

VARIABILIDAD CADA SEIS HORAS DE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE

Matilde M. Rusticucci y Walter M. Vargas *

Departamento de Meteorología - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

* CONICET

RESUMEN

En este trabajo se estudia el comportamiento del cambio de la temperatura cada seis horas en una estación ubicada en la periferia de la ciudad de Buenos Aires. Ese cambio se representa con la "diferencia" de temperatura en seis horas.

Se observa mayor cantidad de calentamientos que de enfriamientos pero de menor intensidad. Todas las distribuciones presentan una leve asimetría.

Estas "diferencias" pertenecen a ondas de período muy corto, lo que muestra que estos procesos se debilitan rápidamente.

En el análisis de valores extremos absolutos, se nota que su ocurrencia tiene horas preferenciales, a pesar de estar filtradas las ondas astronómicas. Es en el intervalo entre las 08 y las 14 donde se producen los mayores calentamientos y enfriamientos.

ABSTRACT

The behavior of the temperature change each six hours, in a station near the city of Buenos Aires is studied. This change is explained by the difference between 6-hourly temperatures.

The distributions are slightly assymmetric because there are more heatings than coolings but less intense.

It can be seen that those "differences" belong to short waves. They show that the processes weaken quickly.

A preferent interval occurred in the absolute extrem values analysis, in spite of the astronomical waves have been filtered. The mayor heatings and coolings are produced between 08:00 and 14:00.

INTRODUCCION

Un aspecto importante de la climatología aplicada, es la determinación de las características de la temperatura dentro de una escala menor a la diaria. Esto se puede estudiar mediante la aplicación de modelos matemáticos de ajuste, o realizando un análisis exploratorio en los datos.

Como ejemplo de la primera metodología, se puede ver en Hansen y Driscoll (1977), el desarrollo de un modelo estocástico para temperaturas horarias, o el ajuste de modelos autorregresivos a temperaturas medias diarias en Coe (1983). Gringorten(1966), utiliza una cadena de Markov para simular frecuencia y duración de distintos eventos.

La segunda metodología fue aplicada por Giles y Flocas (1984), quienes realizaron un análisis de los datos de temperatura anuales y estacionales de distintas localidades de Grecia, desde el punto de vista de su persistencia, fluctuaciones y tendencias. En un segundo trabajo Flocas y Giles (1984), aplican a estos datos el análisis espectral.

En este trabajo se aplica el análisis exploratorio para analizar el comportamiento de las temperaturas cuatridiurnas en la estación Ezeiza, provincia de Buenos Aires, (latitud = $34^{\circ} 49' S$, longitud = $59^{\circ} 32' W$).

Se caracteriza estadísticamente la variabilidad cada seis horas de la temperatura, mediante una variable derivada, a la cual se la llamó "velocidad de cambio", o simplemente "diferencia" ya que se construyó efectuando la diferencia entre dos datos consecutivos, o sea, entre dos temperaturas separadas entre sí por seis horas.

Dada la fuerte presencia de las ondas astronómicas, también se utilizan temperaturas filtradas para el cálculo, con lo cual surgen series de "diferencia" filtradas.

Fundamentalmente al trabajar con temperaturas filtradas, se pueden identificar calentamientos o enfriamientos absolutos, independientes de la hora y día de ocurrencia. Y además, evaluar la posibilidad de considerar a las series surgidas de distintas horas o días, como generadas por los mismos procesos meteorológicos.

DATOS Y METODOLOGIAS UTILIZADOS

Se utilizan los datos de temperatura correspondientes a las horas 02, 08, 14 y 20 (hora local), en el período 1968/1980, suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional.

Con los mismos se construyen las series de "diferencia" de temperatura cada seis horas (DT), de la siguiente forma:

$$DT_i(h, h+6) = T_i(h+6) - T_i(h)$$

donde: T = temperatura, i = día (1/1/68 al 31/12/80), h = hora (02, 08, 14).

Para el caso h = 20:

$$DT_i(20, 02) = T_i(02) - T_{i-1}(20)$$

Para estimar las ondas astronómicas presentes en los datos, como ya se discutió en Vargas y Rusticucci (1988), se aplicó el análisis de Fourier a los promedios diarios sobre los trece años estudiados y se reconstruyó la onda anual con el primero y el segundo armónico.

Lo que se obtiene con esta metodología es una onda anual suavizada, la cual es realmente determinística (Trenberth, 1984). Esto se realiza hora por hora, de manera que al restar se filtre también la onda diaria.

Se obtuvieron las funciones de distribución de las series sin filtrar (DT) y filtradas (DT'), funciones de autocorrelación, y funciones de distribución conjunta entre DT'(h, h+6) y T'(h).

RESULTADOS OBTENIDOS

Como era previsible, en las distribuciones de DT, se nota la fuerte influencia de las horas entre las cuales fueron calculadas por ejemplo, en el valor medio y en el intervalo intercuartil, como se muestra en la tabla I. Aquí se observa la asimetría de la onda diaria. Se puede notar en los valores medios, que éstos cambian dependiendo del intervalo horario.

Tabla I: Parámetros estadísticos de las muestras de "diferencia" sin filtrar (DT), y filtradas (DT'). Para los cuatro intervalos horarios (INT.HOR), Período 1968/80, Estación Ezeiza. Valor medio (VM), desviación standard (S), intervalo intercuartil (IQR).

INT.HOR	SIN FILTRAR			FILTRADAS		
	VM(°C)	S(°C)	IQR(°C)	VM(°C)	S(°C)	IQR(°C)
20,02	-2.8	2.4	[-4.4; -1.2]	0.0	2.3	[-1.5; 1.6]
02,08	2.1	3.1	[-0.1; 4.2]	0.0	2.5	[-1.5; 1.7]
08,14	6.3	3.3	[4.4; 8.4]	0.0	3.2	[-1.8; 2.1]
14,20	-5.6	2.5	[-7.4; -4.0]	0.0	2.5	[-1.7; 1.6]

Al filtrar las ondas astronómicas, en las cuatro distribuciones el valor medio es cero y la desviación standard prácticamente no varía con respecto al caso de DT. En función de estos dos parámetros, el test de Student para dos muestras (Brooks and Carruthers, 1953), indica que las cuatro muestras, vistas desde su promedio, tomadas de a pares, provienen de la misma población.

En concordancia con resultados expuestos por Wölken(1954), quien estudió el avance de masas de aire sobre esta región, se observan mayor cantidad de calentamientos que de enfriamientos, pero de menor intensidad, por lo tanto, todas las distribuciones presentan una leve asimetría.

En particular, la muestra de DT'(08,14) conserva una mayor desviación standard a pesar del filtrado. Cabría mencionar aquí que, dada la muestra de datos que se utiliza, la diferencia entre las temperaturas de las horas 14 y 08 sería la representación más cercana de la amplitud diaria.

La correlación entre una "diferencia" y la correspondiente a las seis horas subsiguientes, es notablemente más baja que la de la temperatura misma, (Vargas y Rusticucci, 1988), medido con el primer coeficiente de autocorrelación. El mismo es significativamente distinto de cero con una significancia del 99%, según el test postulado en Mitchell(1966), y siempre negativo para todos los años (tabla II); lo que muestra que las series de DT' están dominadas por un proceso fluctuante. O sea, los calentamientos o enfriamientos absolutos son poco persistentes.

Tabla II: Primer coeficiente de autocorrelación para las series anuales de DT', cuatridiurnas, Estación Ezeiza.

COEFICIENTE CRITICO AL 99% = $\pm 0,06$.
 CANTIDAD DE DATOS DE CADA AÑO = 1460 a 1464.
 COEFICIENTE MEDIO = -0,19
 INTERVALO DE CONFIANZA 99% = [-0,28; -0,10]

AÑO	COEF.
1968	-0.21
1969	-0.17
1970	-0.21
1971	-0.18
1972	-0.15
1973	-0.17
1974	-0.18
1975	-0.16
1976	-0.19
1977	-0.21
1978	-0.18
1979	-0.25
1980	-0.16

Seguidamente, se analiza la variabilidad interanual de estos procesos. Para ello se calcula el intervalo de confianza de un proceso representado por el primer coeficiente de autocorrelación medio del período (Hoel, 1976).

Los resultados muestran, por un lado, que todos los años pertenecen a una muestra homogénea con respecto a esta propiedad. Por el otro, que la variabilidad en alta frecuencia es más regular y acentuada en el año 1979, haciéndose más aleatorio en el año 1972.

Como paso inicial hacia la caracterización estadística del pasaje de sistemas sinópticos para esta región, se analizan los extremos de las distribuciones de DT'.

Identificando los enfriamientos absolutos mayores a -5°C , y analizando su ocurrencia en los cuatro intervalos horarios, se nota el fuerte predominio del intervalo (08,14) sobre el resto (ver tabla III). A medida que se aumenta este límite, aumenta también la mayor ocurrencia para la muestra (08,14).

No se encuentra una causa sinóptica que justifique este comportamiento preferencial, en temperaturas donde se ha filtrado la onda diaria. Es posible suponer que el filtrado no sea suficiente, quizá considerando la varianza en cada hora, se logre eliminar completamente la fuerte influencia de la onda diaria en la temperatura, aunque fuera más compleja su interpretación. Un estudio con mapas sinópticos podría dilucidar esta duda.

Tabla III: Cantidad de enfriamientos absolutos superiores a 5°C, y el porcentaje que representan. Período 1968/80. Cantidad de casos observados: 698. Porcentaje en el total de datos: 3.7%.

INT.HOR	CANT.CASOS	PORCENTAJE
20,02	97	14
02,08	159	23
08,14	351	50
14,20	91	13

Un aspecto importante a analizar en la ocurrencia de estos extremos, es un indicio de estacionalidad que podría presentarse. Esto se puede ver en la tabla IV, donde se muestra la frecuencia porcentual de ocurrencia mensual de "diferencia" superior a 5°C, en los cuatro intervalos horarios. Esto podría mostrar la diferente respuesta de la atmósfera a un cambio "no astronómico" de temperatura, según la época del año y la hora del día.

Sin embargo, un Análisis de Varianza de estas frecuencias muestra que el único efecto importante en esta discriminación, lo constituye las horas y no los meses (ver Tabla V).

En particular, si se extraen las DT'(08,14) del conjunto, esta significancia desaparece. Por lo tanto es éste el intervalo horario que produce que estas frecuencias no se produzcan al azar.

Tabla IV: Ocurrencia porcentual (%) de $|\Delta T| > 5^\circ\text{C}$ en las muestras correspondientes a los cuatro intervalos horarios, discriminados por meses. Totales anuales y mensuales. Período 1968/80. Cantidad total de casos = 1178. Porcentaje en el total de datos (18996) = 6.2%.

INT.HOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
20,02	2.1	0.8	0.4	0.7	1.3	0.8	0.8	0.8	0.7	1.4	1.6	1.4	12.4
02,08	2.0	1.5	1.2	0.8	0.8	0.5	0.5	1.2	1.0	2.7	3.5	3.5	19.2
08,14	1.9	2.6	2.3	3.6	6.5	7.4	8.6	6.7	2.6	2.5	1.3	1.8	48.0
14,20	2.1	1.1	1.5	1.6	2.4	2.6	1.7	1.6	2.0	1.3	0.7	1.7	20.4
MENSUAL	8.1	6.0	5.4	6.7	1.0	1.3	1.6	0.3	6.3	7.9	7.1	8.4	

Tabla V: Análisis de varianza de las frecuencias porcentuales de ocurrencia de $DT' > 5^{\circ}C$

S.C.: Suma de cuadrados - G.L.: Grados de libertad - C.M.: Cuadrados medios.

EFFECTO	S.C	G.L	C.M	F	P(>F)
TOTAL	151	47			
HORA	60	3	20.0	8.5	0.0002
MES	13	11	1.2	0.5	0.8800
RESIDUAL	77	33	2.3		

Se evalúa el posible condicionamiento de la ocurrencia de un calentamiento o enfriamiento en seis horas ($DT' > 6 \leq 0$), por el valor de la temperatura de la que se parte, ya sea ésta más caliente o más fría ($T' > 6 \leq 0$), que la onda astronómica.

Para ello se calcularon las distribuciones de ocurrencia conjunta $DT'(h,h+6)/T'(h)$. A simple vista, se nota que el estado térmico de la atmósfera tiende rápidamente al estado medio, en los tres conjuntos horarios (02,08), (08,14) y (14,20), ya que las mayores frecuencias se presentan en las celdas de distinto signo, (ver tabla VI).

Un comportamiento diferente presenta la distribución conjunta $DT'(20,02)/T'(20)$, ya que aparentemente, si la temperatura de partida es más fría que la media ($T' \leq 0$), el aire tiende a enfriarse en las siguientes seis horas.

Tabla VI: Frecuencia porcentual de ocurrencia conjunta entre $DT'(h+6,h)$ y $DT'(h)$. Estación Ezeiza. Período 1968/80.

DT' 02,08	T' 02	
	≤ 0	> 0
≤ 0	17	32
> 0	32	19

DT' 08,14	T' 08	
	≤ 0	> 0
≤ 0	17	30
> 0	33	20

DT' 14,20	T' 14	
	≤ 0	> 0
≤ 0	21	32
> 0	31	16

DT' 20,02	T' 20	
	≤ 0	> 0
≤ 0	31	19
> 0	21	30

Estas ocurrencias no son al azar, según lo detecta el test de Chi-cuadrado aplicado según Siegel (1956) a cada uno de los cuatro casos.

Al discretizar estas distribuciones en intervalos de 1°C de ancho, se observan las mismas características: dada una T' considerablemente más caliente que la media, le corresponde en las próximas seis horas un enfriamiento de notable magnitud, y viceversa. Excepto en el grupo horario (20,02), como en el caso menos detallado.

CONCLUSIONES

Dadas las temperaturas filtradas correspondientes a las horas 02:00, 08:00, 14:00 y 20:00, de la estación Ezeiza, se construyen series de cambio de la temperatura en seis horas (DT').

- En las distribuciones de DT' se observa una leve asimetría que muestra la existencia de mayor cantidad de calentamientos que de enfriamientos, pero de menor intensidad.
- Los calentamientos o enfriamientos absolutos (filtradas las ondas astronómicas), son de corta duración, mostrando en general un proceso aleatorio.
- Los mayores valores de DT' se presentan en el intervalo horario (08,14), a pesar de haber sido filtrada la onda diaria. O sea, los enfriamientos extremos tienen hora preferencial de ocurrencia. Dada la muestra de datos que se utiliza, el DT'(08,14) es el más representativo de la amplitud térmica diaria, y probablemente este filtrado resulte insuficiente como para eliminar esta porción de la onda diaria.
- En general la respuesta de la atmósfera a una temperatura extrema (mucho más fría o más caliente que la media), es la de tender al estado medio en las próximas seis horas, excepto en el intervalo horario (20,02), donde, si se parte con una temperatura a la hora 20 más fría (más caliente) que la media, el DT'(20,02) es negativo (positivo), o sea, tiende a enfriarse (calentarse) más.

REFERENCIAS

- Brooks, D. and Carruthers, B., 1953: Handbook of Statistical Methods in Meteorology; Her Majesty's Stationery Office, London.
- Coe, R., 1983: Useful Models of Temperature Data; presentado en II International Meeting on Statistical Climatology, Lisboa, Portugal.
- Flocas, A., Giles, B., 1984: Air Temperature Variations in Greece. Part 2. Spectral Analysis; J.Climatology, 4, 541-546.
- Giles, B., Flocas, A., 1984: Air Temperature Variations in Greece. Part 1. Persistence, Trend and Fluctuations; J.Climatology, 4, 531-539
- Gringorten, I., 1966: A Stochastic Model of the Frequency and Duration of Weather Events.; J.Appl.Met., 5, 606-624.
- Hansen, J., Driscoll, D., 1977: A Mathematical Model for the Generation of Hourly Temperatures; J.Appl.Met., 16, 935-948.
- Hoel, P., 1976: Introducción a la estadística matemática; Editorial Ariel, Barcelona, España.
- Mitchell, J. et al., 1966: Climatic Change, WMO Tech. Note N°79, WMO N°195, TP 100.
- Siegel, S., 1956: Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences, Mc. Graw - Hill, N.Y.
- Trenberth, K., 1984: Some Effects of Finite Sample Size and Persistence on Meteorological Statistics. Part II: Potential Predictability; Mon.Wea.Rev., 112, 2369-2379.
- Vargas, W., Rusticucci, M., 1988: Propiedades y procesos dominantes de una serie cuatriderurna de temperatura, GEOACTA, 15, 145-154.
- Wölken, K., 1954: Algunos aspectos sinópticos de la lluvia en la Argentina, Meteoros, IV, 327-366.