

CARACTERIZACIÓN TEMPORAL DEL RÉGIMEN TÉRMICO INTRAANUAL EN ANDALUCÍA OCCIDENTAL

Leoncio GARCIA BARRÓN*; Julia MORALES**; Vicente JURADO*** y
Arturo SOUSA**

*Departamento de Física Aplicada II. Universidad de Sevilla

** Departamento de Ecología y Biología Vegetal. Universidad de Sevilla

*** Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía

RESUMEN

A partir de la consideración de la distribución intraanual tipo, se analizan las series diarias de temperaturas máximas y de temperaturas mínimas, agrupadas por fechas, en el periodo 1951 a 2001 en observatorios de Andalucía Occidental. El análisis de las series de fecha nos permite determinar el perfil del comportamiento general y obtener conclusiones acerca de la evolución interanual. Se resalta la tendencia interanual generalizada al calentamiento en el conjunto de los días del año, más marcada en las temperaturas mínimas.

Palabras clave: Temperaturas diarias, series de fecha, calentamiento, Andalucía Occidental.

ABSTRACT

With base in the intraannual distribution type, the maximum and minimum daily series of temperature in period 1951 to 2001 in observatories of Western Andalusia are analyzed. It allows to determine its general behavior us and to obtain conclusions about the temporary evolution. The tendency to the heating is emphasized, more marked in the minimum temperatures.

Key words: Daily temperatures, series of date, heating, Western Andalusia

1. INTRODUCCIÓN

El informe acerca de “Impactos del cambio climático en España”, en el capítulo inicial sobre “El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI” (CASTRO *et al.*, 2004) únicamente hace referencia al calentamiento observado en la temperatura media anual y comentarios a las isotermas resultantes de los meses de enero y julio. Sólo al tratar las temperaturas extremas, y posteriormente al considerar los efectos sobre la salud, se citan temperaturas diarias. Aunque el capítulo mencionado sea sólo de un resumen introductorio es una muestra significativa de que los análisis de la variabilidad térmica están generalmente basados en las series de promedios mensuales, estacionales o anuales de las temperaturas máximas y mínimas. La revisión bibliográfica de los artículos publicados en los sucesivos volúmenes de la AEC sirve de confirmación.

Existe una amplia bibliografía sobre variabilidad térmica en periodos largos, superior al treintenio, que emplea distintos métodos de análisis y con diferentes orientaciones, pero con

la característica común de que se basan sobre las respectivas series mensuales. No son frecuentes, sin embargo, las referencias bibliográficas acerca de la caracterización temporal de las temperaturas basadas directamente en los registros diarios (YANG *et al.*, 2002), salvo para detectar sucesos extremos, principalmente olas de calor (MIRÓ, 2004; LÓPEZ DIAZ, 2004; RODRÍGUEZ-PUEBLA *et al.*, 2004). Consideramos, sin embargo, que el análisis general basado en datos diarios es un método alternativo y complementario a otros estudios sobre la evolución de las temperaturas. Constituye un procedimiento que puede poner de manifiesto peculiaridades que de otro modo pasarían inadvertidas.

Asumimos que la energía solar es el origen del comportamiento climático global. La variación de temperaturas en un determinado marco geográfico está directamente relacionada, en primer término, con la energía incidente de tal forma que la periodicidad de los movimientos planetarios induce el ritmo térmico terrestre. El movimiento de rotación genera la variación diaria, con máximos diurnos y mínimos nocturnos, y el movimiento de traslación orbital da lugar a la oscilación estacional. Desde la sencilla experiencia directa, constatamos la repetición periódica de la temperatura. Con independencia de la influencia del acoplamiento general del sistema climático y de las perturbaciones ocasionales, es posible ajustar la distribución intraanual de temperatura a funciones matemáticas simples, tanto para las temperaturas máximas diarias como para las mínimas. Para estaciones meteorológicas del suroeste español, un ajuste polinómico de 4º grado explica más del 90 % de la varianza intraanual de la distribución de temperaturas diarias (GARCÍA-BARRÓN y PITA, 2003); a esta función de ajuste se superpone un sistema de desviaciones residuales en dientes de sierra. Si tomamos como referencia un periodo de actividad solar (once años) y calculamos el promedio durante los 11 años de los 365 valores diarios correspondientes, la suavización de las desviaciones aleatorias que los distintos años introducen en el ciclo anual de temperaturas, nos permite esbozar el comportamiento habitual de dicho ciclo de modo que la función de ajuste explica hasta el 98 % de la varianza. Es decir, la sucesión de temperaturas diarias a lo largo del año presenta un perfil cuya componente cíclica es altamente predominante, tal que la podemos expresar como una función $T = f(t)$, donde T indica el valor de la temperatura de un día determinado, siendo t el ordinal de tal día en la sucesión en el ciclo anual.

A partir de la consideración de temperatura diaria inserta en el ciclo anual, pretendemos presentar desde una nueva perspectiva conclusiones sobre la evolución térmica, y poner de manifiesto, aspectos del comportamiento de la temperatura que no son suficientemente resaltados por los procedimientos habituales fundados en el análisis de las series de promedios mensuales. La investigación se ha desarrollado en dos fases sucesivas. En la primera, el análisis se centra en la caracterización del régimen térmico intraanual en Andalucía Occidental, basado en los registros de temperatura diaria. Los resultados de esta fase se recogen en el presente artículo. Una fase posterior analiza la evolución temporal de la distribución intraanual de temperatura, a partir de niveles de referencia en cada una de las series de fecha.

2. OBSERVATORIO. DATOS

El estudio se centra en las series de temperaturas diarias -máximas y mínimas- del observatorio Sevilla-Aeropuerto (5783) durante el periodo 1951 a 2001. La ausencia de registros durante este periodo es inferior al 0'5 %, y se han rellenado a partir de los datos de la base aérea próxima de Tablada (5790), por medio de la recta de regresión por mínimos cuadrados. Posteriormente las series completas se han sometidos a pruebas de

inhomogeneidad relativa (GARCÍA-BARRÓN y PITA, 2001), admitiéndose la calidad de las series objeto de estudio. El aeropuerto se encuentra en el área periférica de la ciudad y, si bien Sevilla ha experimentado en los últimos decenios una importante expansión urbana, podemos considerar que el entorno próximo del emplazamiento de la estación meteorológica ha mantenido condiciones ambientales relativamente estables por lo que el posible efecto de la isla térmica urbana no se considera relevante.

Aun cuando el estudio directo se centra en los datos de Sevilla-Aeropuerto, es posible la generalización de las conclusiones al ámbito climático regional. Para que tal ampliación a Andalucía Occidental sea correcta es preciso comprobar si observatorios regionales presentan una evolución temporal similar. Con esta finalidad hemos elegidos las series de los observatorios de Córdoba (5402) situado al este, en la zona media del valle del Guadalquivir, y Huelva (4246E) situado al oeste y sometido a la influencia marítima directa. Para realizar el contraste hemos calculado los coeficientes de correlación existentes entre los respectivos registros diarios, agrupados estacionalmente, durante la década 1990-2000. Durante este periodo, prácticamente sin “lagunas” de datos, no ha habido desplazamientos ni modificación del material y no se han detectado inhomogeneidades relativas por lo que admitimos que las respectivas series poseen la calidad requerida.

	Temp. Máximas				Temp. mínimas			
	Otoño	Inviern	Primav	Verano	Otoño	Inviern	Primav	Verano
Córd/Sev	0.97	0.88	0.95	0.93	0.93	0.83	0.84	0.80
Huel/Sev	0.96	0.80	0.92	0.91	0.92	0.81	0.87	0.82

Tabla 1. PROMEDIO ESTACIONAL DE 11 AÑOS DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DIARIAS.

En la tabla 1 observamos que, incluso en los casos de menor correspondencia entre Sevilla y los observatorios elegidos, los respectivos coeficientes de correlación de Pearson alcanzan el valor 0,80. Interpretamos que aunque con distintos valores absolutos, en general, las condiciones térmicas regionales son debidas al mismo sistema sinóptico. Por ello, las modificaciones de las situaciones meteorológicas repercuten cuasi simultáneamente y con similar intensidad térmica en los observatorios regionales, lo que se manifiesta en la análoga evolución diaria.

3. PROPUESTA METODOLÓGICA.

Establecemos que pertenecen a la misma “*fecha*” aquellos días que ocupan la misma posición en el ciclo anual en los distintos años. La metodología que proponemos se basa en las 365 series de fechas (prescindimos del 29 de febrero), formada cada una de ellas por los respectivos 50 elementos de los sucesivos años objetos de estudio, desde 1951 a 2001. A cada fecha le corresponden a su vez dos series temporales: de temperaturas máximas diarias y de temperaturas mínimas diarias. Obsérvese que la irregularidad pluviométrica en las áreas de clima mediterráneo haría inadecuados procedimientos similares para el análisis de precipitación.

En primer lugar se realiza el estudio descriptivo de ambos sistemas de series y se comparan para comprobar las posibles coincidencias y divergencias de comportamiento. Posteriormente, se considera la distribución a lo largo del año de las temperaturas diarias, para resaltar aquellos aspectos internos a la organización intraanual que, a su vez, están conectados en la evolución interanual. No deben existir conclusiones contradictorias en cuanto a la evolución térmica según el método de análisis empleado. De este modo pretendemos destacar la complementariedad de los respectivos enfoques basados en diferente escala temporal.

4. DESCRIPCIÓN DEL “AÑO TIPO”

En este apartado realizamos la descripción del comportamiento térmico habitual a lo largo del año, por lo que prescindimos del orden cronológico interanual. Para cada una de las 365 series de fechas de 50 elementos calculamos el promedio de los valores. Obtenemos una serie de temperatura máximas y una serie de temperatura mínima, que permiten establecer los perfiles suavizados del “año tipo”, representados en la figura 1. Aún cuando hay semejanza entre las ondas representativas de la distribución de las temperaturas, éstas muestran ligeros desfases entre sí: las temperaturas mínimas alcanzan su nivel inferior en invierno con retraso respecto de las temperaturas máximas.

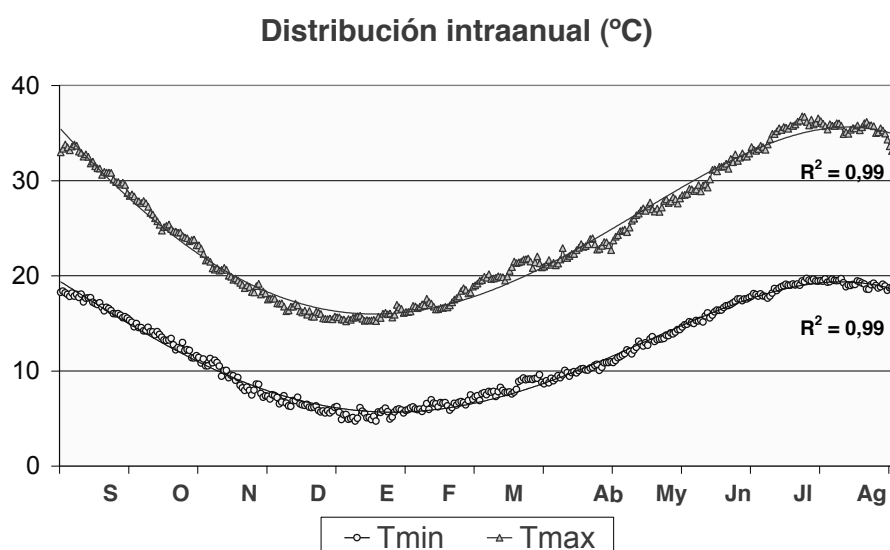


Fig. 1. Distribución del promedio de las temperaturas diarias a lo largo del año

Podemos observar que el diferencial térmico diario –“la amplitud” de la banda entre ambas ondas- es mayor en verano. Para mayor claridad, en la figura 2 se muestra la distribución intraanual del diferencial térmico diario entre temperaturas diurnas y nocturnas. Se percibe la suave pendiente ascendente desde las fechas de diciembre hasta las de julio, para iniciar un descenso más pronunciado durante las fechas de otoño. Por tanto, no es correcto admitir un comportamiento intraanual que pueda describirse por una función simétrica, como simplificada e intuitivamente pudiera suponerse.

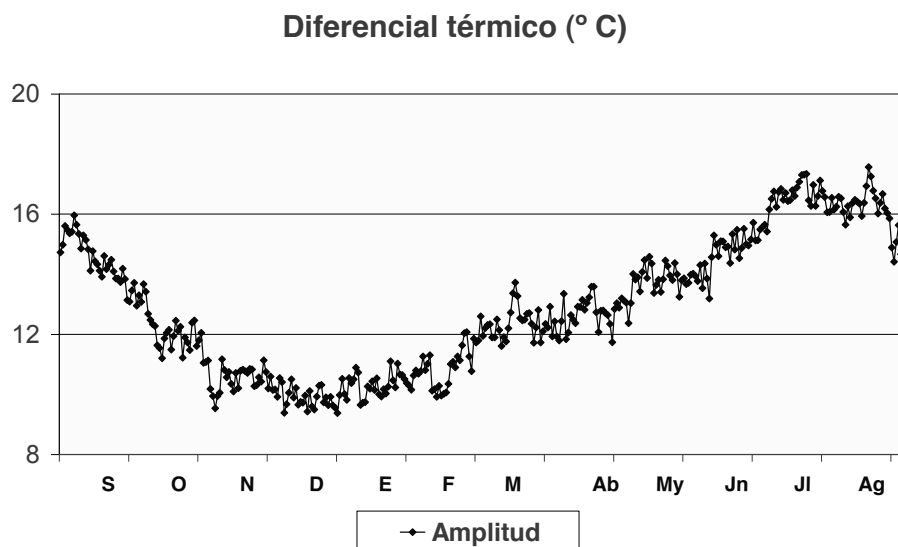


Fig. 2. Amplitud del rango térmico diaria a lo largo del año

Las figuras 3 a y b muestran la desviación típica a lo largo del año, referida a los 50 elementos de la respectiva serie de cada fecha. Valores bajos indican que la temperatura registrada en un día de una fecha determinada es estadísticamente aproximada a la temperatura prevista en el modelo, mientras que valores altos de la desviación típica implican mayor oscilación de los registros alrededor del promedio interanual calculado.

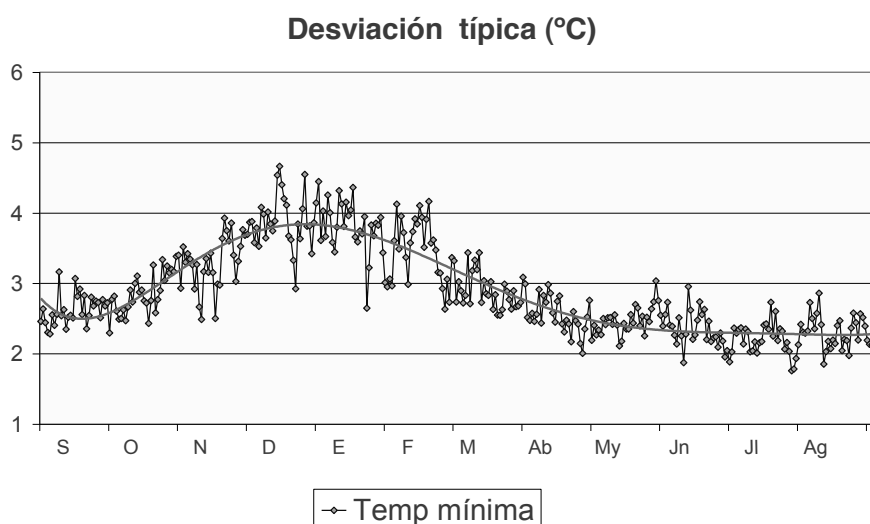


Fig. 3 a. Desviación típica de cada una de las series de fecha de las temperaturas mínimas

Se detecta el distinto comportamiento de las desviaciones típicas de las temperaturas diarias máximas y mínimas. Las series de temperaturas mínimas alcanzan los valores superiores (de 3,5 a 4,5 °C) en las fechas de noviembre a febrero, y progresivamente decaen para estabilizarse al nivel de 2,5 °C de mayo a septiembre. Por contra, las series de temperaturas máximas presentan desviaciones inferiores en las fechas de noviembre a febrero y los

superiores en las de abril a julio. Salvo la citada estabilidad veraniega, la gráfica sugiere semejantes perfiles cíclicos de las temperaturas máximas y mínimas, pero en oposición de fase.

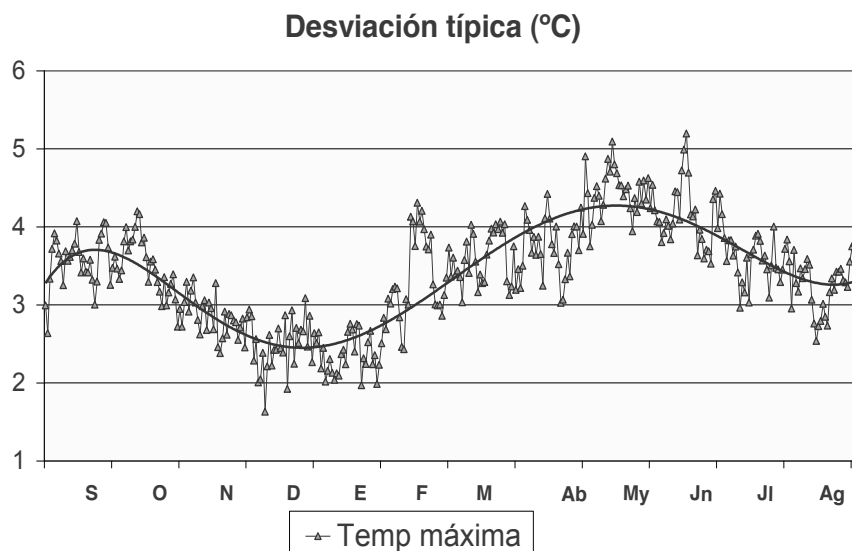


Fig. 3 b. Desviación típica de cada de las series de fecha de las temperaturas máxima

Considérense los significados complementarios implícitos en las figuras 1 y 3. En la figura 1 se ha realizado el ajuste del perfil tipo anual -promedio de las 365 series de temperaturas- a la curva de la función representativa del año completo. La figura 3 indica las desviaciones de los 50 elementos de cada serie de fechas respecto de su respectivo valor central. Por ejemplo: grandes oscilaciones de distinto signo durante una fecha (desviación típica alta) se compensan de modo que el valor promedio puede ajustarse bien en esa fecha al valor de la función. En este ejemplo, alta desviación típica diaria se corresponde con baja desviación residual en el ajuste anual.

5. TENDENCIA DE LAS SERIES DE FECHAS

Si admitimos la hipótesis que las temperaturas en el área de estudio están sometidas a un proceso de calentamiento secular, puesto de manifiesto por otros métodos (GARCÍA-BARRÓN y PITA, 2004), el análisis de tendencia de las series de fechas debe producir resultados concordantes. El método aplicado consiste en calcular coeficientes de las rectas de tendencia de cada una de las 365 series temporales de fecha durante el periodo de estudio. Las figuras 4 a y b representan estos valores para las temperaturas máximas y las temperaturas mínimas.

Para las temperaturas mínimas, con distinta significación, 324 series de poseen pendiente ascendente (89 %) y únicamente 41 (11 %) son descendentes. El promedio del coeficiente lineal para el conjunto de las series resulta 0,037 °C/año, equivalente a un calentamiento de 1,8 °C en la segunda mitad del siglo XX. Observamos que la distribución del coeficiente lineal es suficientemente uniforme a lo largo del año, aunque con mayor concentración de

valores superiores a $0,05\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ en las fechas a final de primavera y verano. Interpretamos que el calentamiento es generalizado durante todas las fechas del año, pero ligeramente más pronunciado en esa época.

En comparación, el análisis de las series de fechas de las temperaturas máximas presenta características marcadamente distintas: 247 series de temperaturas máximas poseen carácter ascendente (68 %) y 118 (32 %) son descendentes. En este caso, el promedio del coeficiente lineal para el conjunto de las series resulta $0,018\text{ }^{\circ}\text{C/año}$, equivalente a un calentamiento inferior a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ desde 1951. Además, la distribución del coeficiente a lo largo del año es irregular, con mayor concentración de valores negativos –tendencia al enfriamiento interanual- a final de verano y principio de otoño. Puede interpretarse que, aunque globalmente las temperaturas máximas experimentan calentamiento interanual, el incremento térmico no mantiene el signo durante todo el año. En particular, tienden a aumentar con mayor intensidad (en torno a $0,1\text{ }^{\circ}\text{C/año}$) las temperaturas diurnas de las fechas de final de invierno y principio de primavera, lo que sugiere un adelanto de las condiciones térmicas que favorecen la actividad vegetativa de las plantas.

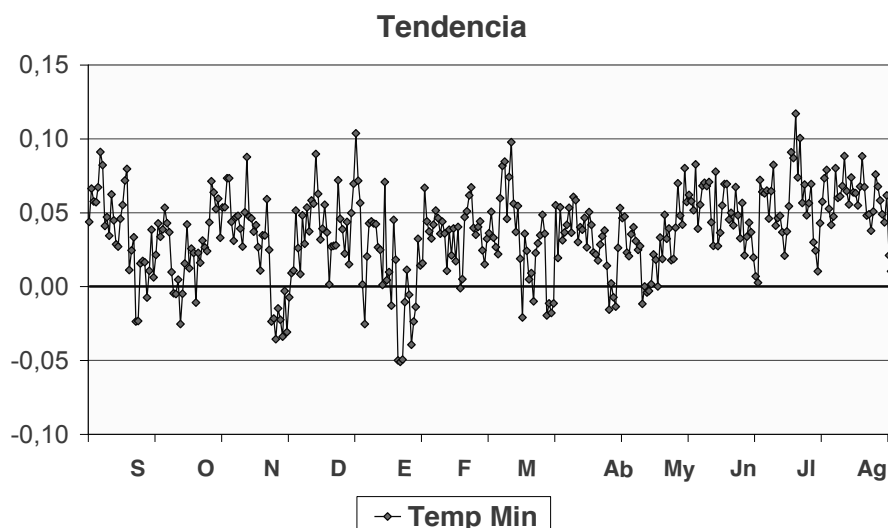


Fig. 4 a. Coeficientes ($^{\circ}\text{C/año}$) de la tendencia lineal de las temperaturas mínimas para cada una de las series de fecha

De mantenerse durante las próximas décadas la evolución detectada al inicio de primavera en las temperaturas máximas diarias–asociada a la tendencia negativa de la precipitación (GARCÍA-BARRÓN, 2002)- podría conllevar posibles efectos ambientales sobre la vegetación. A su vez, se detecta la progresiva moderación de los extremos diurnos durante agosto, aspecto este de interés en el estudio de las olas de calor y su repercusión en la salud. Esta última deducción, sin embargo, tiene que ser contrastada con aquellos estudios que predicen un incremento de la variabilidad térmica y, en consecuencia, más frecuente probabilidad de ocurrencia de sucesos extremos.

Aunque admitimos que el efecto de isla de calor no es relevante, y que el incremento térmico registrado es debido a causas climáticas, para descartar plenamente la influencia urbana pretendemos verificar, en posteriores estudios, los resultados con los observatorios del área de

Doñana, alejados de grandes núcleos de población. Esto permitirá extender y generalizar las conclusiones al suroeste peninsular.

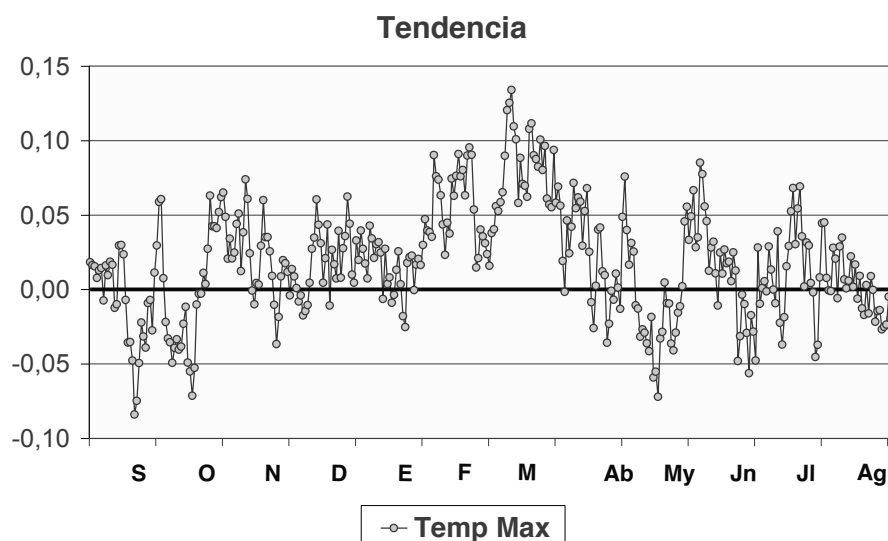


Fig 4 b. Coeficientes ($^{\circ}\text{C}/\text{año}$) de la tendencia lineal de las temperaturas máximas para cada una de las series de fecha

6. CONCLUSIONES

Metodológicamente, el cambio de escala temporal adoptado al utilizar directamente las series de fechas, aporta resultados complementarios no contemplados por otras vías y precisa, con interpretaciones más ajustadas, las conclusiones previamente formuladas por otros procedimientos, en el área de estudio del occidente andaluz.

Se muestran los desfases relativos en los perfiles de distribución intraanual del año tipo entre las temperaturas máximas y mínimas, y la asimetría de la amplitud del rango diario a lo largo del ciclo anual.

Se detecta la discordancia del perfil de la distribución intraanual de las desviaciones típicas, respecto de los valores teóricos del año tipo, de las correspondientes series de fechas entre las temperaturas máximas y mínimas. Gráficamente resalta la oposición de fase de las ondas características que las representan.

Se confirma la diferente pendiente de las líneas de tendencia interanual, expuestas en anteriores trabajos. El calentamiento promedio experimentado por las temperaturas mínimas es de $0,037\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{año}$, mantenido casi uniforme a lo largo del ciclo anual, frente a sólo $0,018\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{año}$ de las temperaturas máximas con marcada irregularidad intraanual. Por sus posibles efectos ambientales destaca el previsto incremento de las temperaturas máximas coincidiendo con las fechas de inicio de primavera.

Consideramos que las diferencias cuantitativas indicadas entre los patrones evolutivos de las temperaturas máximas y mínimas son propias del sistema climático regional, por lo que se

requiere una diferenciación al formular las hipótesis del calentamiento debido al cambio climático.

7. REFERENCIAS

- CASTRO, M.; MARTIN-VIDE, J. y ALONSO, S. (2004). Impactos del cambio climático en España en *El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI*. Ministerio de Medio Ambiente.
- GARCÍA BARRÓN, L. y PITA, M.F. (2001). Propuesta metodológica para determinación de inhomogeneidades relativas en las series de observaciones. En: *El tiempo del clima*, A.E.C. serie A, nº 2. pp. 87-94.
- GARCÍA BARRÓN, L. (2002). Evolución de las precipitaciones estacionales en el suroeste de la Península Ibérica: posibles efectos ambientales en *El agua y el clima*, A.E.C. serie A nº 3, pp. 209-218.
- GARCÍA BARRÓN, L. y PITA, M.F. (2003). “Aproximación al comportamiento intraanual de las temperaturas diarias en el suroeste de la Península Ibérica”. *Revista de Climatología*. Vol 3, pp. 17-26.
- GARCÍA BARRÓN, L. y PITA, M.F. (2004). “Stochastic analysis of time series of temperatures in the south-west of the Iberian Peninsula” *Atmósfera*. Vol. 17- 4. pp. 225-244.
- LOPEZ DIAZ J.A. (2004). Análisis de tendencias en olas de calor a partir de series largas de temperatura. *El clima, entre el mar y la montaña*. AEC. Serie A, nº 4, pp. 347-354.
- MIRÓ, J. y ESTRELA, MJ. (2004). Tendencia de la temperatura en los meses de Julio y Agosto en la Comunidad Valenciana en las últimas décadas: Cambios en la frecuencia de días calurosos. *El clima, entre el mar y la montaña*. AEC. Serie A, nº 4, pp. 389-398.
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C.; FRÍAS, MD. y ENCINAS A. (2004). *Relaciones entre los extremos de temperatura máxima y patrones de circulación en el Atlántico Norte*. XXVIII Jornadas Científicas, La Meteorología y el Clima Atlantico, AME, Badajoz.
- YANG, Z.; JONES, PD.; DAVIES, TD; MOBERG A.; BERGSTRÓM, H.; CAMUFFO, D.; COCHEO, C.; MAUGERI, M.; DEMAR´EE, GR.; VERHOEVE, T.; THOEN, E.; BARRIENDOS, M.; RODRIGUEZ, R.; MARTÍN VIDE, J. y YANG C. (2002). “Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations”. *Climatic Change* 53, pp. 355–392.