

# *Variaciones recientes de las temperaturas medias en el Observatorio del Ebro*

J. M. RASO NADAL \*

La necesidad de prever cualquier cambio o fluctuación del clima, así como la de advertir sobre las consecuencias socioeconómicas que podría comportar una modificación de semejante naturaleza, es cada día más urgente. En repetidas ocasiones ha sido subrayada la importancia de este requerimiento para la planificación de actividades humanas tan esenciales como la producción de alimentos, la construcción de grandes obras o la ubicación de nuevos asentamientos poblacionales e industriales. Sin embargo, los especialistas son escépticos ante la posibilidad actual de anticipar la existencia o no de cambios climáticos más o menos próximos (OMM, 1975). Para llegar a una previsión de esta naturaleza, tal como Lockwood (1979), de acuerdo con Eddy, señala, es necesario un mejor conocimiento de la historia real del clima, objetivo ciertamente complejo que, en otros aspectos, indudablemente debe contemplar el análisis de las series climáticas actualmente disponibles. La presente nota ha sido concebida como una modesta aportación a esta todavía inconclusa tarea. En ella se aborda el estudio de las temperaturas medias anuales y mensuales del Observatorio del Ebro correspondientes al período comprendido entre 1910 y 1982. Los valores utilizados constituyen series prácticamente completas, con la única salvedad de la carencia de datos relativos al año 1938.

El aludido observatorio se encuentra al este de la Península Ibérica, a una latitud (40° 49' N.) por debajo de la cual no abundan las series climáticas sobre períodos superiores a cincuenta años. Está emplazado a 42 m sobre el nivel del mar, en el municipio de Roquetes, próximo a la orilla derecha del río Ebro y a tan sólo unos 20 km de su desembocadura

---

\* Departamento de Geografía. Universidad de Barcelona.

en el mar Mediterráneo. Los datos procedentes de su estación meteorológica resultan particularmente aptos para averiguar la existencia de posibles cambios o fluctuaciones climáticas, por tratarse de un punto de observación que ni ha sido desplazado ni ha conocido modificaciones importantes en su entorno después de 1910.

### *Tendencia creciente y fluctuación de las temperaturas medias anuales*

Las temperaturas medias anuales calculadas para el Observatorio del Ebro, a partir de los promedios entre las respectivas máxima y mínima diariamente registradas desde 1910 hasta 1982, en ningún caso sobrepasan los 17,9° C alcanzados precisamente el último año de este período, ni son inferiores a los 15,8° C en que se cifran las obtenidas para 1941 y 1956. La amplitud de la serie es, por tanto, de 2,1° C. Prácticamente coincide con la hallada por Clavero (1982) para el Observatorio Fabra, situado en la vertiente de la cordillera de Collserola que domina la ciudad de Barcelona, a 420 m de altitud, con una serie similar a la estudiada en este trabajo. Tampoco la desviación típica calculada para el Observatorio del Ebro (0,47) difiere apreciablemente de la dada para el de Fabra, pero sí la media aritmética que es en el primero de 16,8° C, superior en 2,5° C a la del segundo, discrepancia esencialmente debida a la diferente altitud de las respectivas estaciones meteorológicas.

El agrupamiento de las temperaturas analizadas en ocho clases, establecidas a partir de 15,7° C, con una longitud para los respectivos intervalos de 0,3° C, facilita el ajuste de la muestra mediante una ley normal de media y desviación típica equivalentes a las de la propia muestra, tanto gráficamente (fig. 1), como mediante la prueba de Kolmogorov. La mayor diferencia entre las respectivas frecuencias acumuladas, empírica y teórica, es de 0,0713, claramente inferior a la máxima discrepancia permitida por las tablas de Lilliefors para un riesgo de primera especie del 5 %. La media aritmética y la mediana equivalen a los 16,8° C anteriormente aludidos para la primera de ambas características de centralidad y caen dentro del intervalo modal 16,6 ÷ 16,9° C, por cuyo motivo no debe sorprender que el coeficiente de sesgo de Pearson sea cero, en tanto que el de Fischer se cifre en tan sólo 0,11. Se trata, en definitiva, de una distribución simétrica. Por otro lado, el coeficiente  $\beta_2$  de Pearson obtenido (2,14) pone de manifiesto una ligera platicurtosis de ésta, incapaz, no obstante, de comprometer la normalidad que, en general, es característica común de las series de temperaturas medias mensuales y anuales (Brooks y Carruthers, 1953). Los quintiles probables estimados a partir del ajuste mediante ley de Gauss de las 72 temperaturas medias disponibles se cifran en:

$$Q_1 = 16,4^\circ \text{ C} \quad Q_2 = 16,7^\circ \text{ C} \quad Q_3 = 16,9^\circ \text{ C} \quad Q_4 = 17,2^\circ \text{ C}$$

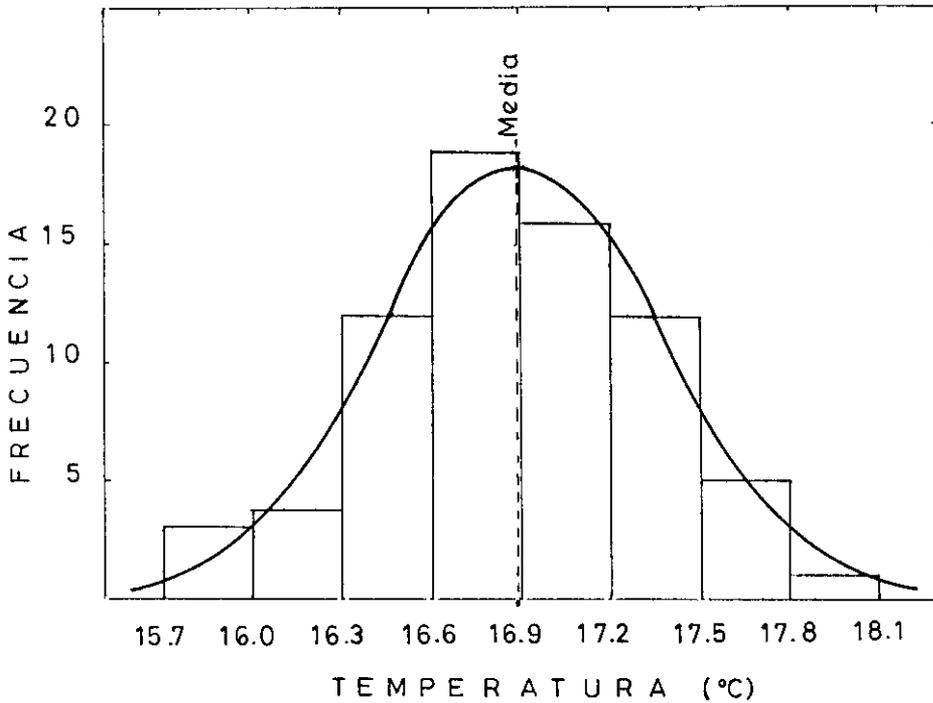


FIG. 1.

Estos valores permiten establecer cinco clases de años según la temperatura media anual correspondiente a cada uno de ellos, que podrían denominarse como relativamente muy fríos, fríos, *normales*, cálidos y muy cálidos. Las temperaturas medias de los primeros serían iguales o inferiores a 16,4° C, límite superior del segundo quintil; en tanto que a los años *normales*, les corresponderían temperaturas medias anuales incluidas en el intervalo 16,7 ÷ 16,9° C, que contiene la medida aritmética y la mediana, los años cálidos serían capaces de alcanzar o sobrepasar esta última cantidad, pero no los 17,2° C, temperatura que sólo recaban o superan los años más calidos. Pero, a partir del ajuste, en base al cual han sido agrupadas las temperaturas medias anuales en las cinco aludidas categorías, no obstante su bondad, sería arriesgado calcular la probabilidad de obtener o rebasar unos determinados valores sin previa verificación del carácter aleatorio de los datos disponibles. A este fin puede utilizarse la prueba de Von Neumann. Su aplicación requiere, en primer lugar, el cálculo de:

$$\delta^2 = \frac{1}{N - 1} \sum (Y_{i+1} - Y_i)^2$$

donde  $N$  es el efectivo total,  $Y_{it}$  representa los sucesivos valores de la serie analizada e  $Y_{i+1}$  los valores inmediatamente posteriores a cada uno de éstos y, en segundo término, la obtención del cociente  $\delta^2/\sigma^2$ , en el que  $\sigma^2$  equivale a la variancia. Valores de este cociente próximos a los dos son indicativos de series aleatorias. En caso contrario, cabe aceptar la existencia de una organización temporal. El obtenido a partir de las temperaturas medias anuales del Observatorio del Ebro estimadas para el período estudiado se cifra en 1,84, cuantía que parece negar cualquier organización y probar su aleatoriedad. Sin embargo, su representación gráfica (fig. 2) sugiere una tendencia creciente de las temperaturas a lo largo de los primeros años del período estudiado, particularmente entre 1910 y 1928, intervalo para el cual el aludido cociente se cifra en 1,08 y, por consiguiente, pone de manifiesto la existencia de una organización de los primeros elementos de la serie termométrica analizada. El valor del mismo asciende a 1,30 para el período 1910-1937 y, aunque menor, también comporta una apreciable organización. En cambio, el obtenido para la primera mitad de la serie disponible, que comprende las temperaturas medias anuales de los años 1910 a 1946, alcanza 1,59, señal de una organización ciertamente escasa, y el obtenido para la segunda mitad, es decir a partir de las temperaturas de los años 1947 a 1982, se eleva a 1,92, una cantidad propia de series completamente aleatorias.

En resumen, la prueba de Von Neumann únicamente evidencia una neta organización de la serie desde su origen, 1910, hasta 1928, en menor grado hasta 1936 y, a lo sumo, una débil organización de las temperaturas medias anuales de 1910 a 1946, en tanto que muestra lo contrario para los treinta y seis años posteriores a este último.

Dada la falta de aleatoriedad de las temperaturas durante los subperíodos considerados hasta 1946, se ha procedido a determinar la recta de tendencia por el método de los mínimos cuadrados, previo cálculo del coeficiente de correlación de Pearson ( $\rho$ ) entre los números ordinales de la serie estudiada y las respectivas temperaturas medias anuales. Los resultados obtenidos para estos períodos, además de los hallados para la totalidad de la serie estudiada y para otros dos subconjuntos de años que terminan en 1982, son los siguientes:

Período	Correlación ( $\rho$ )	Recta de tendencia
1910-28	0,66	$t_i = 16,07 + 0,048 x_i$
1910-37	0,63	$t_i = 16,18 + 0,034 x_i$
1910-46	0,34	$t_i = 16,40 + 0,014 x_i$
1910-82	0,37	$t_i = 16,52 + 0,008 x_i$
1939-82	0,30	$t_i = 16,54 + 0,007 x_i$
1947-82	- 0,03	$t_i = 17,05 - 0,001 x_i$

en los que  $\sigma$  es el coeficiente de correlación de Pearson,  $t_i$  la temperatura media anual teórica del año  $i$  y  $x_i$  equivale sucesivamente a 1, 2, 3..., para los años 1910, 1911, 1912...

Estos resultados prueban que la organización puesta en evidencia por el coeficiente de Von Neumann comporta una neta tendencia creciente de 1910 a 1928, e incluso a 1936. También puede aceptarse la existencia de una tendencia del mismo signo, pero muy débil, para el período 1910-46, e incluso 1910-82, porque los respectivos coeficientes de correlación, a pesar de ser inferiores a 0,40, resultan en ambos casos estadísticamente significativos. Por el contrario, los cálculos realizados para las series parciales relativas a los años 1939-82 y 1947-82, no permiten afirmar, sino más bien negar, tanto una posible tendencia creciente para la primera como una muy débil tendencia decreciente para la segunda, porque los coeficientes de correlación no son estadísticamente significativos y los valores hallados pueden ser considerados fruto del azar.

La representación gráfica de la aludida figura 2 de las medias móviles sucesivamente calculadas con cinco y nueve valores anuales refleja la tendencia creciente de los primeros decenios analizados y sugiere una evolución cíclica, dentro de un posible estancamiento, a partir de los años 1940-50. En efecto, los resultados de haber sometido las medias móviles a unos cálculos semejantes a los aplicados a las temperaturas medias de cada año (tabla I) ponen de manifiesto que, en contraste con los coeficientes de Von Neumann obtenidos a partir de estos últimos, los procedentes de las medias móviles son muy bajos, inferiores a 0,4, y prueban la organización de los datos de todas las etapas consideradas, especialmente, como es obvio, en las anteriores a 1937, organización que, sin embargo, debe subrayarse, resulta de la propia naturaleza de las medias móviles, necesariamente influenciadas por los valores procedentes de las mismas. Las medias halladas para cada uno de los seis períodos que han sido distinguidos difieren entre sí en menos de medio grado. Las mayores discrepancias son las existentes entre promedios anteriores y posteriores a 1946, pero también resultan estadísticamente significativas las diferencias entre estos promedios y los obtenidos, tanto con las medias móviles relativas a cinco como a nueve años, para todo el período estudiado con niveles de confianza claramente superiores al 95 %.

Las mayores temperaturas medias de los últimos decenios comportan un incremento de los años relativamente cálidos o muy cálidos en consonancia con una disminución de los fríos o muy fríos, de acuerdo con el criterio anteriormente adoptado en base al valor de los quintiles. En efecto, hasta 1946, sólo cuatro años podrían ser considerados como muy cálidos por alcanzar o superar el valor del cuarto quintil (17,2° C), en tanto que esto ha ocurrido en doce ocasiones después de 1947. Por el contrario, los años relativamente muy fríos, con una temperatura media inferior a la del primer quintil (16,4° C) fueron once de 1910 a 1946 y sólo cuatro de 1947 a 1982. Son, en cambio, poco relevantes las discrepancias de ambas etapas concernientes al número de años con temperaturas medias respectivamente comprendidas entre los valores del primer y segundo quintil, entre los del segundo y tercero y entre los de éste y el cuarto.

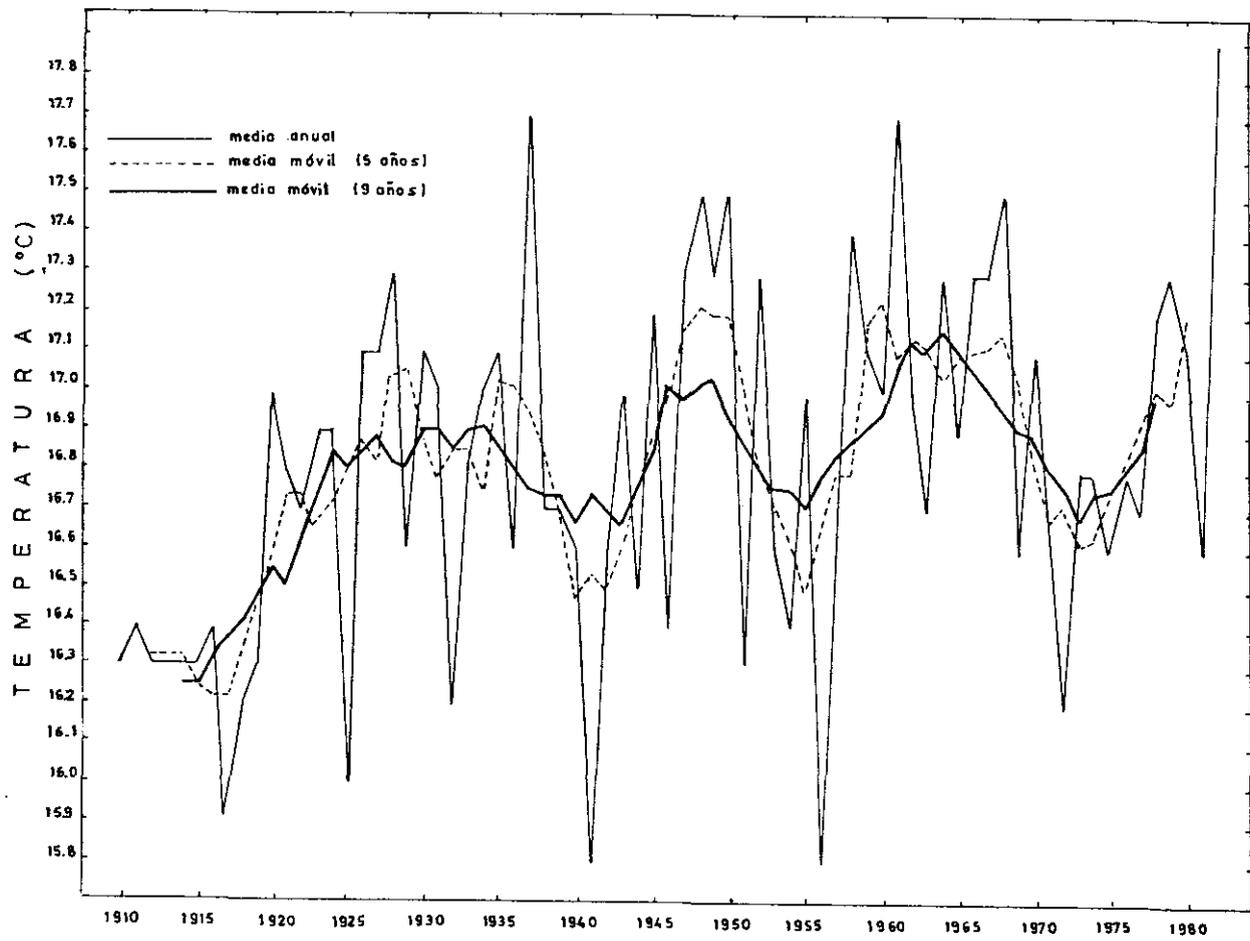


FIG. 2.

Tabla I

Media aritmética ( $\bar{X}$ ), cociente de Von Neumann  $\delta^2/\sigma^2$ , autocorrelación temporal ( $\rho$ ) y recta de tendencia calculada a partir de las medias móviles relativas a cinco y nueve años

MEDIAS MOVILES RELATIVAS A CINCO AÑOS				
Período	$\bar{X}$	$\delta^2/\sigma^2$	$\rho$	Recta de tendencia
1910-28	16,56	0,18	0,91	$t_i = 16,120 + 0,049x_i$
1910-36	16,67	0,19	0,87	$t_i = 16,237 + 0,033x_i$
1910-46	16,69	0,23	0,56	$t_i = 16,432 + 0,014x_i$
1910-82	16,82	0,21	0,52	$t_i = 16,564 + 0,007x_i$
1939-82	16,90	0,30	0,24	$t_i = 16,673 + 0,005x_i$
1947-82	16,95	0,35	- 0,14	$t_i = 17,120 + 0,003x_i$

MEDIAS MOVILES RELATIVAS A NUEVE AÑOS				
Período	$\bar{X}$	$\delta^2/\sigma^2$	$\rho$	Recta de tendencia
1910-28	16,59	0,08	0,96	$t_i = 16,102 + 0,050x_i$
1910-36	16,70	0,07	0,87	$t_i = 16,296 + 0,028x_i$
1910-46	16,72	0,13	0,64	$t_i = 16,462 + 0,014x_i$
1910-82	16,83	0,13	0,59	$t_i = 16,600 + 0,007x_i$
1939-82	16,91	0,25	0,24	$t_i = 16,754 + 0,003x_i$
1947-82	16,95	0,30	- 0,17	$t_i = 17,083 + 0,003x_i$

Las diferencias entre las temperaturas medias anuales de la primera y de la segunda mitad del período estudiado no se reducen a su cuantía media y al número de años relativamente más calidos o más fríos, sino que existe una distinta evolución de las mismas consideradas como series cronológicas. Si ha quedado patente la organización de las series de temperaturas medias anuales mediante el método de las medias móviles, sólo las rectas de regresión calculadas para la primera de ambas mitades de la serie utilizada avalan la existencia de una tendencia termométrica creciente, porque únicamente los coeficientes de correlación obtenidos con los valores de tales medias, tanto las procedentes de promediar cinco como nueve años, son significativos. Por el contrario, los hallados para el conjunto de años que empieza en 1947 son negativos, pero no descienden por debajo de -0,17 y carecen de significación estadística, con lo que, en definitiva, no es posible confirmar en el Observatorio del Ebro la existencia de un descenso de las temperaturas medias durante la segunda mitad de la actual centuria acorde con la tendencia decreciente generalmente reconocida por diversos autores para el conjunto del Hemisferio Norte. esta tendencia posiblemente sea notoria y se circunscriba preferentemente a latitudes templadas o

frías, pero, como recientemente ha puesto de manifiesto Lamb (1982), los cambios climáticos en y cerca de los trópicos son difíciles de establecer y, con frecuencia, inferiores a los descritos para latitudes medias y altas.

La tendencia creciente hasta mediados de siglo, puesta de manifiesto por la representación gráfica de las medias móviles, sufre, a mediados de los años 1930-40, una interrupción con el inicio de una fase relativamente fría que no habría de concluir hasta un decenio más tarde. Esta etapa fue la primera de tres caracterizadas por unas temperaturas, en general, inferiores a las de los años precedentes y siguientes. La segunda y la tercera ha tenido lugar en los años 1950-60 y 1970-80, entre principios y mediados o finales de ambos decenios. Las tres fases frías han alternado con dos relativamente cálidas, la primera de las cuales tuvo lugar a finales de la primera mitad del presente siglo y concluyó al iniciarse la segunda. A finales del primer decenio de esta segunda mitad, empezó la otra fase cálida, que tuvo una duración aproximada de diez años. Tanto las etapas relativamente cálidas como relativamente frías, incluyen temperaturas medias anuales que contrastan con las restantes de cada uno de los respectivos grupos, por cuyo motivo son las medias móviles las que definen mejor la alternancia entre las aludidas fases de características contrapuestas. A finales de la década 1970-80 parece haberse iniciado una nueva fase de temperaturas relativamente altas que, de proseguir una evolución cíclica de las temperaturas medias anuales semejante a la de los últimos cuatro o cinco decenios, cabría esperar se mantuviese los próximos años, hasta finales de la actual década, pero sin alcanzar la próxima, que acaso podría iniciarse con un descenso de las medias móviles.

#### *Incremento desigual de las temperaturas medias mensuales*

Una vez analizada la evolución de las temperaturas medias anuales y comprobada la existencia de diferencias significativas entre los promedios de los primeros y últimos decenios del período estudiado, corresponde examinar las temperaturas medias mensuales con el fin de determinar en qué medida estas diferencias resultan de una modificación homogénea de las temperaturas a lo largo de todo el año o, por el contrario, es fruto de un fenómeno preferentemente localizado en un limitado número de meses. Con este propósito, han sido calculados la media aritmética, la desviación típica y el coeficiente de variabilidad de cada uno de los meses para la serie 1910-82, así como para los períodos 1910-46 y 1947-82. Los resultados obtenidos (tabla II) muestran que no existe diferencia apreciable entre los ritmos anuales definidos por las tres series de promedios mensuales considerados. El más bajo de estos promedios, en los tres casos, es el de enero y el más alto el de agosto, lo cual comporta un ascenso medio continuo desde el primer al octavo mes del año, seguido de un descenso relativamente acusado durante los meses siguientes. No obstante estos rasgos comunes, es de destacar que la amplitud anual del período

Tabla II

Media aritmética ( $\bar{X}$ ), desviación típica ( $\sigma$ ) y coeficiente de variación (C. V.) de las temperaturas medias mensuales

Período		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1910-82	$\bar{X}$	9,54	10,71	12,76	15,11	18,31	22,03	24,87	25,06	22,40	17,84	13,20	10,21
	$\sigma$	1,50	1,50	1,09	1,03	1,04	1,06	0,97	0,83	1,19	1,24	1,10	1,44
	C. V.	15,67	15,31	8,58	6,78	5,68	4,84	3,92	3,32	5,32	6,98	8,36	14,11
1910-46	$\bar{X}$	9,13	10,52	12,54	15,02	18,30	21,93	24,68	25,05	22,25	17,67	12,95	9,84
	$\sigma$	1,53	1,65	1,06	1,18	1,14	1,01	0,92	0,88	1,20	1,24	1,08	1,49
	C. V.	16,78	15,75	8,49	7,67	6,25	4,61	3,74	3,48	5,39	7,00	8,32	15,14
1947-82	$\bar{X}$	9,95	10,90	12,98	15,19	18,32	22,13	25,05	25,07	22,55	18,01	13,46	10,58
	$\sigma$	1,34	1,61	1,08	0,85	0,92	1,11	0,99	0,78	1,17	1,23	1,07	1,29
	C. V.	13,45	14,76	8,32	5,58	5,04	5,01	3,95	3,11	5,18	6,82	7,94	12,18

1947-82, cifrada en  $15,13^{\circ}\text{C}$ , es inferior a los  $15,92^{\circ}\text{C}$  en que se ha calculado la del período 1910-46. Esta diferencia es fruto de un incremento de las temperaturas medias de enero estadísticamente significativo y de una práctica coincidencia de las calculadas para agosto con ambas series de años. Merece también ser destacado que, mientras la media de agosto es claramente superior a la de julio en el período 1910-46, las calculadas para ambos meses con los valores de los años siguientes son prácticamente coincidentes. Puesto que la temperatura media de agosto, como se ha señalado, no ha experimentado cambio apreciable alguno después de 1946, su casi equivalencia con la de julio en el período 1947-82 no puede ser resultado más que de un incremento del valor calculado para ésta, incremento que, no obstante, carece de significación estadística a un nivel de confianza del 95 %. Por otro lado, mientras la temperatura media de agosto fue superior a la de julio en veintiséis de los primeros treinta y seis años de la serie termométrica estudiada y ocurrió lo contrario en los diez meses restantes, de 1947 a 1982 las temperaturas medias de julio han superado a las del mes siguiente en 16 ocasiones, ha coincidido en tres y sólo han sido inferiores en 17. Por consiguiente, aunque no haya llegado a producirse un desplazamiento de la máxima temperatura media mensual de agosto a julio, el equilibrio reciente entre las calculadas para ambos meses es notorio.

Al comparar, mes a mes, los valores medios obtenidos, puede apreciarse que en todos ellos, los del período 1947-82 son superiores a los de 1910-46, si bien las diferencias halladas para los meses de abril y agosto se reducen a tan sólo  $0,02^{\circ}\text{C}$ . En los diez meses restantes, estas diferencias sobrepasan los  $0,10^{\circ}\text{C}$ , pero, mientras de abril octubre no alcanzan los  $0,40^{\circ}\text{C}$  y se cifran entre  $0,40$  y  $0,50^{\circ}\text{C}$  las de febrero y marzo, únicamente las de noviembre, diciembre y enero rebasan los  $0,50^{\circ}\text{C}$  y son estadísticamente significativas a un nivel de confianza superior al 95 %.

Los coeficientes de variabilidad son en general menores durante los meses de verano que durante los de primavera y otoño, y los de las estaciones intermedias no alcanzan a los tres de los meses de invierno. Los obtenidos para cada uno de los meses de los períodos 1910-46 y 1947-82 son similares entre sí, en ningún caso difieren en más del 4 % y sólo se cifran en torno al 3 % o más las discrepancias mostradas por los de enero y diciembre. Las diferencias apuntan en general a un debilitamiento de la variabilidad en los últimos decenios, salvo en los meses de junio y julio en los que parece suceder todo lo contrario.

### *Conclusión*

El análisis de las temperaturas medias anuales del Observatorio del Ebro permite comprobar la existencia de una tendencia creciente entre 1910 y 1946, especialmente evidente hasta los años 1930, y una posterior

alternancia de fases ajenas a cualquier tendencia significativa que las medias móviles presentan como relativamente frías y cálidas. Actualmente parece haberse iniciado una etapa relativamente cálida que podría mantenerse durante los próximos años y concluir a finales del actual decenio con el inicio de una nueva fase relativamente fría, si las temperaturas medias anuales mantienen su reciente evolución cíclica. El estancamiento de las temperaturas medias anuales que, no obstante esta evolución cíclica, ha seguido a la tendencia creciente de las primeras décadas de la serie estudiada, comporta un aumento de las temperaturas medias anuales que los promedios de los períodos 1910-46 y 1947-82 cifran en una cuantía de 0,32° C, estadísticamente significativa. Este aumento se debe a incremento de todos los promedios mensuales, pero esencialmente al experimentado por los meses de otoño e invierno y, en particular, por los calculados para los más próximos al solsticio de invierno, es decir, noviembre, diciembre y enero, únicos estadísticamente significativos.

Al aumentar las temperaturas de invierno en mayor proporción que las de verano, la amplitud anual se reduce en más de medio grado. Además, la diferencia entre los promedios de los meses más cálidos, claras antes de 1946, llegan a ser casi inexistentes después de este año, con lo que la máxima temperatura parece oscilar en los últimos años entre julio y agosto. La temperatura media de enero, a pesar de su apreciable incremento, permanece manifiestamente como la menor del año. El incremento de las temperaturas mensuales ha tenido sincrónicamente lugar con un general debilitamiento de la variabilidad, excepto en los meses de junio y julio.

El estancamiento relativo de las temperaturas medias en el Observatorio del Ebro en las últimas décadas contrasta tanto con un hipotético calentamiento de la atmósfera imputable a incremento en la proporción de anhídrido carbónico contenido en su seno, como con el enfriamiento medio del Hemisferio Norte durante los últimos treinta años que, para latitudes superiores a las de la Península Ibérica, ha sido comprobado en distintos puntos de Europa.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BROOKS, C. E. P., y CARRUTHERS, N. (1953). *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*. Her Majesty's Stationery Office. London, 421 pp.
- CLAVERO, P. L. (1982). «Análisis climático de las temperaturas de Barcelona (Observatorio Fabra, período 1914-1981)». In *El Pla de Barcelona i la seva història (I Congrés d'història del Pla de Barcelona. 12-13 nov., 1982)*, pp. 55-63.
- LAMB, H. H. (1982). *Climate, history and the modern world*. Methuen. London, 387 pp.
- LOCKWOOD, J. G. (1979). «Causative factors in climatic fluctuations». *Progress in Physical Geography* 2, 111-118.
- OMM (1975). *Proceedings of the WMO/IAMAP symposium on long-term climatic fluctuations* (Norwich 18-23 August). OMM n.º 421. Geneva, 503 pp.