

EVOLUCIÓN Y VARIACIÓN DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS RECIENTES EN PAMPLONA

Javier M. PEJENAUTE GOÑI
UNED. Pamplona

RESUMEN

Se trata del análisis estadístico de la temperatura media en Pamplona durante el período 1941-97, para ver hasta qué punto se está dando un incremento térmico en los últimos años. Se estudian las principales variables estadísticas y los períodos distintos que se dan dentro de las temperaturas medias, el grado de correlación y la tendencia futura anual y estacional, mediante el estudio del coeficiente de correlación y la recta de regresión lineal.

Palabras clave: Temperaturas medias, variaciones, tendencia climática, Pamplona.

ABSTRACT

This statistical analysis of the average temperatures in Pamplona for the period of 1941-97 was carried out in order to see whether there had been an increase in the temperature over the last few years. The main statistical variables and different periods seen for the average temperatures; their degree of correlation and the future tendencies of temperature on an annual and seasonal scale were all considered by studying their coefficient of correlation and lineal regression.

Key words: Average temperatures, variations, climatic trend, Pamplona.

INTRODUCCIÓN

Es creencia general dentro de la comunidad científica que en los últimos años se está produciendo un aumento de las temperaturas. Se pretende estudiar estadísticamente la serie cronológica de las temperaturas medias en Pamplona durante el período 1941-97, utilizando procedimientos estadísticos en el análisis de series cronológicas temporales (GARCIA LEGAZ Y MARTINEZ MOLINA, 1984; RASO, 1987 y 1994; MARTIN VIDE, y MORENO GARCIA, 1994; FERNANDEZ GARCIA, 1994). Con ello se intenta ver su evolución; observar, con todas las reservas, si se está dando el incremento de las temperaturas y en qué medida; y analizar los períodos distintos que se pueden distinguir, en un intento de buscar una posible autocorrelación, mediante el coeficiente de correlación y la recta de regresión lineal.

Al prestar atención a la representación gráfica de las series de temperaturas se observa la presencia de tres períodos diferentes (figura 1). El primero, caracterizado por los valores térmicos altos, normalmente por encima de la temperatura media del período total, que dura hasta los años sesenta. A

continuación le sigue un segundo período con temperaturas medias suaves que iría creciendo moderadamente desde los sesenta hasta los ochenta. Y finalmente, el último, con temperaturas altas y ascendentes. Una vez visualizadas la gráfica de la temperatura media anual se ha fragmentado la serie, para su estudio, en cuatro períodos: años 1941-97, es decir el total de años; 1941-70, la primera mitad de la serie; 1971-97, la segunda mitad; y 1981-97, los últimos años.

Para llegar a la estimación de estas características hay que someter la información estadística a una serie de pruebas. Sabemos las dificultades y los riesgos que esto entraña, pues no siempre la relación es clara, y aun siendo así, habrá que pensar si se puede mantener la tendencia o habrá fluctuaciones. También nos planteamos hasta qué punto la estadística descriptiva puede ser interpretativa en este caso.

1. HOMOGENEIDAD, CENTRALIDAD, DISPERSIÓN Y VARIABILIDAD

Se ha elegido la temperatura media por ser el dato térmico más representativo, porque tiene en cuenta el calor del día y el frío de la noche. Se ha considerado una muestra de cincuenta y siete años, desde el año 1941 hasta el año 1997 en el observatorio de Pamplona. La primera limitación importante viene dada por la escasa longitud de la serie, con la que es difícil observar cambios importantes. No se ha querido ampliarla para evitar los años de la Guerra Civil y los anteriores, dado el bajo grado de fiabilidad y las lagunas que tiene.

El observatorio de Pamplona ha cambiado dos veces de emplazamiento. Desde los inicios de la serie hasta el 21 de agosto de 1953 estuvo situado a $42^{\circ}48'42''\text{N}$ y $1^{\circ}38'33''\text{W}$ y a una altitud de 475 m. Desde esta fecha hasta el 30 de septiembre de 1994 sus coordenadas fueron $42^{\circ}49'10''\text{N}$ y $1^{\circ}38'36''\text{W}$ y la altitud de 461 m. A partir de octubre de 1994 se sitúa definitivamente a $42^{\circ}49'01''\text{N}$ y $1^{\circ}38'16''\text{W}$. Dada la altitud bastante parecida y su ubicación dentro del casco urbano de la ciudad, no se cree que sus variaciones sean importantes.

Para comprobar la homogeneidad, que indica el grado de distribución de las temperaturas medias dentro de la serie temporal, se ha aplicado el test de las rachas (FERNÁNDEZ, 1995, pág. 48). Se han anotado 23 rachas, dato que se encuentra justamente dentro de los umbrales permitidos para los niveles de probabilidad del 2,5 % y 97,5 %, para un período de sesenta años.

Se ha determinado el valor central, mediante el cálculo de la media y la mediana. La temperatura media anual para el período más largo de la serie, 1941-97, es $12,52^{\circ}\text{C}$. Se mantiene en el período intermedio 1941-70 ($12,5^{\circ}\text{C}$). No presenta variación en el período 1971-97 ($12,55^{\circ}\text{C}$). Y en el período más reciente de 1981-97 alcanza su más alto valor ($12,79^{\circ}\text{C}$). La mediana es $12,41^{\circ}\text{C}$ para el total de la serie y para los períodos 1971-97 y 1941-70 y hay un aumento, al igual que sucedía con las temperaturas medias, en el período 1981-97 ($12,7^{\circ}\text{C}$). Se da proximidad o coincidencia entre la media y la mediana, por lo que la media aritmética representa también la centralidad.

Para el estudio de la dispersión se ha calculado primeramente el recorrido o rango; después los quintiles, que permiten dividir la serie en cinco tipos de años, denominados muy fríos, fríos, templados, cálidos y muy cálidos; a continuación la desviación estándar; y, finalmente, el coeficiente de variación.

Para el período comprendido entre 1941-97 la temperatura media más alta fue de 13,9°C (año 1947) y la más baja de 11,1°C (año 1941). Los años comprendidos entre 11,1°C y 12°C se consideran muy fríos; los situados entre 12,1°C y 12,3°C son fríos; templados los que están entre 12,4°C y 12,6°C; cálidos los que entran dentro del grupo 12,7°C y 13,2°C; y muy cálidos los comprendidos entre 13,3°C y 13,9°C. Según los datos de los quintiles, en el período 1941-97 se han contabilizado 15 años muy fríos, 10 fríos, 10 templados, 12 cálidos y 10 muy cálidos. En los años 1941-70 se han observado 11 años muy fríos, 3 fríos, 5 templados, 7 cálidos y 4 muy cálidos. En el período 1971-97 se han visto 4 años muy fríos, 7 fríos, 5 templados, 5 cálidos y 6 muy cálidos. En los años 81-97 se han observado 1 año muy frío, 3 fríos, 2 templados, 5 cálidos y 6 muy cálidos.

Por lo tanto, de los diez años muy cálidos que registra la serie, seis han tenido lugar a partir del año 1981, tres de los cuales pertenecen a los años noventa. Casi la mitad de los años cálidos anotados, o sea cinco de once, se dan a partir de 1981, y de ellos sólo uno en los años noventa. En el extremo contrario se observa que sólo tiene lugar un año muy frío desde 1981 de los quince registrados en toda la serie y tres fríos de los diez que incluye el período completo. En lo que llevamos de la década de los noventa no se ha registrado ningún año muy frío y dos fríos. Por lo tanto, hay un aumento claro de los años muy cálidos y cálidos a partir de los ochenta, pues de diecisiete años de la serie, once son cálidos y muy cálidos. Este ritmo alto se ve algo matizado en los años noventa, pues, si bien aparecen cuatro años cálidos y muy cálidos, se dan dos fríos y uno templado.

La desviación estándar anual en Pamplona es alta para el total de la serie, años 1941-97 y período 1941-70 (0,67 y 0,75 respectivamente) y baja para los períodos 1971-97 y 1981-97 (0,57 y 0,56 respectivamente). Desde el comienzo de las series hasta el año setenta las variaciones, sin duda, fueron más acusadas. El coeficiente de variación resulta más alto en los períodos 1941-97 y 1941-70 (5,4 y 6 respectivamente) que en los 1971-97 y 1981-97 (4,6 y 4,4). Los meses de invierno son los más variables en todos los períodos y los de verano los que menos variabilidad presentan.

2. FRECUENCIA Y PROBABILIDAD, ORGANIZACIÓN O ALEATORIEDAD

Las temperaturas medias anuales se han agrupado en ocho clases, comenzando desde 10,9°C y terminando en 14°C, con una longitud de intervalos de 0,4°C. Los intervalos son: 11,2°C (1); 11,6°C (4); 12°C (11); 12,4°C (15); 12,8°C (10); 13,2°C (6); 13,6°C (6); y 14 (4). El mayor número de años se sitúa en tres intervalos centrales y la temperatura media anual cae próxima al extremo final del intervalo central. Con este agrupamiento la prueba de Kolmogorov-Lilliefors (RASO, MARTÍN VIDE, CLAVERO, 1987, pág. 197) verifica la normalidad de la distribución calculada para los extremos superiores de cada una de las categorías establecidas. La máxima diferencia entre la distribución empírica y teórica es 0,1030. Si se comparan estos datos con el valor crítico $D(57; 0,05)$, calculado en función de los 57 años de la serie y el riesgo o nivel de significación 0,05, que arroja la cantidad de 0,1173 se observa que es netamente inferior y el ajuste es bueno. El segundo coeficiente de sesgo de Pearson, que es de 0,4023 indica que la distribución es simétrica.

Después de observar las gráficas de las temperaturas anuales, se ha procedido a comprobar, ante las dudas existentes, si las series son aleatorias, sin autocorrelación temporal, o si, por el contrario, están organizadas, con la aplicación del test de Von Neumann a los cuatro períodos señalados y a

sus medias móviles de cinco años (RASO, MARTÍN VIDE, CLAVERO, 1987, pág. 228). Las temperaturas medias anuales para los períodos 1941-97 y 1981-97 muestran la existencia de una organización media (1,408 y 1,474 respectivamente), alta para el período 1971-97 (1,066) y una tendencia hacia la aleatoriedad para el 1941-70 (1,630).

3. GRADO DE CORRELACIÓN, TENDENCIA FUTURA ANUAL E INCREMENTO ESTACIONAL

El coeficiente de correlación de Pearson (GRUPO CHADULE, 1980, pág. 158) indica la relación funcional existente entre la variable aumento de temperaturas y los años para los diferentes períodos considerados y el de determinación el tanto por ciento de la varianza que se explica por la correlación.

En el período 1941-97 hay una ligera correlación positiva (Pamplona 0,124). Si los cálculos se hacen con respecto a las medias móviles de cinco años, la correlación sigue siendo muy baja y negativa (-0,06). Lo mismo sucede en el período 1941-70, que tiene una correlación baja y decreciente (-0,130). Si se tienen en cuenta las medias móviles de cinco años resulta decreciente (-0,530). El coeficiente de determinación señala que tan solo un veintiocho por ciento de la varianza se explica por la correlación. Por el contrario, existe una correlación lineal fuerte y positiva en los últimos veintisiete años, período 1971-97, tanto en las temperaturas anuales como en sus medias móviles, cuyos coeficientes se alejan del cero (0,7 y 0,933 respectivamente). Por lo tanto, hay una indicación clara del incremento de las temperaturas en estos años, cuyo coeficiente de determinación señala que casi un noventa por ciento de la varianza se explica por la correlación.

Para los últimos dieciséis años, años 1981-97, el coeficiente vuelve a acercarse al cero y con ello a dar una correlación pequeña, de signo creciente, aunque mucho más nítida que en la serie total de datos (0,537). Al efectuar los cálculos sobre las medias móviles de cinco años el grado de correlación aumenta ampliamente (0,808). El coeficiente de determinación señala que un sesenta y cinco por ciento de la varianza se explica por la correlación.

Se ha efectuado el ajuste por el método de los mínimos cuadrados y el cálculo de la ecuación de la recta de regresión sobre los totales anuales y sobre las medias móviles de cinco años para ver a qué nivel aumentan o disminuyen las temperaturas anuales, conforme avanzan los años.

En el período 1941-97, se observa la presencia de dos ciclos con temperaturas medias anuales elevadas que van a ser las más altas de la serie, años 1943-48 y 1951-60 y uno con temperaturas bajas, 1963-80 (figura 1). Después del período descendente 1957-63 se inicia otro ascendente y oscilante hasta nuestros días. El ritmo de crecimiento iniciado a partir del ochenta sigue siendo alto en los noventa. Las temperaturas elevadas de los últimos años tienden a asemejarse a las de los años cuarenta y cincuenta, sin alcanzarlas. Con estos resultados y considerando el total de la serie la tendencia resulta ligeramente positiva y se produce un aumento medio anual de 0,005°C a partir de 12,377°C. Si se obtiene la tendencia con las medias móviles de cinco años se produce un ligero descenso medio anual de 0,0014°C a partir de 12,561°C, con un coeficiente de correlación muy bajo. La presencia de temperaturas altas en los primeros años y las temperaturas bajas del largo período 1967-80, hace que la serie se inicie desde unos parámetros altos y que la tendencia sea ligeramente creciente, por lo que puede oscurecer lo que realmente está ocurriendo en los últimos años.

Para el período 1941-70 la tendencia resulta negativa y se produce una disminución media anual de $0,0115^{\circ}\text{C}$ a partir de $12,68^{\circ}\text{C}$ y con las medias móviles de $0,0285^{\circ}\text{C}$ a partir de $12,97^{\circ}\text{C}$, con un coeficiente de correlación medio, que explica el veinticinco por ciento de la varianza si se tiene en cuenta las medias móviles de cinco años. La presencia de temperaturas altas en los primeros años de la serie hace que se inicie desde unos parámetros altos y que la tendencia sea decreciente.

En el período 1971-97 (Fig. 2) continúa el ciclo ascendente o creciente de las temperaturas medias anuales, pero oscilante, que va durar hasta nuestros días. El ritmo de crecimiento iniciado a partir de los setenta, sigue su curso en los ochenta y en los noventa, años en los que el crecimiento es alto, sin llegar a los años muy cálidos de comienzo de la serie. Con estos resultados y dado que en este período no entran los ciclos de altas temperaturas de los años cuarenta y cincuenta, la tendencia resulta creciente y se produce un aumento medio anual de $0,0516^{\circ}\text{C}$ a partir de $11,827^{\circ}\text{C}$. Si se obtiene la tendencia con las medias móviles de cinco años se produce un aumento medio anual de $0,0454^{\circ}\text{C}$ a partir de $11,988^{\circ}\text{C}$. Todo esto, a diferencia de los períodos anteriores, con un coeficiente de correlación muy alto ($0,700$ para los datos anuales y $0,933$ para las medias móviles de cinco años). Por lo tanto, el período 1971-97 presenta una clara tendencia creciente, con un incremento de la temperatura significativo que dura hasta nuestros días.

El período 1981-97 presenta una tendencia creciente con oscilaciones. Se suceden los años cálidos dominantes, pero entre medio se sitúan años más moderados. Se produce un aumento medio anual de $0,061^{\circ}\text{C}$ a partir de $12,243^{\circ}\text{C}$. Si se obtiene la tendencia con las medias móviles de cinco años se produce un aumento medio anual de $0,0491^{\circ}\text{C}$ a partir de $12,419^{\circ}\text{C}$, con un coeficiente de correlación importante ($0,537$ para los datos anuales y $0,808$ para las medias móviles de cinco años). Por lo tanto, el período 1981-97 presenta una tendencia creciente, a un ritmo semejante al del período 1971-97, con un incremento de la temperatura que dura hasta nuestros días.

Una vez calculada la tendencia anual se ha observado la estacional, estudiando la regresión lineal de las cuatro estaciones del año, sólo para el período 1971-97, que es el más significativo, con el objeto de ver cuáles son las estaciones del año que más y menos incremento de las temperaturas están registrando. La tendencia resulta creciente en las cuatro estaciones del año. La primavera es la estación del año que registra un aumento medio anual más importante ($0,0787^{\circ}\text{C}$ a partir de $9,8949^{\circ}\text{C}$), con un coeficiente de correlación alto ($0,7249$). En la estación invernal el incremento se sitúa por debajo de la media anual ($0,034^{\circ}\text{C}$ a partir de $5,6123$), con un coeficiente de correlación bajo ($0,3581$). La estación estival registra un aumento medio anual menos importante por debajo de la media anual ($0,0491^{\circ}\text{C}$ a partir de $18,961^{\circ}\text{C}$), con un coeficiente bajo. El otoño registra un aumento medio anual próximo a la media anual ($0,0444^{\circ}\text{C}$ a partir de $12,839^{\circ}\text{C}$), con un coeficiente de correlación bajo ($0,3584$).

4. CONCLUSIONES

1. Los años más cálidos de la serie 1941-97 no han tenido lugar en los últimos años, sino en las décadas de los cuarenta, cincuenta y sesenta. A partir de 1981 hay un aumento importante de la temperatura media y de la mediana con respecto al total de la serie y a los otros períodos. Desde este año se nota una escasa presencia de años fríos y una frecuencia importante de años cálidos. Este

ritmo ascendente de los ochenta se ve ligeramente suavizado en los años noventa, en donde se observan tres años fríos.

2. En el período 1971-1997 existe una clara correlación de signo creciente. El hecho de que en el período 1981-1997 esto no resulte tan claro hace suponer que la tendencia al alza de los años setenta y ochenta posiblemente se haya visto suavizada en los años noventa. En el período largo, 1941-97, y en el 1941-70, el grado de correlación es débil debido, sin duda, a una serie de años muy cálidos que tienen lugar en las décadas de los cuarenta, cincuenta y sesenta.

3. Si se tiene en cuenta el total de la serie, período 1941-97, se observa la presencia de tres momentos distintos. El primero de ellos, cálido, ocupa las dos primeras décadas (años cuarenta y cincuenta). El segundo, frío, con tendencia creciente llega hasta los ochenta. Y el tercero, cálido, con un ritmo de crecimiento alto se inicia a partir del ochenta y se suaviza en los noventa, con temperaturas elevadas de los últimos años. El período 1971-97, por el contrario, es altamente significativo y presenta una clara tendencia creciente con un alto grado de correlación. El período 1981-97 presenta también una tendencia creciente con oscilaciones y con un coeficiente de correlación bajo. Se suceden los años cálidos dominantes, pero en medio se sitúan años más moderados. Este período presenta una tendencia creciente, con un incremento de la temperatura que dura hasta nuestros días. Los ciclos de temperaturas altas se acercan a los de los años cuarenta y cincuenta del comienzo de la serie global.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1994): “Los cambios climáticos recientes. Tendencias metodológicas y estado de la cuestión en España peninsular”, en *Cambios y variaciones climáticas en España, Actas de la I Reunión del grupo de Climatología de la A.G.E.* pp. 19-33.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1995): *Manual de climatología aplicada*, Madrid, Síntesis, 285 pp.
- GARCÍA LEGAZ, C. Y MARTÍNEZ MOLINA, I. (1984): *Pruebas de significación en climatología*, Madrid, Instituto Nacional de Meteorología, A-87, 40 pp.
- GRUPO CHADULE (1980): *Iniciación a los métodos estadísticos en Geografía*, Barcelona, Ariel, 320 pp.
- MARTÍN VIDE, J. y MORENO GARCÍA, M^a C. (1994): “Algunos indicadores no usuales en el estudio del cambio climático”, en *Cambios y variaciones climáticas en España, Actas de la I Reunión del grupo de Climatología de la A.G.E.* pp. 65-72.
- RASO, J.M. (1987): “Variaciones recientes de la temperatura media en el observatorio del Ebro”, Madrid, *Anales Universidad Complutense*, 7, 155-165.
- RASO, J.M. (1994): “Evolución reciente de las temperaturas medias anuales en España”, in MARTÍN VIDE, J. (ed) *Avances en climatología histórica en España*, Barcelona, Oikos-tau, pp. 91-123.
- RASO, J.M.; MARTÍN VIDE, J. y CLAVERO, P. (1987): *Estadística básica para Ciencias Sociales*. Barcelona, Ariel, 271 pp.

Figura 1. PAMPLONA. Temperaturas medias anuales, medias móviles de 5 años y tendencia lineal (1941-97)

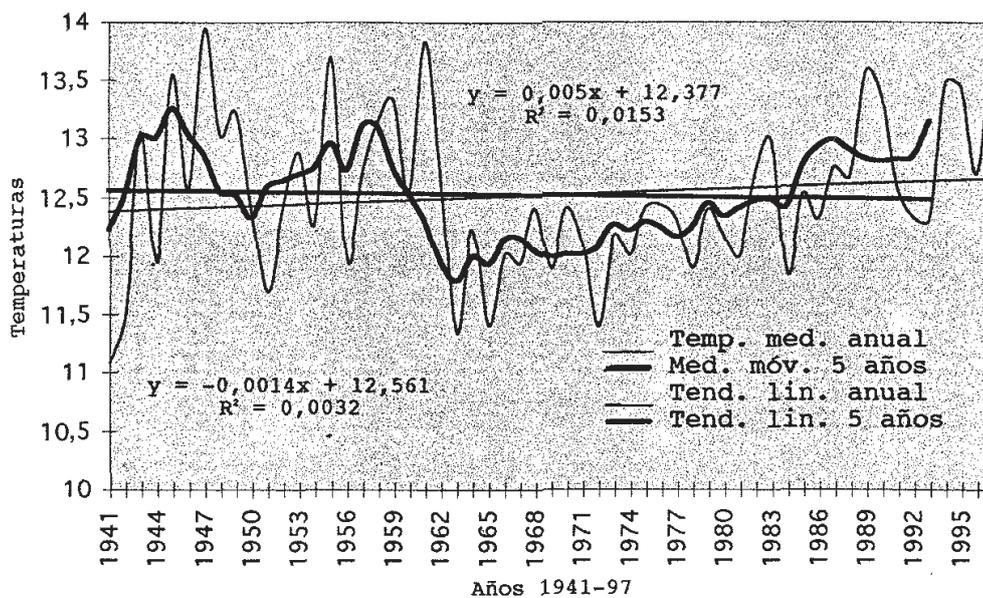


Figura 2. PAMPLONA. Temperaturas medias anuales, medias móviles de 5 años y tendencia lineal (1971-97)

