

Aproximación al comportamiento intraanual de las temperaturas diarias en el suroeste de la Península Ibérica

Leoncio García Barrón¹ y M^a Fernanda Pita²

¹ Dpto. de Física Aplicada II. Univ. de Sevilla <leoncio@us.es>

² Dpto. de Geografía Física y AGR. Univ. de Sevilla

(Recibido: 17-Oct-2003. Publicado: 14-Nov-2003)

Resumen

Con base en los datos de las series temporales de temperaturas diarias, máximas y mínimas, de los observatorios de la región suroccidental española se realiza el análisis del comportamiento intraanual de las mismas. Se obtienen las funciones de ajuste que representan la evolución estacional y anual, y se analizan las disimilitudes observadas entre las temperaturas máximas y mínimas. Se muestra que los distintos observatorios de la región responden a características evolutivas similares, lo que permite, desde esta perspectiva, englobarlos en el mismo ámbito climático.

Palabras clave: temperaturas diarias, evolución intraanual, régimen de temperaturas, ámbito climático, suroeste peninsular.

1. Introducción

Los estudios climáticos realizados a partir de series de variables meteorológicas, y en particular de temperaturas, consideran generalmente series mensuales, estacionales o anuales de años consecutivos. En realidad, los elementos que constituyen cada serie corresponden a periodos de la misma denominación, y por tanto con la misma ubicación relativa en el ciclo anual, pero no consecutivos en sí mismos. Representan valores de las temperaturas de años sucesivos que no hacen referencia a magnitudes observadas sino calculadas matemáticamente. Sin embargo, los valores diarios de las temperaturas, máximas o mínimas, se refieren a una magnitud física observable y continua, cuyos valores se registran cada día. Por tanto, la serie diaria es una sucesión temporal discreta de observaciones e independiente de las agrupaciones que de forma artificial puedan efectuarse. Por otra parte, si deseamos determinar el comportamiento intraanual de las temperaturas a lo largo de un conjunto de años, también podemos obtener el promedio de las temperaturas correspondientes a las mismas fechas en las distintas anualidades.

No son muy frecuentes las referencias bibliográficas alusivas al régimen intraanual de las temperaturas diarias, sin embargo, pensamos que su consideración puede poner de manifiesto peculiaridades que de otro modo pasarían inadvertidas, complementando así a otros estudios relativos a la evolución de las temperaturas mensuales y anuales. En consecuencia, hemos decidido realizar aquí una primera aproximación a este tema en el suroeste de la península Ibérica a partir del análisis de dos aspectos fundamentales:

- Las características internas de las series estacionales de temperaturas máximas y mínimas en diferentes observatorios de la región.
- El grado de asociación existente entre los valores de temperaturas máximas y mínimas.

2. Periodo de registros y observatorios

Para establecer la duración del periodo de observaciones conducente a conclusiones válidas sobre el régimen térmico intraanual, hemos decidido adaptarnos al ciclo de actividad solar, porque, aún cuando esta periodicidad no se manifiesta de manera estricta en la evolución de las temperaturas, puede aceptarse que la energía solar recibida es un factor primordial en la regulación de su comportamiento. Por otro lado, al ser la temperatura una magnitud dotada de una variabilidad temporal relativamente reducida, consideramos que los resultados así obtenidos no están determinados por posibles comportamientos excepcionales de alguna de las anualidades elegidas, sino que en su conjunto reflejan el comportamiento habitual. En tal sentido, como consecuencia de la compensación interanual, son esperables análogos resultados si variamos el ciclo de los once años consecutivos estudiados, lo cual no es impedimento para ampliar el periodo de análisis en posteriores estudios y, a partir de las conclusiones generales ya obtenidas, profundizar en la evolución de la distribución intraanual.

Hemos seleccionado para el análisis el periodo de 11 años comprendido entre el 1 de septiembre de 1988 y el 31 de agosto de 1999, adoptando pues el criterio de utilizar años hidrológicos en lugar de años civiles por sus mayores repercusiones sobre el medio natural y la sociedad. Así mismo, hemos configurado las estaciones a partir de la consideración del otoño como el periodo formado por los meses de septiembre, octubre y noviembre, el invierno como agrupación de los meses de diciembre, enero y febrero, la primavera, con marzo, abril y mayo y el verano como el trimestre que agrupa a junio, julio y agosto.

Los observatorios analizados son los de Badajoz [4478] ($38^{\circ}53'N$, $6^{\circ}58'W$) y Huelva [4246E] ($37^{\circ}15'$, $6^{\circ}57'$), ambos completos; Córdoba [5402] ($37^{\circ}53'N$, $4^{\circ}47'W$) con ausencia de datos en la tercera decena de noviembre y primera y tercera de diciembre de 1988; y Sevilla [5790] ($37^{\circ}22'N$, $6^{\circ}00'W$), con valores ausentes en diciembre de 1995 y marzo, abril y julio de 1996. Estas lagunas se han rellenado por regresión ponderada respecto de los demás observatorios. Sometidos a verificación de homogeneidad interna y relativa no se han detectado inhomogeneidades, por lo que admitimos que las series de temperaturas máximas y mínimas son homogéneas.

3. Análisis descriptivo

Como información previa al estudio de comportamiento intraanual, interesa conocer las características de las series diarias de temperatura, para lo cual calculamos –en cada una de las estaciones y observatorio– sus valores de promedio, desviación típica y coeficiente de asimetría (ver tablas 1 y 2).

Dentro de la homogeneidad general que caracteriza a este ámbito, cabe destacar la existencia de ciertos matices que introduce la mayor o menor lejanía al océano. Se observa que el promedio de las temperaturas invernales, tanto máximas como mínimas, alcanza los valores más bajos en Badajoz ($15^{\circ}C$ y $4,2^{\circ}C$ respectivamente), mientras los inviernos de Huelva son los más suaves ($6,8^{\circ}C$ de mínima), lo que pone de manifiesto el efecto amortiguador de la proximidad al mar, el cual también se refleja en la existencia allí de los veranos con temperaturas máximas menos elevadas. Sin embargo, en promedio, Badajoz alcanza los menores valores de temperaturas mínimas veraniegas; durante el periodo analizado la media de la temperatura ($16,9^{\circ}C$) es del orden de $1,5^{\circ}C$ inferior a la de Huelva ($18,3^{\circ}C$), mientras que la máxima es $2,4^{\circ}C$ superior ($33,6^{\circ}C$ frente a $31,2^{\circ}C$).

Tabla 1: Promedio estacional de las temperaturas diarias máximas y mínimas ($^{\circ}C$).

	Temp. máximas				Temp. mínimas			
	Bad.	Córd.	Huel.	Tabl.	Bad.	Córd.	Huel.	Tabl.
Otoño	24.1	25.2	24.8	25.9	11.3	12.5	13.7	13.9
Invierno	15.0	15.9	16.9	17.2	4.2	4.6	6.8	6.6
Primavera	23.0	24.1	22.8	24.8	9.1	9.5	10.7	11.6
Verano	33.6	35.4	31.2	34.2	16.9	18.4	18.3	18.9

Tabla 2: Desviación típica estacional de las temperaturas máximas y mínimas diarias (°C).

	Temp. máximas				Temp. mínimas			
	Bad.	Córd.	Huel.	Tabl.	Bad.	Córd.	Huel.	Tabl.
Otoño	5.9	6.2	4.8	5.6	4.3	4.4	3.8	3.9
Invierno	2.7	2.8	2.3	2.6	3.8	4.6	3.1	2.9
Primavera	4.6	4.6	3.9	4.3	3.4	3.4	3.0	3.0
Verano	4.3	4.3	4.1	4.1	2.7	2.7	2.3	2.4

El segundo aspecto a considerar en cada serie diaria es la dispersión de las medidas alrededor del valor medio, que aparece reflejada en la tabla 2. Si se analizan separadamente las temperaturas máximas y mínimas, se aprecia gran uniformidad entre los observatorios en cada estación. Destaca Huelva por su menor variabilidad durante todas las estaciones, tanto para temperaturas máximas como mínimas, lo que permite inferir que el efecto del mar no sólo repercute en el menor diferencial térmico invierno-verano sino, también, estabilizando la amplitud diurna-nocturna.

Es también destacable el hecho de que en todos los observatorios la varianza de las temperaturas mínimas es menor que la de las máximas durante otoño, primavera y verano, invirtiéndose la situación, sin embargo, durante el invierno. La situación invernal es la que resulta más peculiar y paradójica, dado que, en principio, cabe atribuir una mayor variabilidad a las temperaturas máximas o diurnas. Ello sería así fundamentalmente porque, durante el día, el comportamiento variable de la insolación/nubosidad introduce una fuerte dosis de variabilidad en el balance de radiación solar, que repercute en la propia variabilidad de las temperaturas, fenómeno éste que no se produce con la misma intensidad durante la noche, supuestamente mucho más homogénea desde este punto de vista. El hecho de que estos principios no se reflejen durante el invierno merecería algún estudio más detallado sobre el tema, tanto en este ámbito, como en otros a los cuales este fenómeno fuera extensible y de los que carecemos de referencias bibliográficas hasta el momento ¹.

Por lo que respecta a la asimetría, cabe destacar que en general las distribuciones de las series están centradas, de modo que mayoritariamente los coeficientes de asimetría son inferiores a 0,5 en valor absoluto. Se percibe gran semejanza, con coincidencia de signo, de las series estacionales de los distintos observatorios correspondientes entre sí, y, en menor grado, también entre las de temperaturas máximas y mínimas. Se presentan tanto asimetrías positivas como negativas, pero sobresale el verano, en que el coeficiente es negativo o próximo a cero (salvo en 1995), lo que indica un desplazamiento preferente hacia valores inferiores a su promedio.

4. El régimen intraanual de las temperaturas diarias

Para conocer el régimen intraanual de las temperaturas, hemos obtenido el promedio de los 365 valores diarios registrados durante los 11 años que constituyen nuestro periodo de observación. La obtención de estos valores medios suaviza ya suficientemente las fluctuaciones aleatorias que los distintos años introducen en el ciclo anual, permitiéndonos esbozar el comportamiento medio o habitual de dicho ciclo. No obstante, para aislar mejor este comportamiento general, hemos procedido a determinar el perfil de la línea de tendencia correspondiente a este ciclo mediante la función de variable continua $T = f(t)$ que mejor se ajuste al conjunto de valores observados. Asignamos el “mejor ajuste” a la función más sencilla, tal que al incrementar el grado de la misma, la varianza explicada no aumente significativamente. En la tabla 3 se exponen los resultados obtenidos en las series de temperaturas máximas y mínimas

¹En anteriores estudios, hemos señalado que la variabilidad de las temperaturas mínimas en invierno es mayor que la del resto de estaciones. Debemos diferenciar el significado de ambas conclusiones de similar enunciado. En tales estudios se hace referencia a la dispersión del conjunto de valores mensuales a lo largo de un siglo, mientras que ahora nos referimos al conjunto de valores diarios durante un trimestre. Interpretamos, por tanto, que ambas conclusiones son correctas pero independientes entre sí.

correspondientes al observatorio de Badajoz, que es el que comentaremos como ejemplo, si bien el resto de los observatorios tienen comportamientos similares.

Tabla 3: Funciones de ajuste estacional/anual de evolución de temperaturas máximas y mínimas en Badajoz, y varianza explicada por las mismas. (Entre paréntesis, el valor de R^2 conseguido con el incremento de un orden en la ecuación).

Temperaturas máximas			
	Función de ajuste	R^2	(R^2)
Otoño	$T = -0,187 t + 32,7$	0.973	(0.976)
Invierno	$T = 1,2 \cdot 10^{-3} t^2 - 0,078 t + 15,25$	0.716	(0.719)
Primavera	$T = 0,083 t + 19,13$	0.750	(0.770)
Verano	$T = 2,9 \cdot 10^{-3} t^2 + 0,335 t + 26,4$	0.853	(0.856)
Anual	$T = 7 \cdot 10^{-9} t^4 + \dots$	0.964	(0.964)
Temperaturas mínimas			
	Función de ajuste	R^2	(R^2)
Otoño	$T = -0,117 t + 16,7$	0.925	(0.926)
Invierno	$T = 1,3 \cdot 10^{-3} t^2 - 0,13 t + 6,54$	0.523	(0.532)
Primavera	$T = 0,089 t + 4,95$	0.871	(0.899)
Verano	$T = 2,9 \cdot 10^{-3} t^2 + 0,335 t + 26,4$	0.771	(0.779)
Anual	$T = 10^{-8} t^4 + \dots$	0.967	(0.967)

Podemos observar que, como era previsible, las series de otoño y primavera se ajustan a funciones lineales, pero con mayor inclinación absoluta en la pendiente de otoño que en la de primavera. Las series de verano e invierno se ajustan a funciones cuadráticas.

Los valores altos de R^2 muestran cómo en el conjunto de la variabilidad, la tendencia estacional ocupa un lugar protagonista y, por tanto, los residuos de la series en relación con los respectivos valores teóricos son estables, especialmente en las correspondientes al otoño. Hay que destacar, sin embargo, el peor ajuste registrado en el modelo de la serie invernal de temperatura mínimas, en las cuales la componente irregular y la de tendencia son prácticamente del mismo orden.

El régimen intraanual de la temperatura queda bien descrito por funciones de cuarto grado, que en la mayoría de los casos consiguen explicar un porcentaje de varianza superior al 96 % (ver tabla 3), sin que funciones de grado superior incrementen sensiblemente la calidad del ajuste. Evidentemente, el marcado carácter cíclico anual de las variables térmicas, inducido a su vez por el movimiento orbital planetario, queda recogido por la onda representada.

De la observación de la gráfica de evolución anual de temperaturas diarias (figura 1) podemos deducir que la amplitud térmica entre temperaturas diurnas y nocturnas es mayor en verano, lo que confirma la mayor pendiente absoluta de otoño y primavera de las temperaturas máximas. Aún cuando hay semejanza entre las ondas representativas, las funciones de temperaturas máximas y mínimas muestran ligeros desfases entre sí, como también se resalta en la figura 2. Las temperaturas mínimas alcanzan su menor nivel entre el 15-20 de enero con una decena de retraso respecto de las máximas; sin embargo en verano logran su nivel mayor hacia el 31 de julio con una semana de adelanto respecto de las temperaturas máximas. Hay, por tanto, un doble efecto de inercia térmica, en verano e invierno, y de sentidos contrarios.

La figura 2 refleja en detalle las gráficas de las temperaturas máximas y mínimas de invierno y pone de manifiesto, en primer lugar, la mayor dispersión de los puntos de las series de temperaturas mínimas diarias respecto a la curva, lo que se traduce en la inferior calidad del ajuste estimado. También, como se ha comentado con anterioridad, se observa claramente el desfase existente entre los puntos más bajos de ambas curvas, lo que conduce a la asimetría invertida de las ramas de la curva en ambas figuras de las temperaturas máximas y mínimas.

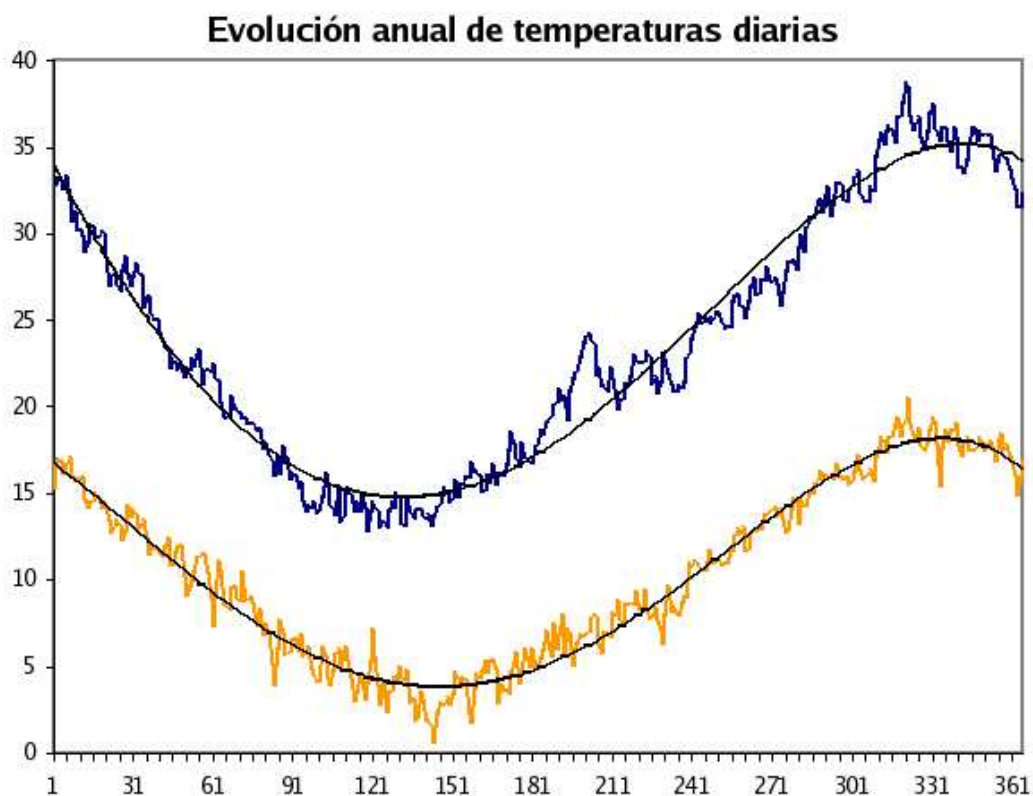


Figura 1: Evolución intraanual de temperaturas máximas y mínimas en Badajoz, con las respectivas líneas representativas del régimen.

5. Persistencia

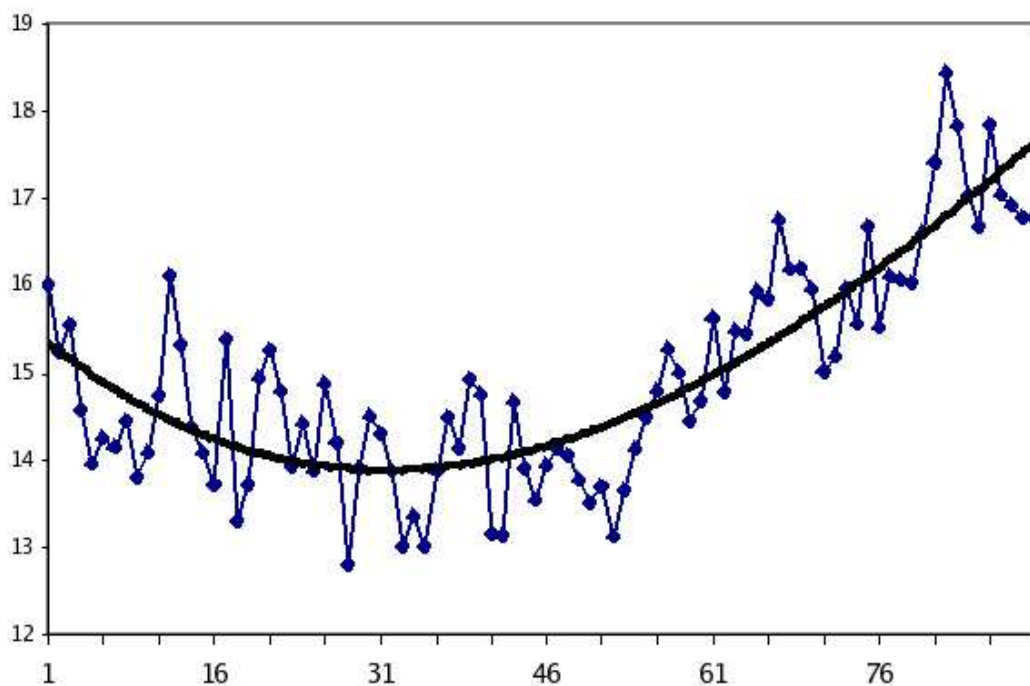
Hemos hecho referencia a la variabilidad de las series y a su evolución temporal, pero interesa conocer también –inmersa en su propia tendencia estacional– la permanencia de las temperaturas en fechas sucesivas. Para ello empleamos como indicador el coeficiente de autocorrelación de primer orden que permite detectar la asociación entre elementos consecutivos de cada serie y saber en qué grado el valor que la variable en un día está ligado al valor alcanzado el día anterior.

Podemos interpretar (tabla 4) que la evolución se realiza a lo largo del año de forma gradual, con coeficientes comprendidos entre 0.65 y 0.95, de modo que las variaciones en veinticuatro horas son progresivas sin excesivas oscilaciones de uno u otro signo. El vínculo es menor entre las series de temperaturas mínimas que entre las máximas. En éstas Badajoz, Córdoba y Tablada presentan coeficientes estacionales muy próximos, y algo inferiores en Huelva, lo que junto al resto de indicadores anteriormente expuestos induce a agrupar los observatorios en el mismo ámbito climático.

Tabla 4: Coeficientes de autocorrelación –con un retardo de los elementos de las series estacionales– en los distintos observatorios.

	Temp. máximas				Temp. mínimas			
	Bad.	Córd.	Huel.	Tabl.	Bad.	Córd.	Huel.	Tabl.
Otoño	0.91	0.92	0.89	0.90	0.79	0.84	0.81	0.86
Invierno	0.63	0.68	0.62	0.63	0.70	0.69	0.68	0.67
Primavera	0.82	0.82	0.77	0.82	0.76	0.74	0.73	0.77
Verano	0.80	0.80	0.77	0.82	0.66	0.74	0.72	0.71

Temp. máximas diarias. Invierno



Temp. mínimas diarias. Invierno.

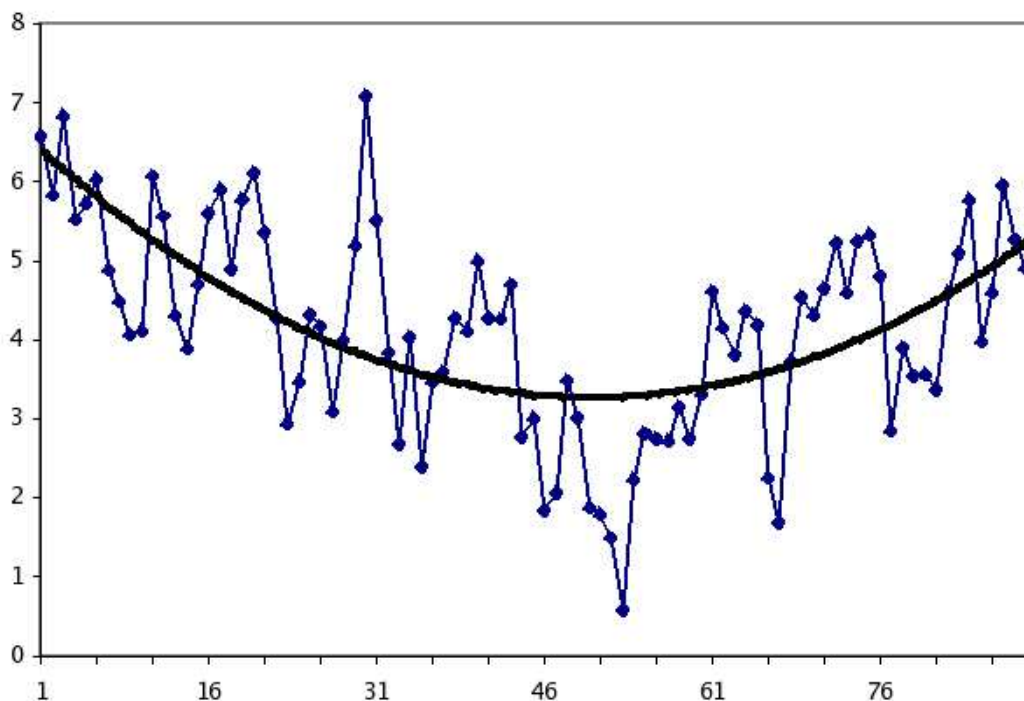


Figura 2: Comparación de los comportamientos de evolución temporal en invierno de las temperaturas diarias máximas y mínimas en Badajoz.

6. Relación entre los observatorios

En las secciones precedentes se ha hecho implícita referencia a la posible definición de un ámbito climático regional que englobe a todos los observatorios, y se han mostrado gráficas de Badajoz, extendiendo sus características también al resto. Para que tal extensión de resultados sea correcta es preciso comprobar si todos los observatorios presentan una evolución temporal similar.

Con esta finalidad hemos calculado los coeficientes de correlación existentes entre los registros diarios de los distintos observatorios durante los once años del estudio (ver tabla 5).

Tabla 5: Promedio de los once años de los coeficientes de correlación estacional entre observatorios, para las temperaturas máximas y mínimas.

	Temp. máximas				Temp. mínimas			
	Otoño	Invier.	Primav.	Verano	Otoño	Invier.	Primav.	Verano
Bad/Córd	0.95	0.73	0.91	0.89	0.87	0.81	0.82	0.73
Bad/Huel	0.93	0.74	0.87	0.73	0.88	0.86	0.84	0.74
Bad/Sev	0.95	0.74	0.91	0.83	0.83	0.71	0.80	0.72
Córd/Huel	0.94	0.79	0.87	0.84	0.90	0.85	0.83	0.80
Córd/Sev	0.97	0.87	0.95	0.93	0.93	0.81	0.84	0.79
Huel/Sev	0.96	0.78	0.91	0.91	0.92	0.81	0.87	0.80

La conclusión más notable es que los observatorios están bien correlacionados. Las discrepancias más destacadas se producen en las temperaturas diarias máximas invernales y las mínimas estivales, e incluso en estos casos los coeficientes respectivos superan el 0.70. Interpretamos que, en la práctica, coeficientes iguales o superiores a 0.80 (remarcados en la tabla en negrita) significan que las modificaciones de las situaciones meteorológicas repercuten simultáneamente y con similar intensidad térmica en los observatorios regionales, lo que se manifiesta en una evolución diaria análoga.

Como ejemplo se han representado las gráficas de la evolución diaria de las temperaturas máximas de otoño de Córdoba y Sevilla durante el año 1998, y la evolución de las temperaturas mínimas de invierno en Badajoz y Huelva. En ellas se puede apreciar no sólo la misma tendencia, sino la simultaneidad de las variaciones térmicas (figura 3).

7. Conclusiones

De los resultados obtenidos se pueden extraer los siguientes hechos esenciales:

- Durante todo el año la variabilidad de las temperaturas mínimas diarias es menor que la de las máximas, salvo en invierno.
- Las distribuciones seriales están en general centradas, con valores de coeficiente de asimetría próximos a cero.
- Las líneas de tendencia estacionales –lineales o cuadráticas– son el factor primordial de la variabilidad de las series diarias.
- La distribución intraanual de las temperaturas máximas y mínimas se ajusta adecuadamente a funciones polinómicas de cuarto grado, en que la varianza explicada es superior a 0,9. En general, funciones de grado superior no mejoran significativamente el ajuste.
- Se produce, durante el transcurso anual, un desfase relativo en la evolución diaria de las temperaturas máximas y de las mínimas: éstas sufren un adelantamiento en verano y un retraso en invierno.
- Las temperaturas diarias presentan persistencia, de forma que los valores de un día están fuertemente ligados a los alcanzados el día anterior.
- La alta correlación entre las temperaturas diarias de todos los observatorios, demuestra que la variación térmica se produce simultáneamente y con similar intensidad en todo el ámbito estudiado. Sin embargo, es destacable la menor asociación entre observatorios en las temperaturas máximas de invierno y las mínimas de verano.

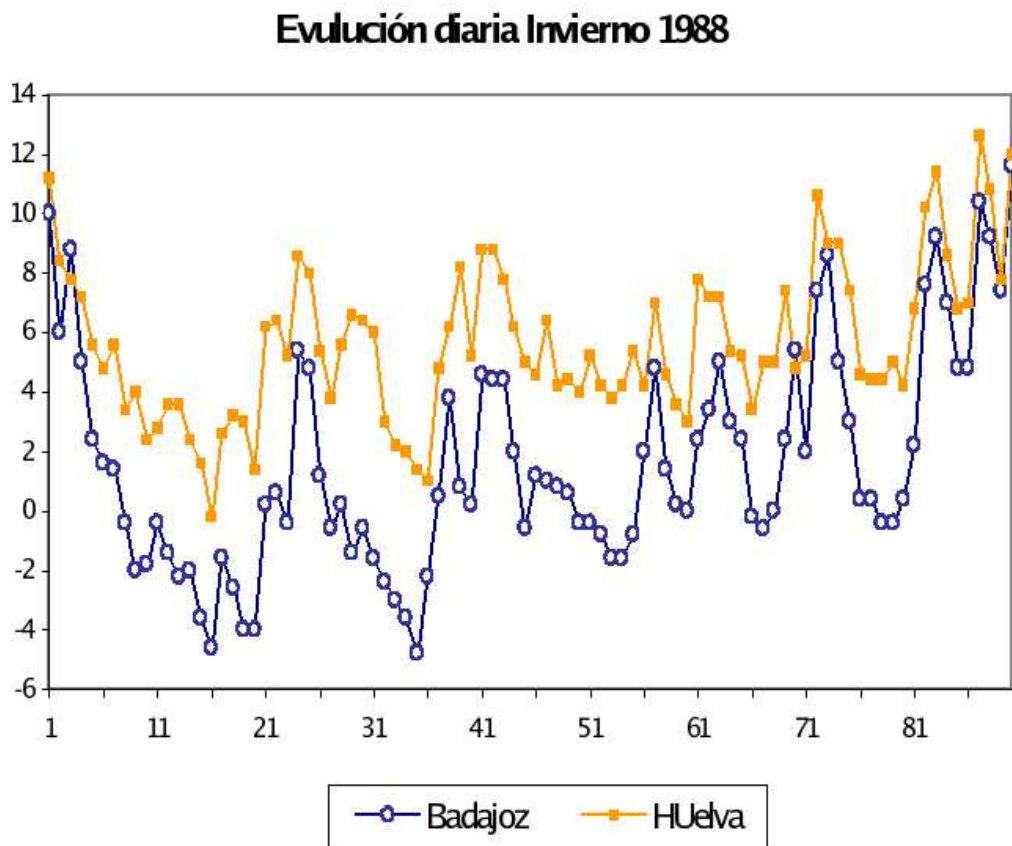
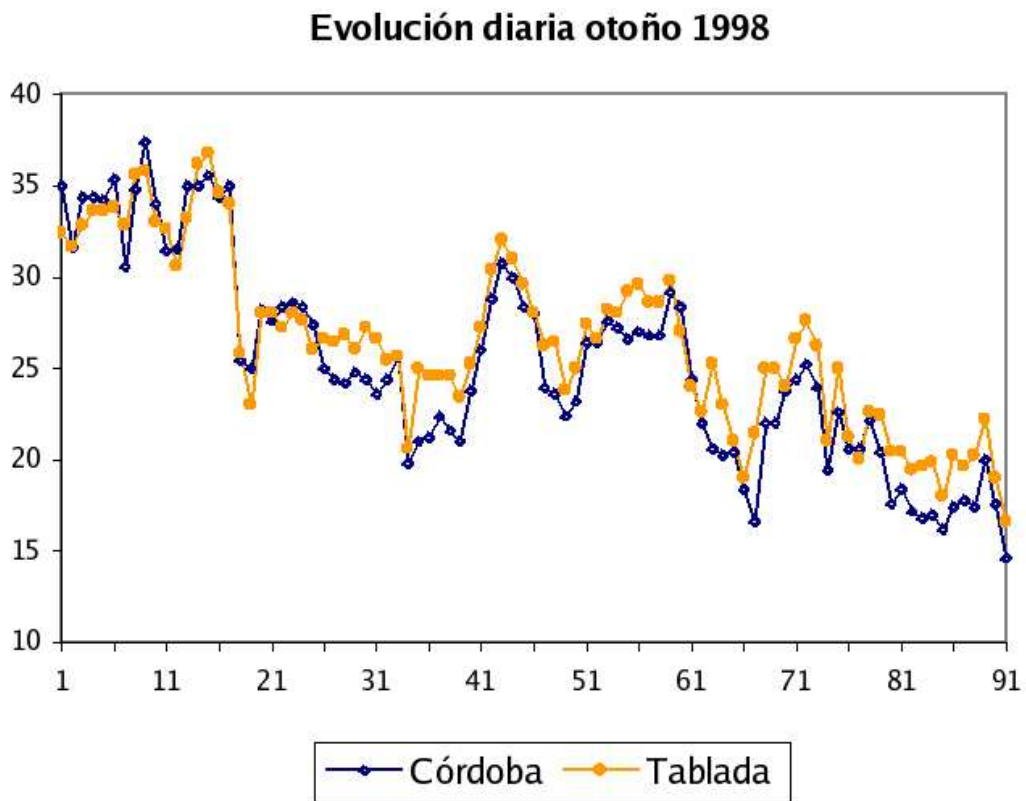
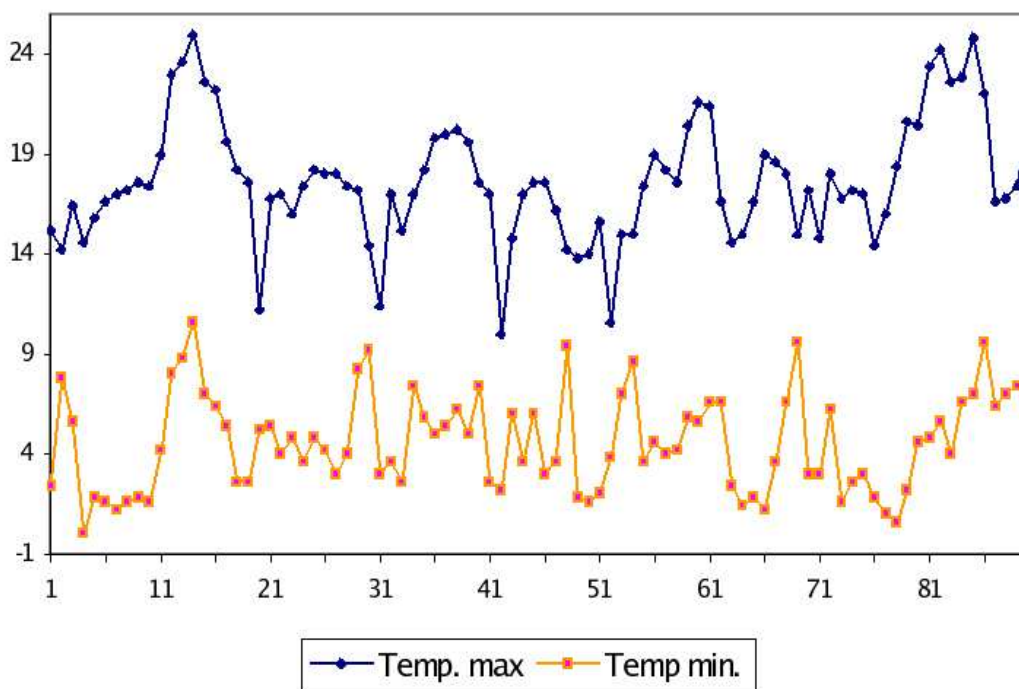


Figura 3: Comparación de temperaturas entre distintos observatorios en las mismas fechas. (Máximas en la gráfica superior, y mínimas en la inferior).

Sevilla Invierno 1998



Córdoba. Primavera 1999

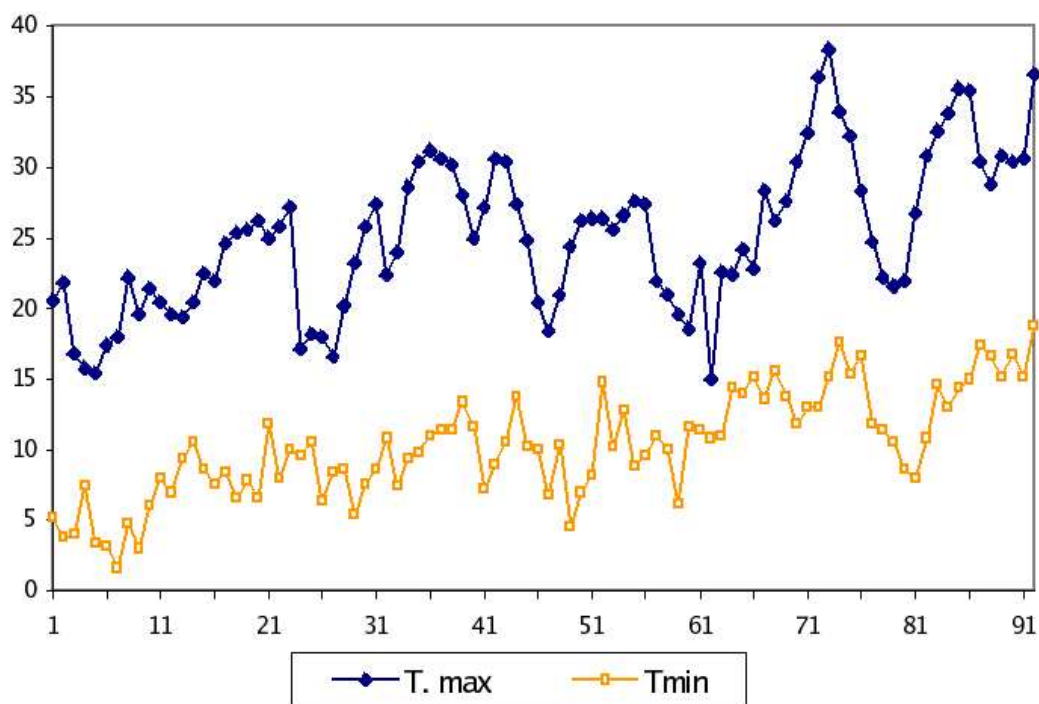


Figura 4: Comparación entre las temperaturas máximas y mínimas en la misma fecha y observatorio.

8. Consideración final

Las conclusiones apuntadas permiten obtener una primera aproximación al comportamiento del régimen intraanual de las temperaturas diarias en el suroeste de España, pero, además, abren la vía a futuros desarrollos que precisen y aporten más detalle a esta aproximación. El primero de ellos sería el análisis del grado de estabilidad que caracteriza al propio régimen.

Efectivamente, en el estudio precedente, entre otros aspectos, se ha puesto de manifiesto que la distribución intraanual de temperaturas diarias –ya sean máximas o mínimas– se ajusta a funciones de cuarto grado, del tipo:

$$T(t) = at^4 + bt^3 + ct^2 + dt + e$$

Si se efectúa el ajuste para cada una de las anualidades de un periodo de larga duración, los respectivos coeficientes de la anterior ecuación presumiblemente serán distintos y, por tanto, tampoco coincidirán en cada anualidad la posición de los puntos extremales y de inflexión de la curva, el desplazamiento relativo entre las temperaturas máximas y mínimas, etc. Ello nos permitiría generar las respectivas series temporales de nuevas variables, que pondrían de manifiesto la posible existencia de cambios en la ubicación de los máximos y mínimos a lo largo del año. La identificación de estos cambios, supuesto que se produjeran, constituiría un complemento valioso en el análisis de la variabilidad y los cambios climáticos, hasta ahora muy centrados en la cuantificación de los máximos y mínimos más que en su ubicación a lo largo del ciclo anual.

Otro aspecto que merecería un mayor desarrollo es el relativo a la oscilación térmica diurna registrada en los observatorios, la cual puede adoptar valores muy diferentes entre días sucesivos en respuesta a las también diversas condiciones atmosféricas susceptibles de producirse en la región. Algunas de estas casuísticas se recogen en la figura 4, que representa la evolución de las temperaturas diurnas y nocturnas para una misma estación y observatorio: invierno de 1998-99 en Sevilla y primavera de 1999 en Córdoba. Es fácil apreciar que, superpuestas a la tendencia, se producen variaciones diarias sin coincidencia entre las temperaturas máximas y mínimas, de cuyo análisis podrían derivarse conclusiones interesantes.

Bibliografía

Brunet M, Aguilar E, Saladie O, Sigró J, López D (1999): Variaciones y tendencias contemporáneas de la temperatura máxima, mínima y amplitud térmica diaria en el noroeste de España. En *La climatología española en los albores del siglo XX*. (Raso Nadal y Martín-Vide Eds.), Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, A-1:103-112.

Brunet M, Aguilar E, Saladie O, Sigró J, López D (2001): A differential response of Northeastern Spain to asymmetric trends in diurnal warming detected on a global scale. En *Detecting and modelling regional climate change*. (Brunet India y López Bonillo, Eds.) Springer, pp. 95-107.

Brunetti M, Buffoni L, Maugeri M, Nanni T (2000): Trends of Minimum and Maximum Daily Temperatures in Italy from 1865 to 1996. *Theoretical and Applied Climatology*, 66:49-60.

García-Barrón L (2000): *Análisis de series termopluviométricas para la elaboración de modelos climáticos en el suroeste de España*. Dpto. de Física Aplicada II. Universidad de Sevilla.

García-Barrón L, Pita MF (2001): Propuesta metodológica para la determinación de inhomogeneidades relativas en las series de observaciones. En *El tiempo del clima* (Pérez Cueva, López Baeza y Tamayo Carmona). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, A-2:87-94.

Serra C, Burgueño A, Lana X (2001): Analysis of maximum and minimum daily temperatures recorded at Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) in the period 1917-1998. *International Journal of Climatology*, 21:617-636.