°C y valores altos de la frecuencia en 26°C y 27°C. La tendencia tiene valores positivos o casi nulos positivos para valores entre 18°C y 27°C, 29°C y entre 31°C y

33°C. Es de destacar que solo se presentan valores negativos de la tendencia en 28°C y en 30°C. O sea, en esta estación tiende a disminuir el valor de la moda solamente, para compensar los aumentos en todos los rango de T.

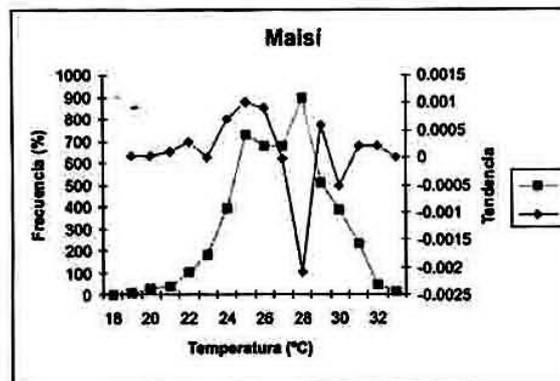


Fig. 13. Comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la Temperatura para la estación meteorológica de Maisí.

Antes de continuar debemos aclarar que entenderemos por tendencia neta a la resultante de la suma algebraica de todas las tendencias ya sea en una hora del día, una estación, etc. En el presente

análisis no se consideraron las estaciones Manzanillo y Jucarito debido a que la información sólo existía entre las 0700 y las 1900 horas, con ausencia total de observaciones nocturnas.

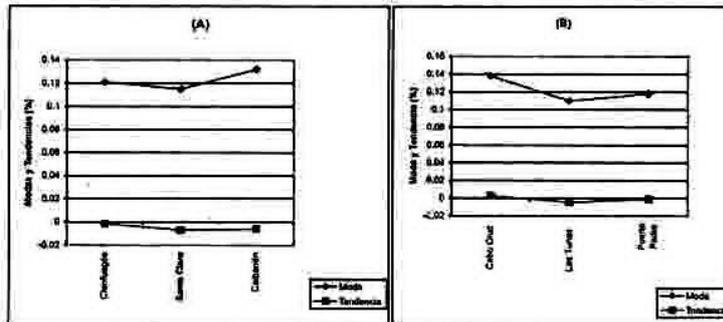


Fig. 14 Cambio de la tendencia de la temperatura al atravesar la Isla de Cuba

Continuando en el análisis del comportamiento de T podemos ver la figura 14. En el año 1997 Álvarez y otros autores presentaron un análisis del comportamiento de la tendencia al atravesar la Isla de Cuba por las estaciones Cienfuegos, Santa Clara

y Caibarién (14a) que ofrecía la información que la tendencia disminuiría hacia el centro de la Isla. Para comprobar lo anterior se tomaron tres estaciones más o menos en línea atravesando Cuba por su parte más ancha Cabo Cruz, Las Tunas y Puerto Padre (14b).

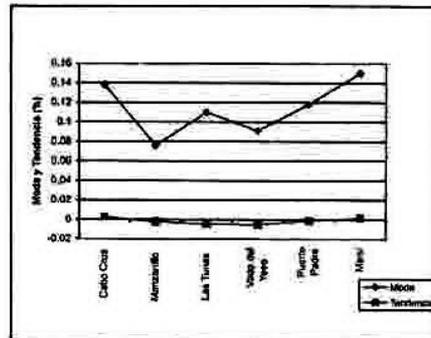


Fig. 15 Cambio de la tendencia de la temperatura al atravesar la Isla de Cuba, incluyendo las estaciones de Jucarito y Manzanillo

Como podemos ver de la figura 14b en esta zona también la tendencia disminuye hacia el centro de la Isla (Las Tunas). En la figura se comparan las frecuencias y las tendencias para ambos cortes transversales de la Isla notándose que aunque difieren en valores absolutos su distribución relativa al centro de la Isla es similar.

Aunque las estaciones Manzanillo y Jucarito se encuentran en la línea próxima al análisis efectuado no fueron consideradas debido a problemas con las series de datos. No obstante por ser el método de cálculo general se pudo conocer las tendencias de T para ambas estaciones entre las 0700 y 1900 horas. En la figura 15 se incluyeron los valores de ambas estaciones comprobándose que incluso ahora la característica de la tendencia es a disminuir hacia el centro del país desde las costas y que la adición de ambas estaciones sólo provoca un corrimiento del valor mínimo.

De la misma manera podemos analizar el comportamiento de la frecuencia y la tendencia de la T a lo largo de la Isla de Cuba. En la figura 16 puede verse que los valores de las modas decrecen

a medida que nos desplazamos desde la estación más occidental (Cabo San Antonio) hacia la más oriental (Punta Maisí). El mínimo que ocurre en la estación Jucarito, así como el valor de Manzanillo deben ser tomados con cautela debido a que como explicamos anteriormente ambas estaciones poseen la data incompleta. En el caso de la tendencia podemos ubicar una región occidental en las tres primeras estaciones con tendencia neta positiva, una región central desde Casablanca hasta Camagüey con tendencia neta negativa y una región oriental de tendencia neta positiva en los extremos (Cabo Cruz y Maisí) y tendencia neta negativa al centro. En el gráfico se ha incluido el valor de la T a la cual ocurre la moda de manera que pueda verse que repetibilidad tiene la misma y si pueden esperarse en el futuro aumentos o disminuciones. Por ejemplo en la estación Santa Clara con una moda que representa el 11.5% de una T de 23°C estará bajo la acción de una disminución neta del 0.07%, o sea casi una décima de por ciento, que en números significa el 1.15%, llevando la moda al 10.35%.

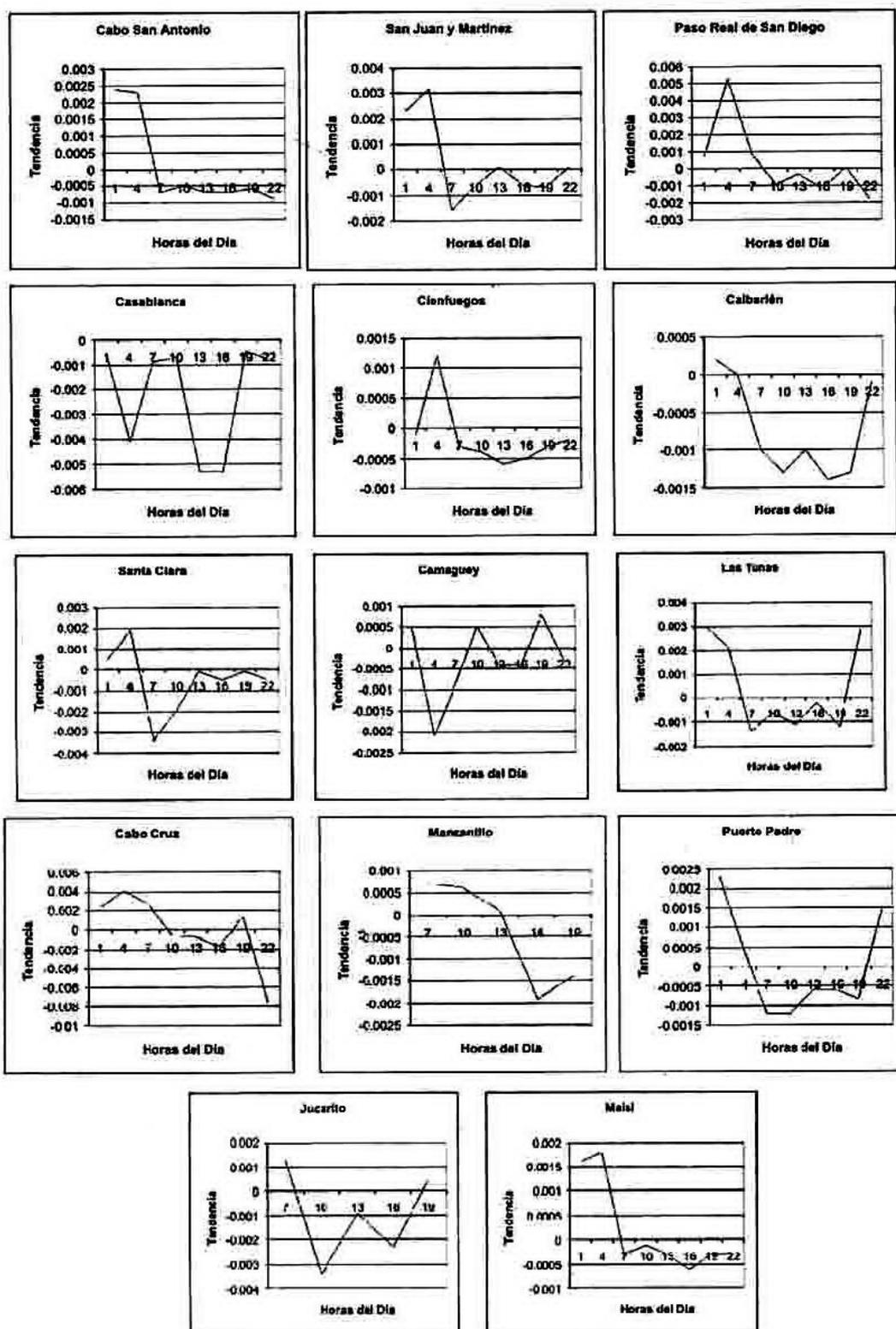


Fig. 18 Marcha diaria de la tendencia de temperatura para las 14 estaciones analizadas

Tabla 1 Elementos estimados en las 8 matrices analizadas

ESTACIÓN	Acierto	0 ± 0.1	0 ± 0.2	0 ± 0.3	0 ± 0.4	0 ± 0.5	Elementos
S J. y Martínez	52 %	79 %	87 %	92 %	95 %	97 %	168
Casablanca	56.6 %	77.2 %	85 %	91.8 %	95.5 %	98.6 %	288
Cienfuegos	45.6 %	71.6 %	76.3 %	84 %	89.3 %	94.6 %	168
Santa Clara	55.2 %	74.2 %	87.2 %	92.7 %	96.7 %	98.7 %	192
Caibarién	49 %	77.5 %	89.5 %	94.2 %	97.2 %	97.8 %	168
Camagüey	55 %	74 %	82 %	86 %	90 %	91.5 %	192
Puerto Padre	49 %	64 %	74 %	83 %	87 %	91.1 %	168
Maisi	60 %	74.6 %	81.1 %	85.2 %	88.8 %	90.1 %	192

Como puede verse en la Tabla 1 para los elementos estimados en las 8 matrices analizadas no sobrepasaron un error mayor que 0.5 % en mas del 90 % de los casos. En la figura 19 puede verse la

distribución del error para las 8 estaciones analizadas en los casos medios, máximos y mínimos. Las tres curvas difieren poco, lo que implica el gran acierto de la metodología para el periodo estimado de 4 años.

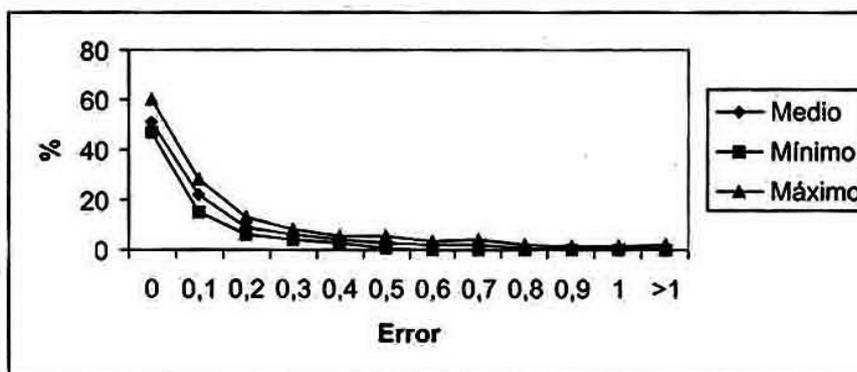


Fig. 19 Errores cometidos en la estimación para 4 años de los elementos de la matriz de Temperatura – Hora del Día para las 8 estaciones analizadas.

Una visualización mejor de la forma en que se distribuye el error de acuerdo con las estaciones (a lo largo de

Cuba) puede verse en las figuras 19 y 20 donde se nota la agrupación de isoclinas para valores del error menores que 0.3 %.

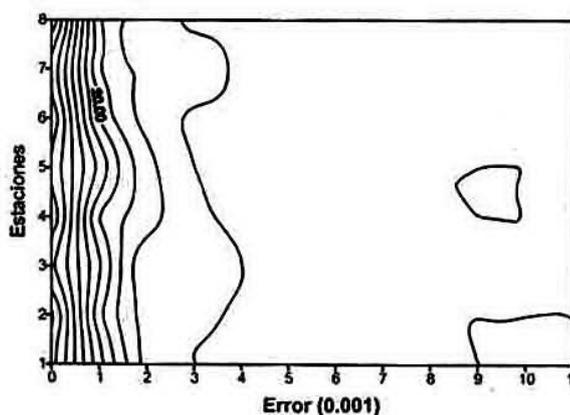


Fig. 20 Valores del error cometido en la estimación de la temperatura de acuerdo con las horas del día para las 8 estaciones analizadas. Los valores del error están acotados entre el 0.1 y el 1 %. (1. S J. y Martínez, 2. Casablanca, 3. Cienfuegos, 4. Santa Clara, 5. Caibarién, 6. Camagüey, 7. Puerto Padre, 8. Maisi)

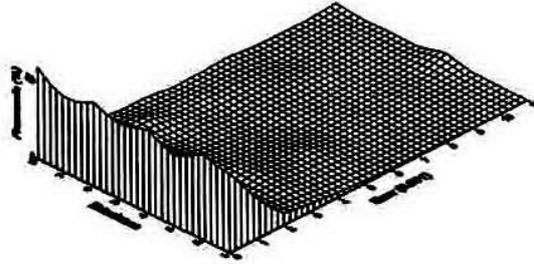


Fig. 21 Superficie de propagación del error a lo largo y ancho de la Isla de Cuba para una estimación de 4 años utilizando la nueva metodología.

Otro aspecto de interés es conocer cuando la estimación fue acertada y en cuantas oportunidades quedó por encima o por debajo del real. En la figura 22 se recogen los valores calculados de este aspecto. La línea continua representa los valores de acierto (error nulo), la de trazos cuando el valor real es mayor que el estimado y la línea de puntos cuando el valor

real es menor que el estimado. Aquí podemos ver que con excepción de Cienfuegos donde están muy próximas, las curvas difieren, presentando un porcentaje de casos mayor para los errores negativos que para los positivos, lo que implica que puede haber un error sistemático introducido en la metodología, aunque muy pequeño.

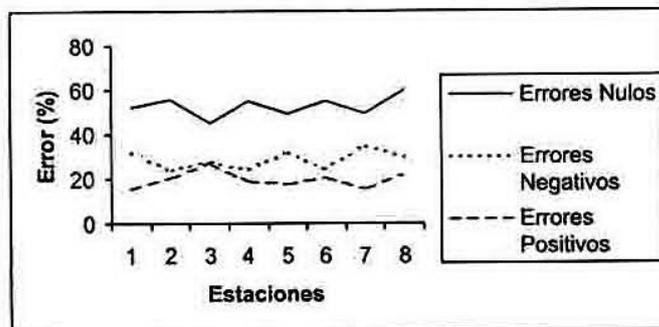


Fig. 22 Errores de la estimación nulos, por encima o por debajo del valor real. (1. S. J. y Martínez, 2. Casablanca, 3. Cienfuegos, 4. Santa Clara, 5. Caibarién, 6. Camagüey, 7. Puerto Padre, 8. Maisí)

Independientemente de que la metodología trabaja los datos por quinquenio y la muestra independiente fue de 4 años debemos analizar en el futuro la posibilidad de un error sistemático, aunque pequeño, en la metodología aplicada.

Conclusiones

En general, las frecuencias de los diferentes valores de T tienden a agruparse hacia los valores centrales de la distribución.

Los valores bajos de $T < 18^{\circ}\text{C}$ tienden a disminuir en ocurrencia al igual que los valores muy altos ($> 31^{\circ}\text{C}$).

La tendencia y la frecuencia disminuyen desde las costas hacia el centro del territorio.

Las frecuencias disminuyen desde el occidente de Cuba hacia el oriente.

Las tendencias positivas ocurren en la región extremo oriental (Cabo Cruz y en Maisí. Se debe aclarar que 3 de estas estaciones son extremos geográficos (Cabo San Antonio, Cabo Cruz y Punta Maisí).

Las tendencias negativas ocurren en todo el resto del territorio.

Las modas de T aumentan en valor absoluto de T desde occidente hacia oriente.

El rango de variación de la tendencia es estrecho en occidente, se amplía en el centro y tiene un máximo en el oriente.

La tendencia de temperatura calculada resulta en -1.9°C para el periodo.

Bibliografías

Álvarez, R. 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

Álvarez, R., Roque, A. Álvarez, L., Amaro, L., et. al. 1998: 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 las estaciones Cienfuegos, Caibarién y Santa Clara. Informe de Resultado. Departamento de Aerología. Instituto de Meteorología. CITMA.

Álvarez, R., Roque, A., Álvarez, L., et. al. 2000: Nueva metodología para el estudio de la variabilidad climática. Informe Científico Técnico, INSMET, 200 pp.

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, SBN 959-270-014-1, (E:\Paginas\Articulos\Cubanos(PDF)\Lourdes_Alvarez2.pdf)

IPCC 2001: Climate Change. The Scientific Basis. Cambridge University Press.

Abstract.

From data at 14 meteorological stations, with long series (1970 - 1998), the frequency changes in the different temperature values across the Island is analyzed. The trend for every temperature value with frequency significance of 0.1% are calculated and its behavior is analyzed in every station with an innovating methodology based on Hilbert's Spaces. The concept of «net frequency» is clarified and this magnitude is calculated, across the Island in two transversal sections, one at the center and another through the widest part. The trend variation range is calculated from west to east of the Cuban Island as well as the trend of the temperature daily march for 14 stations. The corresponding error analysis are made comparing with independent samples and in four and it is obtained that over 4 years they are less than 1%. It is concluded that low temperature values ($T < 18^{\circ}\text{C}$) have a trend to decrease, as well as very high values ($T > 31^{\circ}\text{C}$), that the frequency and its trend decrease from the coasts inland and that positive trends occur in the extreme East region and negative trends in the rest of the territory. The calculated trend of the temperature is of -1.9°C for the period.