

ESCEPTICISMO AL “CAMBIO CLIMÁTICO”: EL EJEMPLO DE LAS TEMPERATURAS

*Juan José Sanz Donaire**

RESUMEN

En el presente artículo se realiza un estudio gráfico y estadístico de la evolución de las temperaturas medias anuales de Soria (España) como ejemplo de tratamiento de cualquier serie termométrica, bien entendido que la elección de Soria se ha realizado por la anomalía fría finidecimonónica, por ser una población con el coeficiente de variabilidad más alto de la España peninsular y por ser una población de crecimiento más modesto, donde poder demostrar el posible cambio climático. Las diferencias entre las medias de los distintos treintenios no son estadísticamente significativas. Lo segundo a consignar es que la representación de los datos mediante los gráficos de desviaciones acumuladas son de aspecto bien diferente, según el período que se utilice para hallar la media, lo que condiciona decisivamente el resultado final, así como la presentación de los resultados “sobre bases científicas”. Algunos de los “cambios climáticos” puestos de manifiesto por las clasificaciones climáticas al uso aplicadas a períodos diferentes, se demuestra que no son persistentes, por lo que deben tildarse de “anomalías”. Finalmente los tratamientos estadísticos elementales de las series cronológicas (recta de tendencia, y polinomios de creciente grado) muestran distintos resultados a futuro, condicionados por su propia naturaleza, y en cualquier caso con coeficientes de correlación bajísimos. Los valores termométricos de Soria muestran bimodalidad, y se explican mejor mediante una distribución de Weibull. De todo lo anterior se concluye que no se puede hablar propiamente de cambio climático en Soria para estos datos y este período.

Palabras clave: cambio climático, temperaturas, tratamiento estadístico de datos, Soria (España)

* Cátedra de Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid

SUMMARY:

The present paper carries out a graphic and statistical study of the evolution of the annual mean temperatures of Soria (Spain) as an example of a treatment of any thermometric series. Soria has been elected because of the cold 19th-century-finishing anomaly, because it has the highest coefficient of variability in the peninsular Spain and because it is a little town presenting the minimal population growth in our century. It is our aim to demonstrate its possible climatic change. Initially differences between the means of the diverse thirty-years periods are not statistically significant. Secondly graphs of the data using cumulative deviations show very different aspect, according to the period that is used to calculate the mean. This controls the final result decisively, as well as the presentation of the results on a scientific base. Some of the climatic changes are hold from the climatic classifications used for different periods, but it is evident that they are not persistent, so that they should be considered but "anomalies". Finally some elementary statistical treatments of the time series (trend and polynoms of increasing degree) show different results for the future, controlled by their own nature, and anyway with low correlation coefficients. The temperature values of Soria show bimodality and they are explained better by means of a Weibull distribution. From all the above-mentioned ideas, we conclude that we cannot speak properly of climatic change in Soria for these data and that period.

Key words: climatic change, temperatures, statistical data analysis, Soria (Spain)

En la actualidad se está asistiendo a una importante ola de modernismo en el tema del clima: me refiero a la implantación en los medios de comunicación de la expresión "cambio climático", con un sentido muy restrictivo. Que el clima haya cambiado a lo largo de los largos años transcurridos desde la presencia humana en la Tierra es algo que no deja cabida a la duda. Lo que resulta más difícil de probar es que la "revolución tecnológica", que provoca una parte de la humanidad y a la que asiste expectante el resto de la misma, sea la causante del deterioro del clima. Ya en otro foro y con el fin de ahondar en estos temas, se ha pretendido poner de manifiesto qué es el clima (SANZ DONAIRE, a, 1999), para, a continuación, comprender si hay cambio respecto de él. Lamentablemente la noción es poco clara. Al propio tiempo, el clima es por su propia naturaleza cambiante, por lo que resulta más complicado todavía achacar al hombre la autoría de su cambio. Existe además una intrincada nomenclatura para definir los cambios (gráfico 1). ¿Cómo distinguir entre la innegable variabilidad natural del clima y la posible inducida por el ser humano? A esta cuestión se dedican algunos de los esfuerzos de las próximas páginas.

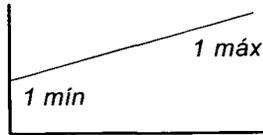
EJEMPLO DE APLICACIÓN DE CONCEPTOS A SORIA

Trabajar sobre el clima en su noción sistémica (LOOCKWOOD, 1985; PEIXOTO Y OORT, 1992) resulta poco menos que imposible, al menos para un investigador único, pues las repercusiones e interacciones son de tal complejidad que ni los modelos actua-

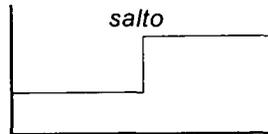
GRÁFICO I

TIPOLOGIA DE CAMBIOS

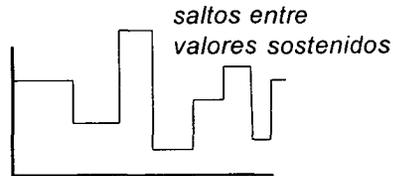
1) Tendencia



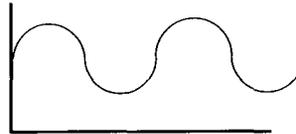
2) Discontinuidad



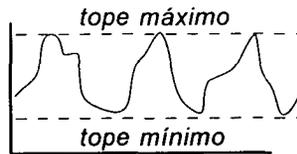
3) Fluctuación
a) vacilación



b) ritmo
→ periodicidad



c) oscilación



d) variación



les, relativamente complicados —aunque no dejan de ser modelos, por lo tanto simplificaciones de la realidad— hacen posible su estudio. Sin embargo, a efectos prácticos es necesario no estancarse en definiciones poco precisas (SANZ DONAIRE, a, 1999) sino continuar avanzando hacia conceptos más útiles. Se hace preciso volver a las definiciones del clima elaboradas por autores anteriores, si bien matizándolas en todo lo posible y acomodándolas a los conocimientos generales que están ahora progresando (SANZ DONAIRE, b, en prensa). A tal fin propongo aquí un modo de proceder con los datos climáticos basado en mi experiencia, de la que se extraerán las oportunas conclusiones.

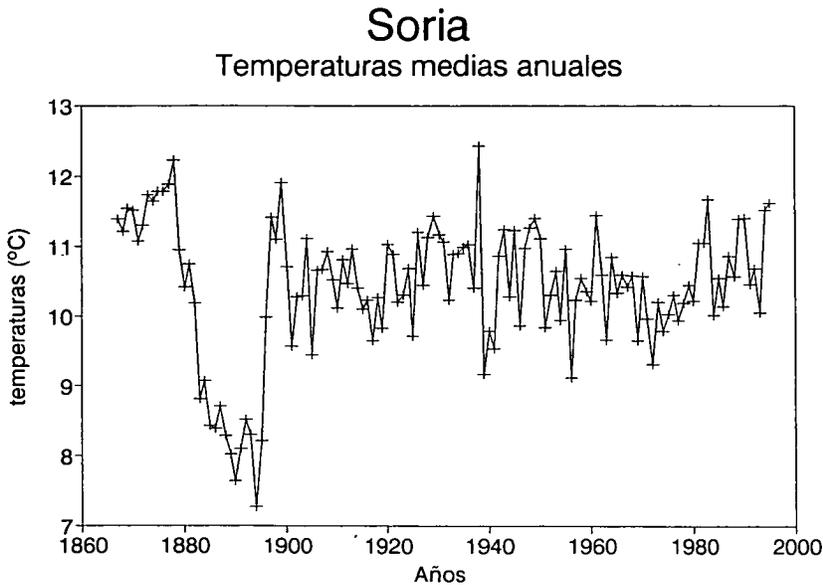
LA OBTENCIÓN Y ELABORACIÓN INICIAL DE LOS DATOS CLIMÁTICOS

En otro lugar ya citado se ha visto que la definición de clima se aventura por los difíciles caminos de la imprecisión, especialmente en los últimos tiempos en los que se ha incorporado la escurridiza noción de cambio climático. El problema se agrava cuando se buscan datos concretos sobre los que trabajar y a los que aplicar las elaboraciones que propugnan ciertos autores (por ejemplo las de HOUGHTON, JENKINS y EPHRAUMS, 1990).

Para demostrar lo que acabo de enunciar voy a poner el ejemplo de las **temperaturas medias anuales de Soria**. Se ha escogido la serie de temperaturas medias anuales de esta localidad porque, a tenor de las definiciones al uso sobre el clima, es donde mejor se puede poner de manifiesto la existencia del mal llamado “cambio climático” (gráfico 2). En primer lugar debe quedar claro que la serie climática es relativamente completa, y se ha recogido desde 1867 a 1995¹. No obstante, es preciso completar los años de la Guerra Civil, pues faltan los últimos meses de 1936, todo 1937 y los primeros meses de 1938. Aunque no dudamos de la bondad del método más recomendado para rellenar series, el de la Oficina Meteorológica Estadounidense, dado que los observatorios cercanos también tienen prácticamente las mismas carencias, se ha optado por la menos mala de las soluciones: rellenar los datos mensuales con los valores de la media de toda la serie para ese mes, lo que tampoco es original (PEIXOTO y OORT, 1992, págs 84 y 87). Soy consciente de que no es una solución óptima, pero frecuentemente, como ya decía Lalonde², el peor enemigo de lo bueno es lo mejor. Cualquier otra solución adoptada, pienso, sería más deformante.

En estudios referidos a la precipitación (INM, 1996) se pone de relieve la falta de homogeneidad de la serie pluviométrica de Soria (pág. 273 y ss), que tal vez esté relacionada con los cambios de ubicación del instrumental. Pero, mientras que el registro hidrométrico es especialmente sensible a las condiciones cambiantes del entorno, y preferentemente la influencia de “sombras pluviométricas”, el termométrico lo es menos. No obstante, en un reciente estudio (RASO, 1997) se ha puesto de manifiesto que Soria, en el contexto de los observatorios españoles con series instrumentales recientes aunque largas, constituye un caso hasta cierto punto particular, por la escasa homogeneidad de la serie, o el elevado coeficiente de variación entre 1860 y 1990 (los extremos temporales de la serie que estudia el autor), de casi el 15%, cuando sólo Huesca se aproxima al 10% y los restantes observatorios se hallan por debajo del 6% (págs 92–96). Este hecho, en nuestro caso de aplicación de conceptos del llamado periodísticamente “cambio climático” a un ejemplo español, lejos de constituir una desventaja, resulta un reto.

GRÁFICO 2



En el gráfico 2 se ha expresado la evolución de las mencionadas temperaturas medias de toda la serie 1867–1995, y la punta que aparece poco antes de 1940 corresponde al año 1938, anormalmente cálido, que no al año 1937 “totalmente rellenado”, y que destaca tanto más cuanto que el trienio que le siguió fue anormalmente frío. En este gráfico se pone de manifiesto un período frío que transcurre desde 1883 a 1895 (ambos inclusive), con temperaturas medias que son todas ellas inferiores a 10°C. Debe tenerse en cuenta que esta característica de frío no se repite en todas las restantes estaciones españolas. Más bien constituye una “anormalidad” que sólo Huesca ofrece; y no es casualidad que la serie histórica instrumental que alcanzaba el segundo valor más alto en cuanto al coeficiente de variabilidad sea precisamente Huesca. Lo primero fue realizar unos ensayos de contraste de hipótesis dentro de la inferencia estadística. A pesar de lo “evidente” que resulta en el gráfico el descenso “anormal” de temperaturas para esa quincena de años, para un nivel de significación de $\alpha=0,05\%$ (y que a veces se ha criticado, LABOVITZ, 1968), no ofrece suficiente variación respecto de las treintenas de años (1871–1900, 1901–1930, 1931–1960 y 1961–1990), ni tan siquiera para con el treintenio que incluye tales cifras. Sólo se produce diferencia respecto de la serie completa, de 129 años de duración. Con ello puedo afirmar rotundamente, con las armas estadísticas al uso, esto es, con una alta probabilidad de certeza, que la serie entre 1883 y 1895 constituye una **anomalía** respecto de la serie completa, en el sentido que se utiliza este término en las definiciones de la OMM (SANZ DONAIRE, b, en prensa).

GRÁFICA DE DESVIACIONES ACUMULADAS

Con el fin de recalcar aún más las diferencias relativas de temperatura, he realizado un gráfico de “desviaciones térmicas acumuladas”(gráfico 3). Se confecciona mediante la adición, con su signo, de las diferencias entre la temperatura de cada año y la media de toda la serie. En esta representación queda todavía más clara la etapa fría de la que he hablado en el párrafo anterior. Se trata de un período de 15 años ininterrumpidos en los que la temperatura ha estado por debajo de la media. Pero en el mismo gráfico también se vislumbra que con anterioridad ha habido una serie, al menos de igual duración, de años de valores mayores que la media. Al propio tiempo se puede contemplar que, aproximadamente, entre 1900 y 1925, la temperatura se mantiene constante (respecto de la media), para ascender continuamente entre 1928 y 1955, años en que alcanza una meseta en la que se estabiliza. Al llegar a 1971 comienza un período nuevamente frío hasta el 1980 en que se reanuda una subida generalizada, aunque con ciertos retrocesos momentáneos.

El ascenso podría interpretarse como el tan buscado aumento debido a la actividad humana, que por motivos tecnógenos, ha incorporado más gases de efecto invernadero a la atmósfera. La elección de Soria no es casual, sino que tiene como meta reducir, en lo posible, la impronta humana, teniendo en cuenta que se trata de una de las capitales de provincia con menor crecimiento de España. No dudamos que, como se ha sugerido en otros lugares (DRONIA, 1967), parte del ascenso térmico pueda estar relacionado con el progreso de la urbanización y, sobre todo, del nivel de vida, lo que implica un mayor consumo de combustibles fósiles para calefacción,... El aumento de gasto en energía es notable y se ha utilizado como indicador, junto a otros, del aumento de la calidad de vida.

LA DECISIVA IMPORTANCIA DE LA ELECCIÓN DEL TREINTENIO

Pero el modo de proceder en el caso que expongo no es el habitual en el tratamiento de las cifras termométricas. Suele ser más frecuente el tomar como referencia una treintena de años, para que se pueda hablar con propiedad de “estudio climático” (y, por lo general, se toman los últimos años) y, por contraposición a aquella, realizar los gráficos. También lo he hecho yo, y el resultado constituye el gráfico 4. Dado que, por casualidad, la media del treintenio 1966–1995 ($10,5^\circ$) ha sido parecida a la media de toda la serie ($10,41^\circ$), la gráfica 4 casi reproduce la 3. Pero, me pregunto, ¿por qué tomar el último treintenio (el período 1951–1980 en HOUGHTON, JENKINS y EPHRAUMS, 1990) como “clima” normal? Porque existe quien toma una treintena de años diferente, como CALLENDAR (1961) para trabajar las series del globo desde finales del siglo pasado hasta la mitad del presente. Este autor además, con el fin de suavizar las posibles diferencias de corto plazo utilizó el método de las medias móviles con las series. ¿En qué se basan para elegir una u otra treintena? Porque de la elección de un treintenio o bien otro, dependerá el resultado obtenido. En otro orden de cosas algunos autores (VON RUDLOFF, 1967; HARRIS, 1964; JONES, 1988) toman como normal o bien la media de la temperatura entre 1851–1950, o la media del quinquenio 1880–84 [casualmente el más bajo de la serie], o bien el período 1951–70 respectivamente. Véase ahora nuestro ejemplo.

El gráfico 5 muestra la representación de los mismos valores aunque elaborados de un modo diferente: se ha acumulado (por el método del gráfico anterior) las diferencias entre

GRÁFICO 3

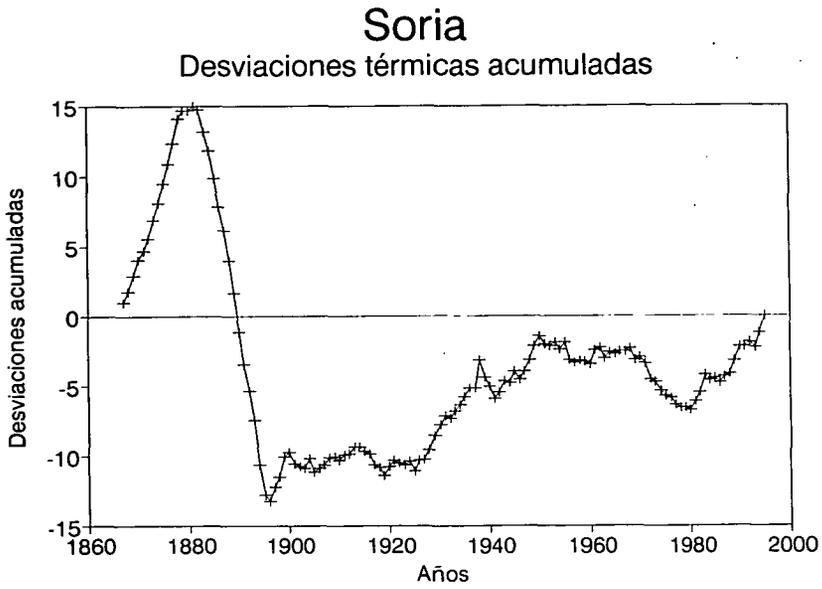


GRÁFICO 4

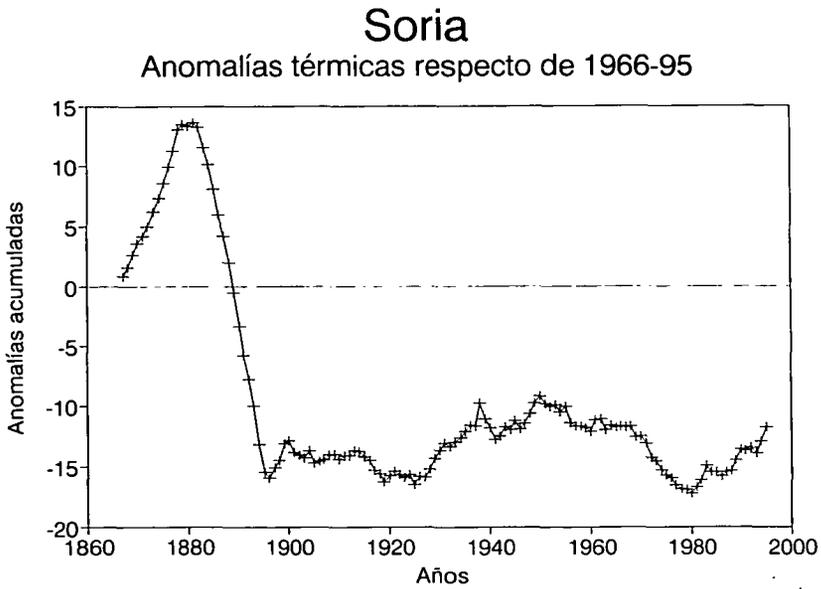
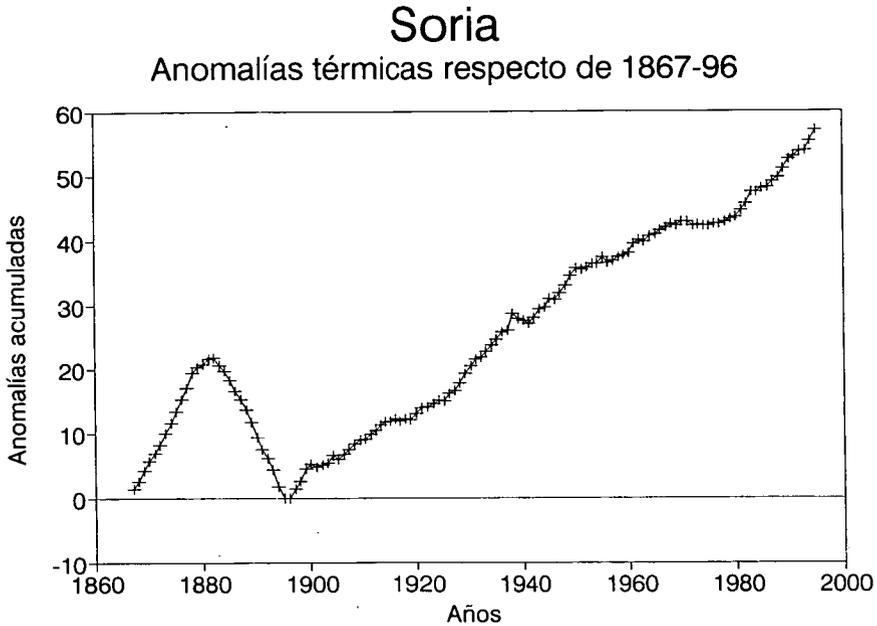


GRÁFICO 5



las temperaturas medias anuales y la media del treintenio 1867–1896 (que, en esta ocasión arroja un valor de $9,97^\circ$, relativamente alejado de la media de toda la serie o del último treintenio, pero en el que se compensan los valores al alza de los primeros 15 años con los valores a la baja de los 15 restantes). La interpretación que puede hacerse del gráfico es coincidente con la de los gráficos anteriores para los primeros años de observaciones, pero cambia, radicalmente, a continuación.

Extráiganse las oportunas consecuencias de la elaboración diferencial de los datos y de los gráficos correspondientes: en la gráfica 2 apenas puede aventurarse nada respecto de lo que será el valor venidero de temperatura anual; en el gráfico 3 parece ponerse de manifiesto una tendencia al alza durante todo este siglo, que, tal vez, pudiera continuarse en los años futuros. En el gráfico 4 se advierte un aumento de la variación “climática”, lo que en la terminología de la OMM (SANZ DONAIRE, b, en prensa) anteriormente citada se llamaría una “variabilidad creciente”. Finalmente el gráfico 5 muestra inequívocamente una tendencia de ascenso, mantenida durante todo un siglo (!). En ella es fácil calcular el promedio de elevación de la temperatura y alarmar, **sobre bases científicas**, a las gentes.

LAS CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS Y EL CAMBIO DEL CLIMA

Sin abandonar la treintena de años, pues otra cosa parecería suicida en un estudio que pretenda tildarse de climático, también se producen “cambios climáticos” cuando se cambia de treintena. Una vez más he optado por los datos de Soria. Esta vez se trata de poner de manifiesto el “cambio climático” sobre la base de los datos de series de treinta años diferentes, y a través de las clasificaciones climáticas. Nadie podrá poner en duda que las clasificaciones siempre se apellidaron climáticas, que no meteorológicas, pues se basaban, y lo siguen haciendo hasta la actualidad, en series suficientemente largas, por lo habitual de 30 años. En el congreso internacional de meteorología de 1935 celebrado en Varsovia se decidió dar como período normal el treintenio 1901–1930 y considerar todas las diferencias en las medias entre este treintenio y otros como “variación climática”, aunque pronto se llegó a la conclusión de que este período no había sido tan “normal”. Por ello a partir de 1972 el Comité del GARP (Global Atmospheric Research Program) del US National Research Council convocó un grupo de trabajo a que ahondase sobre el concepto de cambio climático. Se llegó a la noción de “estado climático”, definido como media, junto a la variabilidad y a otras magnitudes estadísticas, de un conjunto completo de variables atmosféricas, hidrosféricas y criosféricas en una porción escogida del sistema tierra-atmósfera, contemplado para un intervalo de tiempo, que sea no sólo notablemente más largo que la duración de un sistema meteorológico sinóptico (éste con un orden de magnitud de algunos días), sino también más largo que el límite teórico para el que se puede realizar una predicción sobre el comportamiento de la atmósfera que se halla sobre un determinado área (éste, de orden de magnitud de algunas semanas). Cualesquiera diferencias respecto del *climatic state* fueron tildadas de “variación climática”. Por ello cabe hablar de “variaciones climáticas” mensuales, estacionales, anuales e interanuales (Nat. Acad. 1975, pág 19), en todos los casos respecto de los valores medios de una duración relativamente larga: por ejemplo, el enero de 1939 respecto de la serie 34–49 o el invierno de 1928/29 en la Europa Central respecto de 1924/25–1938/39.

Aplíquense los criterios de clasificación a datos diferentes, como los que son propios de dos treintenios sucesivos, y se verá que **el clima cambia**. Al mismo tiempo deseo poner en guardia al lector sobre el problema de los datos. En la tabla siguiente y para las diferentes estaciones elegidas se han vertido los datos publicados en el Anuario Estadístico de España y que hacen referencia a otra serie CLINO, esta vez 1931–60, y los de elaboración propia. Nótese que tampoco hay concordancia entre los del Anuario y los nuestros para el mismo treintenio, lo que produce que en el caso de Soria el tipo de clima varíe de mediterráneo a atlántico.

Estación	Tene	Tfeb	TMar	TAbr	Tmay	TJun	TJul	Tag	Tsep	Toct	TNov	Tdic	Tmed	Pen	PFeb	PMar	Pabr	PMay	PJun	PJul	PAg	PSep	POct	PNov	PDic	Ptot	Clasif	
Soria INE	2,5	3,7	6,2	8,5	11,9	16,3	19,6	19,5	16,3	11	6,1	3,1	10,4	49,3	48,1	46,7	48,9	57,7	53,9	29,3	27,1	44,7	45,3	53,7	50,2	555	Csb3	
1871/00	1,7	3,7	5,4	7,8	11,5	15,9	19,9	20	16,1	10,1	5,7	1,9	9,98	41,7	46,5	49,4	63,3	65,3	46,7	21	24,8	43,3	60,7	50,3	43,1	556	Csb3x	
1901/30	2,7	3,6	5,9	8,4	12,6	16,3	19,7	20,2	16	11,1	5,9	3,4	10,5	34,5	51,9	48,3	51,1	64,6	61,3	27,4	18,7	48,9	49,4	55,2	53,8	565	Csb3x	
1931/60	2,3	3,5	6,6	8,9	11,9	16,5	19,7	19,5	16,4	11	6,2	3,1	10,5	51,4	44,1	49,9	48,7	62	55,8	30,6	30,4	48,7	49,2	48,4	54,7	574	Cfb3	
1961/90	2,9	4	5,9	7,9	11,8	16,1	19,9	19,6	16,5	11,4	6,2	3,4	10,5	46,1	48	38,4	51,8	53,5	48,5	29,4	24	32,9	38,5	57,7	46	515	Csb3s'	
Valencia	10,8	11,6	13,2	15	18	21,7	24,1	24,6	22,5	18,5	14,4	11,4	17,2	31,4	29,5	30,6	32,4	32,8	24,2	8	21,2	48,8	94,7	40,4	43,5	438	Csa1s'	
1871/00	9,8	11,3	12,6	15,1	17,6	21,1	24,2	24,7	22,3	18,4	14,2	10,4	16,8	34,2	41,2	45,7	32,3	39,9	19,3	11,9	9,5	73,5	66,5	69,3	44,4	488	Csa2s'	
1901/30	10	10,9	12,6	14,8	17,8	21,4	24	24,7	22	18,1	13,7	11,1	16,8	24,1	40	27,4	29,8	33,2	28,8	10,7	8,3	70,7	45,7	71,5	26,9	417	Csa1s'	
1931/60	10,3	11	13,1	15	17,9	21,5	24,1	24,6	22,5	18,3	14,2	11,1	17	31,6	34	27,8	29,6	34	32,7	12,7	23,6	57,6	76	37,9	40,6	438	Csa1s'	
1961/90	11,5	12,3	13,6	15,3	18,2	21,7	24,6	25	22,9	19	14,6	12	17,6	31,8	30,2	33,6	39,6	32,3	22,9	8,8	20,7	47,3	94,5	57,2	45,3	464	Csa1s'	
Valladolid	3,6	5,4	6,1	10,4	13,8	17,7	21,1	20,7	17,7	12,8	7,3	4,1	11,7	43,1	34,1	41,8	34,5	42,8	36	16	12	29,8	36,3	44,9	39,7	411	Csb3x	
1871/00	2,9	5,6	7,5	10,1	13,7	17,9	21,2	21,3	17,6	11,9	7,3	3,2	11,7	20,8	25,5	27,6	27,8	40,5	31,5	9,9	8,2	31	34,5	36,9	22,6	317	Csb3x	
1901/30	3,5	5,1	7,6	10,2	14,3	17,9	20,9	21,4	17,5	12,5	7	4,3	11,9	23,4	38,6	35	32,8	45,2	41,4	17,4	9,5	27,9	44,7	48,4	43,1	407	Csb3s'	
1931/60	3,7	5,2	8,6	10,9	14	18,5	21,4	21,1	18	12,6	7,6	4,2	12,2	35,9	27,6	46,5	35,5	42,8	33,5	13,7	14,5	29,5	38,4	43,8	46,1	408	Csb3x	
1961/90	4	5,7	7,8	9,9	13,5	17,8	21,4	21	18,2	13	7,4	4,3	12	46,6	41,5	32,5	43,5	47	36,6	17,2	13,2	33,2	35,3	52,2	43,8	443	Csb3s'	

FUENTE:

1º) INE: Anuario Estadístico de España, 1989,
para la serie 1931-60.

2º) y restantes treintenarios: elaboración propia

De la tabla anterior se deduce que la aplicación de las clasificaciones a lugares, como el caso de Soria, que se encuentran cercanos a los límites entre dos climas, ofrece la imagen de un cambio climático. En definitiva, cuanto más cercano esté un lugar a su ecotono, como se expresaría en biogeografía, tanto más fácil es que cambie. Y he aquí que ahora se pone de manifiesto otro de los grandes problemas de nuestro conocimiento científico: el de los **umbrales**, especialmente relevante desde que se ha incorporado una concepción sistémica a la ciencia. ¿Hasta qué punto estamos seguros de que los límites trazados entre dos ámbitos son realmente significativos? Recordemos que la clasificación climática de Köppen, en este caso modificada para España por los hermanos LÓPEZ GÓMEZ (1959), tiene una base biológica, o mejor dicho, fitogeográfica. Efectivamente de lo que se trató, al inventar Köppen su clasificación climática, es de ajustar lo más posible las "medidas climáticas", personalizadas en los datos de temperatura y de precipitación, los más habituales y con cobertura mundial, a las formaciones vegetales, definidas con anterioridad. La pregunta que subsiste es si los umbrales de separación son lo suficientemente relevantes como para permitir la clasificación. Vuelvo sobre el problema: las pequeñas variaciones de apenas unos milímetros en las medias de precipitación de Soria en el trimestre estival, al superar los 30 mm de precipitación, son suficientes como para que el clima del treintenio 1931-60, la serie CLINO por excelencia³, sea considerada como correspondiente a un lugar de clima templado húmedo. No así los años anteriores ni posteriores, en los que la aplicación estricta de las fórmulas no deja lugar a dudas: hay meses veraniegos con menos de 30 mm, luego es un clima mediterráneo. La pregunta subsiste: ¿realmente hay cambio climático? Y la respuesta debe matizarse a la vista de la realidad de que el "cambio" ha sido pasajero, pues las condiciones mediterráneas volvieron a instalarse en el siguiente treintenio. Esta vez también puede hablarse de una **anomalía** climática durante el segundo treintenio del siglo XX, anomalía que luego ha desaparecido. Según algunos autores, sólo se considerará cambio climático al irreversible. ¿Y qué seguridad tenemos, sobre bases científicas, de que el cambio, caso de que se produzca, no pueda invertirse en tiempos venideros?

Pero las dudas no acaban ahí: ¿la mera diferencia de un subíndice climático es suficiente como para que se deba hablar de cambio climático? Si se acepta, lo que por otra parte parece lógico si se ha asentido previamente al valor de la clasificación, se habría de anotar como cambio climático el realizado en la estación de Valencia entre el último treintenio decimonónico y los restantes: mientras que el primero fue más fresco, los restantes, más cálidos. Pero llama la atención que las fuertes variaciones a la baja de temperatura experimentadas en Soria en el último cuarto del siglo pasado, y que tantos tratamientos estadísticos nos obligará a hacer en los párrafos posteriores, no hayan sido capaces de verse reflejados en un "cambio climático", toda vez que fueron amortiguados por una ulterior subida de la temperatura. Lo que parece ocurrió a finales del siglo pasado fue una subida "anormal" de la temperatura que tuvo que compensarse con una bajada posterior, en definitiva, hubo una respuesta flexible en el sistema climático, de tal modo que se retornó a las condiciones normales. Cuanta mayor sea la desviación brusca respecto de la media, tanto más rápida será la vuelta a las condiciones primigenias, salvo cuando se traspase un umbral. Como hemos comentado en gráficos anteriores, frente a la supuesta irreversible subida de temperatura, equilibrio dinámico.

Otro tanto podría decirse de Valladolid, en la que se han registrado movimientos en las máximas lluvias: mientras que, por lo general es la primavera la estación más lluviosa, en

los treintenios de comienzos de siglo y de finales del mismo, los máximos se han producido en otoño. He aquí otro cambio climático, que, además, si se estima oportuno, coincidiría con el comportamiento de Soria, otra estación del interior peninsular, sita en la misma cuenca del Duero. Piénsese que con frecuencia el comportamiento de algunos científicos es de sofistas: si nuestra intención es buscar argumentos a favor del cambio climático, todos los indicios que nos aporten ayuda en ese sentido serán tenidos en cuenta, mientras que los que ofrecen dificultad de interpretación, o contradigan las hipótesis de partida, se obviarán. Una vez más se enfatiza en los presupuestos apriorísticos, que condicionan toda la labor intelectual posterior. Si no hay hipótesis ... , ni siquiera habrá datos que tomar ni consecuencias que extraer.

Todo lo que se ha expuesto aquí para la clasificación de Köppen puede también aplicarse a otras clasificaciones, ya simples, ya complejas, desde el factor pluvial de Lang, pasando por las clasificaciones de E. de Martonne, los índices de aridez, etc. hasta llegar a las más sofisticadas.

TRATAMIENTOS ESTADÍSTICOS ELEMENTALES

A pesar de que dudo radicalmente de la misma concepción del “cambio climático” antropogénico, como, pienso, hasta ahora ha quedado bastante claramente expuesto, el hombre no se resigna ante la adversidad y sigue intentando nuevos caminos de penetración en la verdad de las cosas. Así me apresuraré a la aplicación de correlaciones, en orden de complejidad creciente, como modo de establecer modelos simples de evolución de las temperaturas de Soria.

Se comienza por la regresión simple, en la que se usa un modelo intrínsecamente lineal, el ajuste de la recta de tendencia entre el paso del tiempo y la temperatura. Tal ajuste, expuesto gráficamente en 6, arroja un coeficiente de correlación de Pearson muy bajo, como era de esperar, ante una serie de grandes variaciones. Sin embargo, pone de manifiesto una suavísima tendencia hacia el alza. Los ajustes posteriores se hicieron con una cuadrática (gráfico 7), con una exponencial y una potencial, amén de una recíproca, con idéntico resultado. He aquí los parámetros más importantes.

Ajuste	Expresión	Coef.corr.	R ²	A °C	W °C	Dt °C
Lineal	$T_m = 5,49 + 0,002t$	0,099	0,010	10,5552	10,6161	0,0609
Recíproca	$1/T_m = 0,177 - 0,000041t$	-0,15	0,023	10,3716	10,6991	0,3275
Cuadrática	$T_m = 1E - 04t^2 - 0,38t + 374,68$	0,163	0,026	10,8616	11,2910	0,4294
Exponencial	$T_m = e^{(1,70 + 0,00033t)}$	0,127	0,016	10,1172	10,6412	0,524
Potencial	$T_m = 0,0864 t^{0,632}$	0,126	0,016	10,1271	10,6443	0,5172

T_m = temperatura media anual en grados centígrados

t = tiempo, expresado en años de nuestra era

A = 1867, año en que comienza la serie

W = escenario 2020, año en que termina la predicción de 25 años sobre el año 1995, fin de la serie

Dt = diferencia de temperatura calculada

En todas las expresiones de ajuste se han redondeado los decimales hasta ser significativos.

GRÁFICO 6

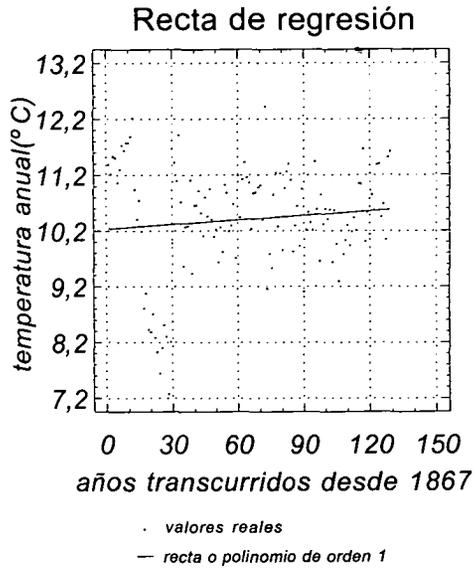
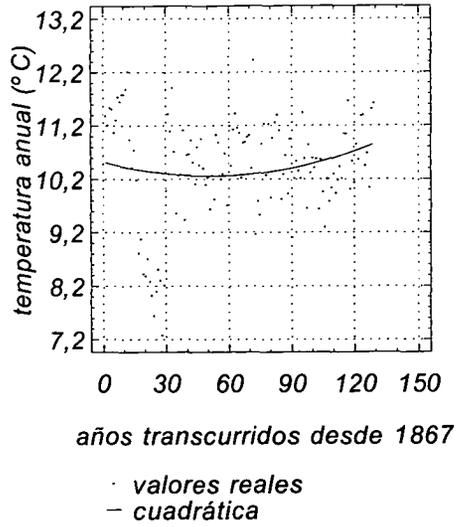


GRÁFICO 7

**Ajuste de polinomio
de orden 2**



Como puede observarse de la tabla anterior, se ha realizado varios ajustes, a cual peor; de hecho ninguno de los lineal, cuadrático, recíproco, exponencial y potencial, tiene la más mínima posibilidad de confianza dados los coeficientes de correlación alcanzados. Por ello puede afirmarse que **las correlaciones no existen**. No obstante, si acaso es necesario un análisis de tendencia, todos los modelos ofrecen una subida, por muy leve que sea, y dado que el ajuste lineal es el más cómodo, yo optaría por él. Este ofrece un aumento anual de la temperatura de 2,53 milésimas de grado, lo que indudablemente está relacionado con la singularidad de las bajas temperaturas del siglo pasado. La extrapolación al cambio de era (la ordenada en el origen) daría una temperatura anual media de 5,5° aproximadamente, que, como se sabe, es a todas luces incorrecta por defecto, independientemente de que contradiría todas las normas más elementales de aplicabilidad de una extrapolación. Aún más insólitos son los ajustes exponencial y potencial que arrojan para el nacimiento de Cristo una temperatura extrapolada de 1,7 y 0,1° respectivamente.

En definitiva, los ajustes de modelos simples son absolutamente inadecuados. Sacar conclusiones de ellos es muy arriesgado, cuando no suicida. A ello hay que sumar los problemas intrínsecos a la elaboración: el modelo cuadrático, por su propia naturaleza, ofrece una única inflexión, por lo que genera como resultado un aumento muy elevado. Una vez más, pienso que no hay argumentos para hablar claramente del cambio climático sobre la base de las cifras de la temperatura de Soria que se han tomado a modo de ejemplo. Y lo mismo podría decirse de otras estaciones termoplumiométricas españolas de series históricas.

ULTERIORES ELABORACIONES

Otro de los modelos que fácilmente tienen aplicación en estadística es el de normalidad, pues de él se pueden predicar numerosas conclusiones. Se ha tratado los datos termométricos de Soria con la finalidad de descubrir la distribución más acorde con la realidad. El gráfico de contraste entre la realidad y la probabilidad normal (8) de toda la serie muestra que el ajuste es relativamente bueno en la parte central de los datos, mientras que las colas muestran discrepancias serias. Por ello se optó por una separación entre los valores bajos, iguales o inferiores a 9,8° C, y los restantes de la serie. El resultado de la desagregación fue una mejora importante en la normalidad de las series, tal y como se muestra en los gráficos 9 y 10. Todo parece indicar, pues, que los datos termométricos responden a dos situaciones bien diferentes: las normales, y las frías, en las que debe reinar otro modelo de circulación de la atmósfera.

La ganancia en ajuste también se vio recompensada con la utilización de una distribución de Weibull, la más indicada para el conjunto de estos datos (gráfico 11), aunque suele utilizarse preferentemente en estudios de sequías, precipitación (GUPTA y PAN-CHAPAKESAN, 1980) y velocidad del viento (SUZUKI, 1980).

También se ha ensayado la suavización de los datos reales, altamente variables, con modelos de polinomios de orden creciente. Como es obvio, el polinomio de orden 1 es la recta de regresión, ya mencionada en el párrafo anterior, y el polinomio de orden 2 constituye el ajuste cuadrático, también comentado. Se ha incrementado el orden de los polinomios hasta donde permite el cálculo del programa Statgraphics (GALÁN y

GRÁFICO 8

Gráfico de probabilidad normal
SORIA

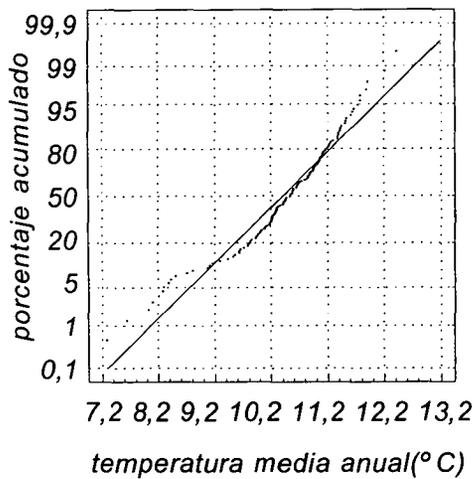


GRÁFICO 9

Gráfico de probabilidad normal
SORIA

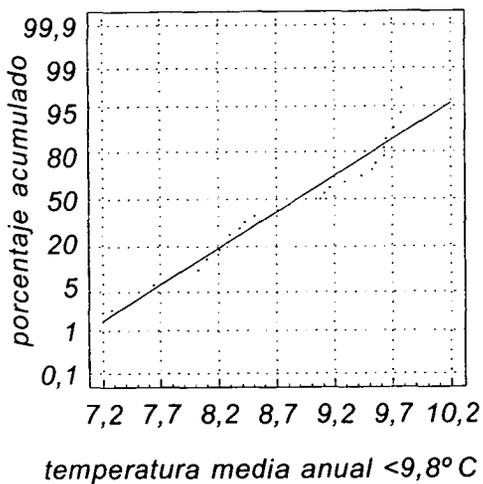


GRÁFICO 10

Gráfico de probabilidad normal
SORIA

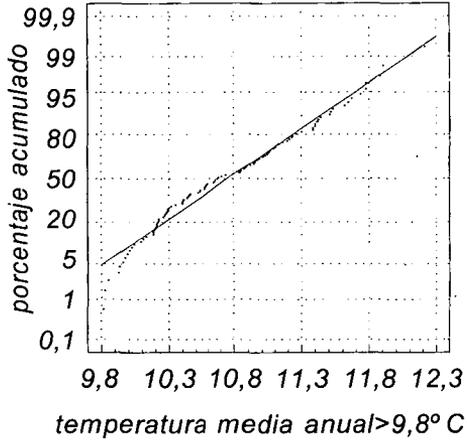
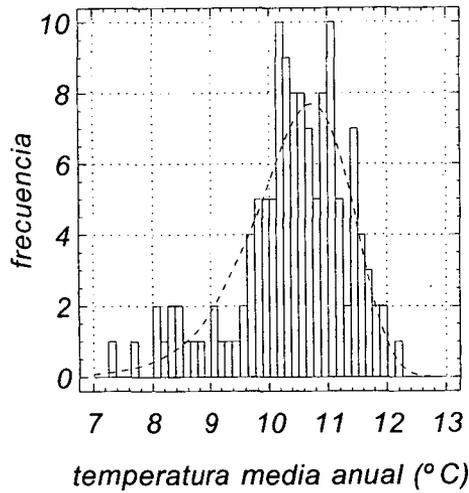


GRÁFICO 11

SORIA
Distribución de Weibull



FERNÁNDEZ, 1992; RASO, 1997), obteniéndose las salidas gráficas y analíticas que a continuación se exponen, y que se pasa a comentar.

Ajuste	Expresión	Coef.corr	R ²
Polinom. 3º grado	$T_m = -5E-06t + 0,0293t - 56,837t + 36698$	0,268	0,072
Polinom. 4º grado	$T_m = 3E-07t - 0,0027t + 7,759t - 10006t + 5000000$	0,509	0,295
Polinom. 5º grado	$T_m = -3E-09t + 3E-05t - 0,098t + 192,07t - 187892t + 7E07$	0,555	0,308
Polinom. 6º grado	$T_m = -7E-11t + 8E-07t - 0,0038t + 9,85t - 14211t + 1E07t - 4E + 09$	0,564	0,318

T_m = temperatura media anual en grados centígrados

t = tiempo, expresado en años de nuestra era

Ante todo debe decirse abiertamente que el incremento de orden en los polinomios implica el consiguiente aumento en el **número máximo de extremos**, si denominamos extremos a los puntos en la curva calculada en los que la derivada primera es cero, o lo que es lo mismo, puntos en los que la pendiente se anula. Como se sabe, no necesariamente deben corresponder con mínimos o máximos, ni son "ceros", lugares en los que la función toca al eje de la x. Así, en contraste con el ajuste cuadrático, el polinomio de orden 3 (gráfico 12) pone de manifiesto una tendencia al descenso en los años venideros. Lo contrario ofrece el polinomio de orden 4 (gráfico 13), para volverse al descenso en el orden 6 (gráfico 14), si bien tímidamente; y el polinomio de orden más alto, el 7 (gráfico 15), vuelve a alarmar respecto del posible proceder a futuro, pues insinúa una subida. Este mismo tratamiento ha sido aplicado por cierto autor (RASO, 1997), aunque elige, al parecer con criterios más visuales⁴ el polinomio de orden 5 como el más adecuado. Estamos de acuerdo en que lo primero es que el gráfico resultante merezca aprobación ocular, aunque, a veces, ésta sea engañosa, para lo que nosotros utilizamos los coeficientes de correlación pertinentes. La elección que él hace de los polinomios de quinto grado supone, como máximo, cuatro extremos, luego tendencia a la subida futura.

En el caso de los polinomios de 4º grado y superior, los coeficientes de determinación empiezan a ser más expresivos. Sin embargo, los gráficos aportados de las extrapolaciones hacia delante y hacia atrás en el tiempo, tampoco son alentadores (gráficos 16 a 24). En todos los casos se ha optado por una extrapolación más cercana, sin alcanzar los valores que se ensayaron en el modelo lineal.

GRÁFICO 12

*Ajuste de polinomio
de orden 3*

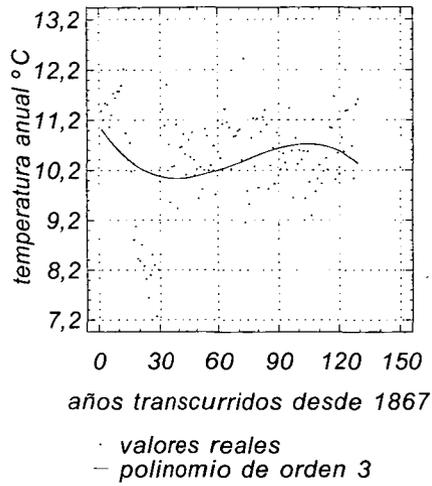


GRÁFICO 13

Ajuste de polinomio de orden 4

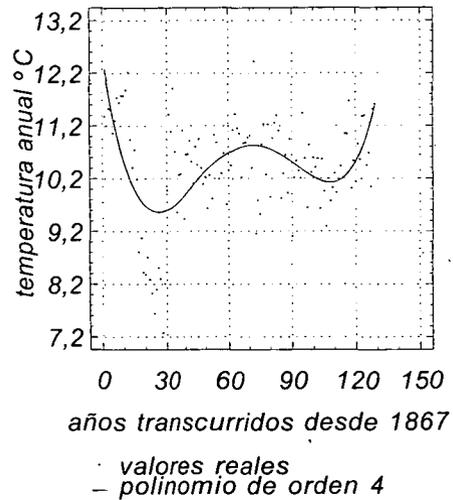


GRÁFICO 14

Ajuste de polinomio de orden 6

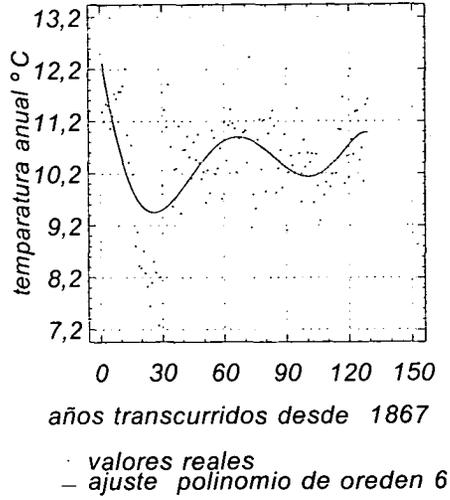
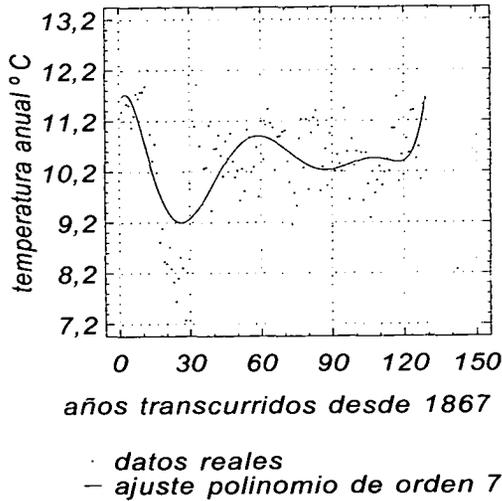


GRÁFICO 15

Ajuste de polinomio de orden 7



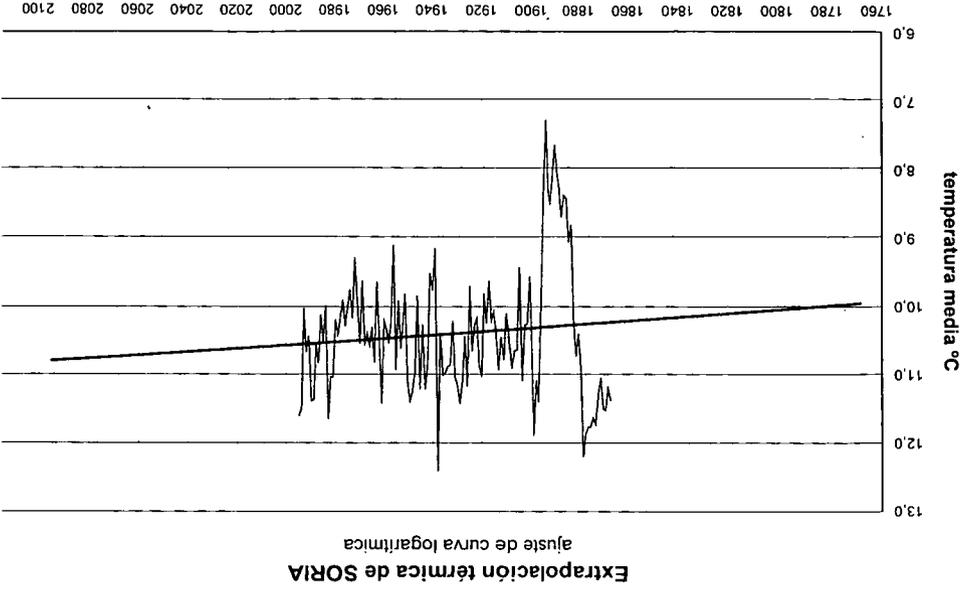


GRÁFICO 17

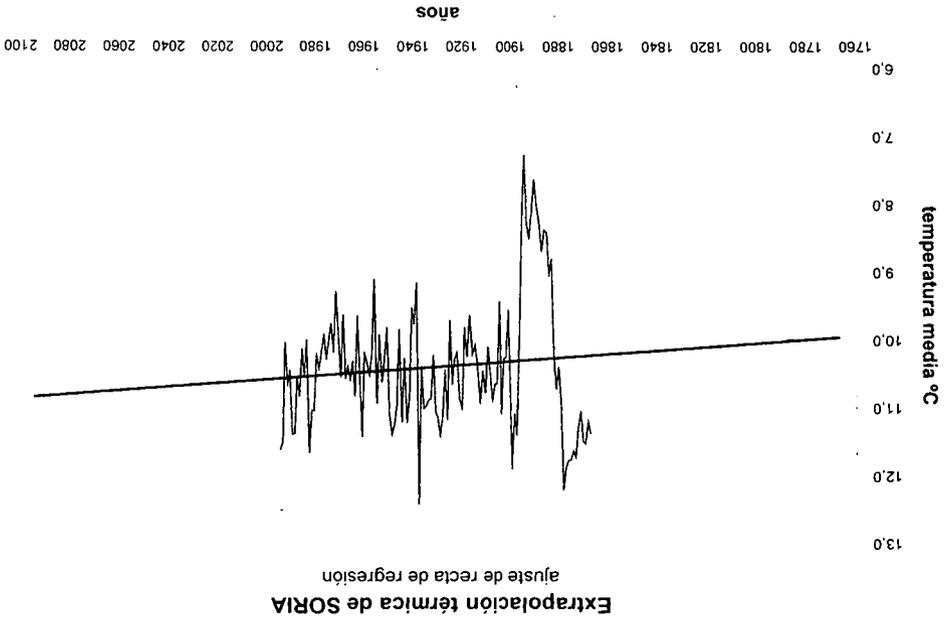


GRÁFICO 16

GRÁFICO 18

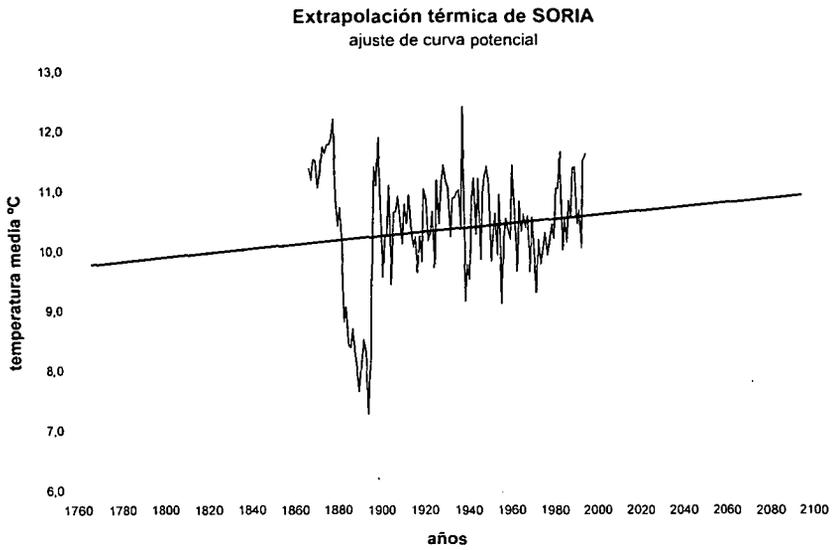


GRÁFICO 19

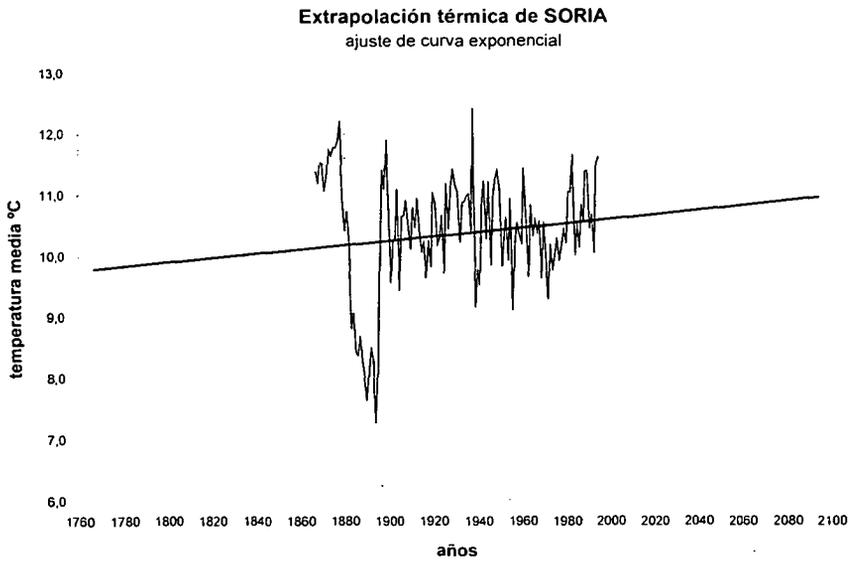


GRÁFICO 20

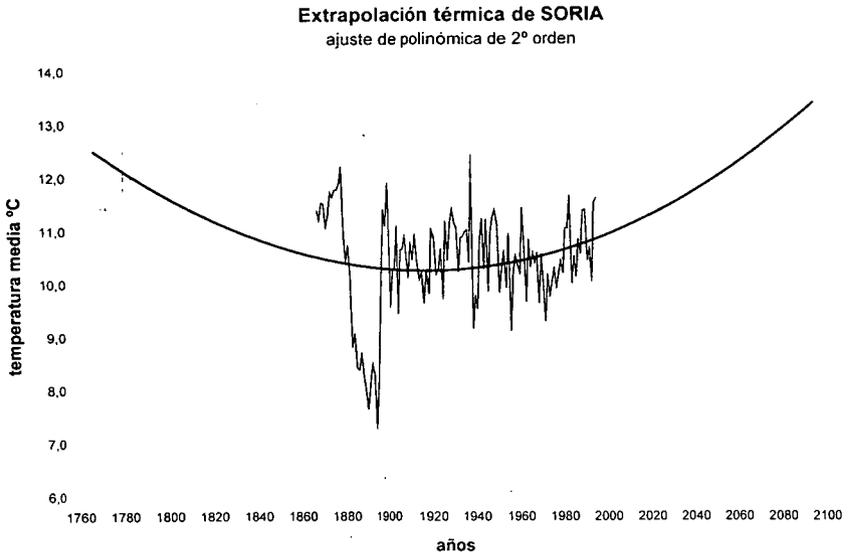


GRÁFICO 21

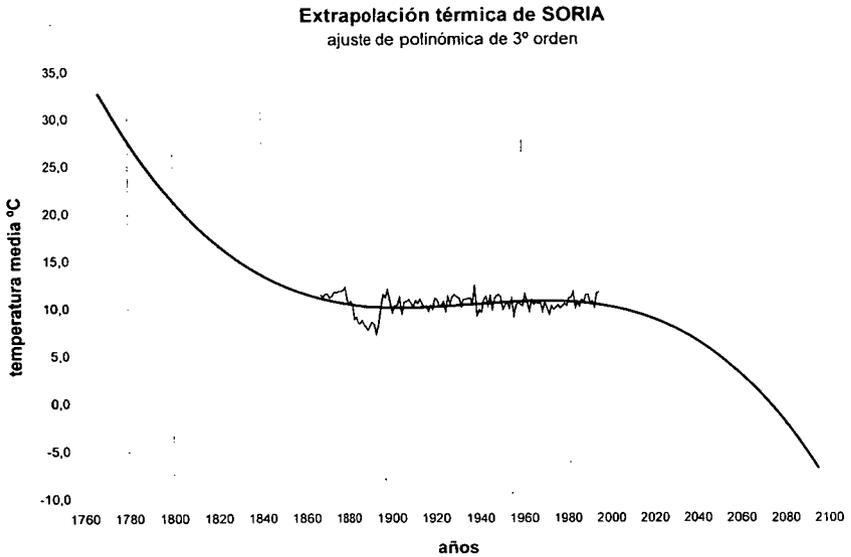


GRÁFICO 22

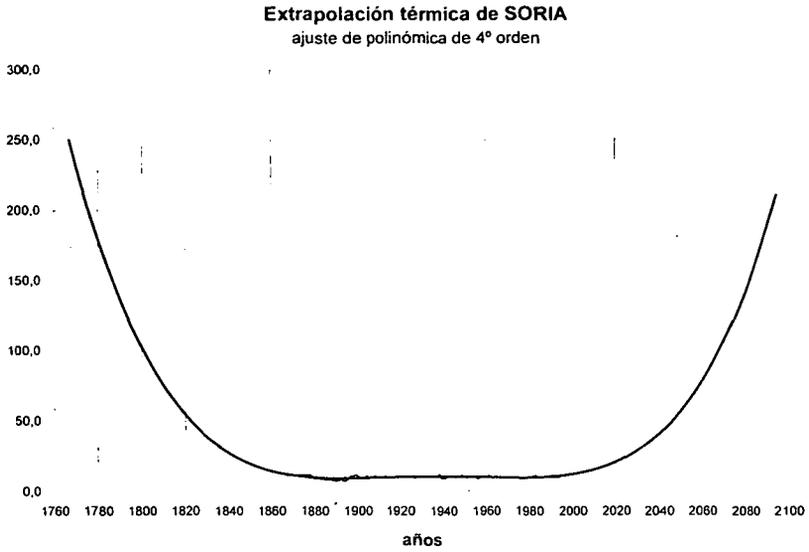


GRÁFICO 23

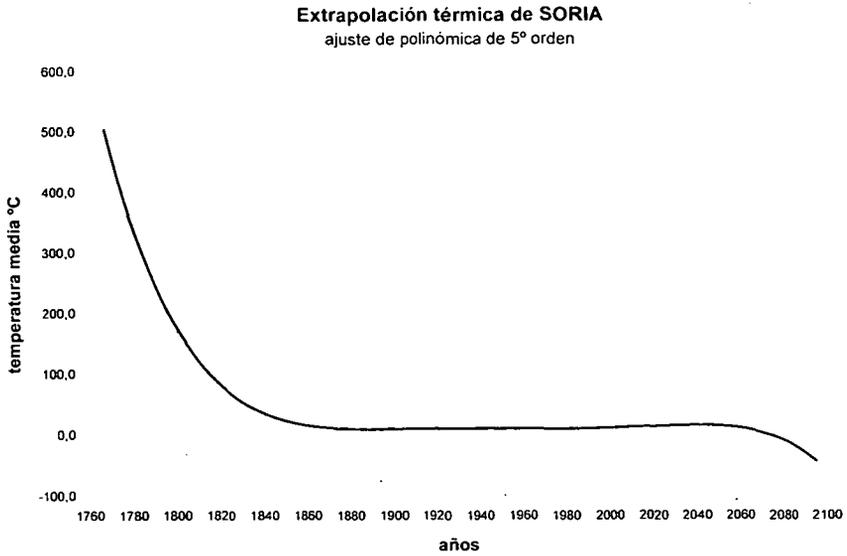
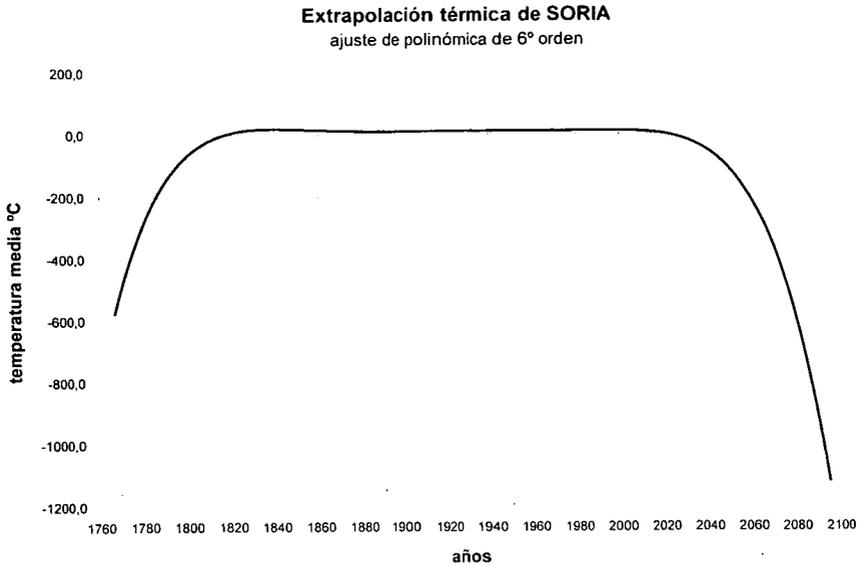


GRÁFICO 24



Con ello quiero poner de relieve que la elección del modelo condiciona la curva resultante, por lo que se puede hacer casi lo que se quiera con unos mismos datos. Y todo porque, al final, parece claro que, dentro de una cierta banda termométrica, los valores de temperatura anual pueden variar casi aleatoriamente, esto es, son absolutamente azarosos.

A MODO DE CONCLUSIÓN

De lo dicho anteriormente extraemos una conclusión: la imposibilidad de dar un modelo simple de explicación de la variabilidad de las temperaturas para el caso de Soria, lugar escogido por reunir múltiples elementos favorables para el estudio: serie larga prácticamente completa, lento proceso de urbanización, anomalía térmica de finales del siglo XIX, fortísima variabilidad térmica de la serie instrumental, etc. Sin darnos por vencidos, podemos decir, en este momento, que las variaciones termométricas son aleatorias, lo que ya se ponía de manifiesto en la consideración de ciertos sistemas abiertos naturales como “de fluctuaciones aleatorias”. Mientras no se clarifique lo que podamos llamar propiamente la variabilidad natural del clima, es imposible abordar el espinosísimo tema del llamado “cambio climático”.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- CALLENDAR, G.D. (1961): Temperature fluctuations and trends over the Earth. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 87, págs 1–12.
- DRONIA, H. (1967): Der Stadinfluß auf den weltweiten Temperaturtrend, *Meteor. Abh. Freie Univ. Berlin*, tomo 74, 65 págs.
- GALÁN, E. Y FERNÁNDEZ, F.(1992): Metodología del análisis temporal y espacial de los elementos climáticos". *V Coloquio de Geografía Cuantitativa*, Asociación de Geógrafos Españoles, Universidad de Zaragoza, págs 437–51.
- GUPTA, S.S. y PANCHAPAKESAN, S. (1980): Some statistical techniques for climatological data, págs 35–48, en IKEDA, S. et alia (ed.): *Statistical Climatology. Developments in Atmospheric Sciences*, 13, Elsevier, Amsterdam–Oxford–Nueva York, 1980, 388 págs.
- HOUGHTON, JENKINS y EPHRAUMS, (1990): *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press.
- INM (1996): Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación de España. Madrid, Serie Monografías, A–143, 318 págs.
- JONES, P.D. (1988): Hemispheric air temperature variations: Recent trends and an update to 1987. *J. Climate*, 1, págs 654–660.
- LABOVITZ, S.(1968): Criteria for selecting a significance level. A note on the sacredness of 0,05. *The American Sociologist*, vol. 3, págs 200–220.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. y J. (1959): El clima de España según la clasificación de Köppen. *Estudios Geográficos*, Madrid, C.S.I.C., págs 167–88
- LOCKWOOD, John G. (1985): *World Climatic Systems*, Edward Arnold, págs.
- PEIXOTO, José P. y OORT, Abraham H. (1992); *Physics of climate*. American Institute of Physics, Nueva York, 520 págs.
- RASO, José Manuel (1997): Evolución reciente de las temperaturas medias anuales en España. En MARTÍN–VIDE, Javier (ed.): *Avances en Climatología histórica en España*. Barcelona Oikos.–Tau, págs 91–115.
- RUDLOFF, H. Von (1967): Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas seit Beginn der regelmäßigen Instrumenten–Beobachtungen (1670). Mit einem Beitrag über die Klimaschwankungen in historischer Zeit von H. Flohn, *Die Wiss. Tomo 122*, Brunswick, 370 págs.
- SANZ DONAIRE, J.J. (a, 1999): La climatologie est morte! Vive la climatologie! Reflexiones sobre el cambio climático. *Estudios Geográficos*, Madrid, CSIC, p tomo LX. nº 236, 467–486.
- SANZ DONAIRE, J.J. (b, en prensa): A propósito del cambio climático: una "nueva" definición de clima, Homenaje al Prof. García Fernández, Valladolid, 12 págs.
- SUZUKI, E. (1980): A summarized review of theoretical distributions fitted to climatic factors and Markov chain models of weather sequences, with some examples, págs 1–20, en IKEDA, S. et alia (ed.): *Statistical Climatology. Developments in Atmospheric Sciences*, 13, Elsevier, Amsterdam–Oxford–Nueva York, 1980, 388 págs.

NOTAS

(1) Se agradece aquí de modo expreso a Doña Rosario Ojeda Martín por la entrega de la serie recopilada.

(2) El original dice “le mieux est l’ ennemi du bon”.

(3) Si en 1935 la conferencia de Varsovia había establecido la serie CLINO como la 1901–1930 para temperaturas, y la 1891–1930 para precipitaciones, la conferencia de Washington de 1957 redefinió el período normal climatológico para la treintena 1931–1960, en esta ocasión para ambas variables.

(4) “...la elección del cual [del grado del polinomio] suele realizarse a la vista de los datos disponibles, a veces tras ensayar diversos intentos” (pág. 104). El subrayado es del autor de este trabajo.