

AUTORREGULACIÓN FRENTE A “CAMBIO CLIMÁTICO”: USO DE MODELOS NO LINEALES CON LAS TEMPERATURAS

*Juan José Sanz Donaire**

RESUMEN

Autorregulación frente a «cambio climático»: uso de modelos no lineales con temperaturas

Tras haber intentado infructuosamente el estudio de la variación anual de las temperaturas mediante modelos lineales, se han tratado ahora los modelos no lineales, entre los que cabe destacar el uso de polinomios de órdenes crecientes, el suavizado mediante medias móviles, la descomposición estacional de Winter, los periodogramas y las autocorrelaciones, poniéndose de manifiesto la aleatoriedad de los cambios. Finalmente se ha ajustado una curva de múltiples puntas a la que siguió un ajuste de una sinusoidal amortiguada que parece explicar cómo se ha producido una tendencia a la normalización de la temperatura una vez que, a finales del siglo pasado, la desviación de las temperaturas fuera máxima.

SUMMARY

Self-regulation *versus* «climatic change»: use of non-linear models with temperatures
After having attempted the study of the annual variation of temperatures unsuccessfully by means of linear models, now non-linear models have been tried, highlighting the use of polynomials of growing orders, smoothing by means of moving averages, Winter's seasonal decomposition, periodogrammes and autocorrelations, showing the randomness of the changes. Finally a curve of multiple peaks has been fitted, and afterwards a sine damp function which seems to explain how the temperatures have returned to normal values, once, at the end of last century, the temperature deviation from the average was maximum.

En anteriores trabajos se ha puesto de manifiesto que la moderna expresión “cambio climático”, que tanta aceptación tiene en la actualidad, es harto compleja. En primer lugar porque el cambio climático responde a la variación del clima, por lo que se hace preciso definir previamente lo que se entiende por tal (SANZ DONAIRE, 1999 a), una noción, que, como tantas otras de las que utilizamos en la vida corriente y actual, es poco menos que toda una

* Cátedra de Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid.

desconocida. Así cierto autor (BALAIRÓN, 1995, pág. 4) se atreve a expresar, parafraseando a Santo Tomás de Aquino en la definición de “tiempo (físico)” que: “todos creemos saber qué es el clima, siempre que no se nos obligue a explicarlo”. En segundo lugar porque se hace últimamente una restricción mental con el significado del “cambio climático”, ciñéndolo a la variación inducida por el hombre (SANZ DONAIRE, 1999 b), lo que, a todas luces, resulta demasiado peligroso, cuando no insensato, al desconocer en la mayoría de los casos, cuál es la variabilidad natural del clima, que en sus temperaturas y para ciertos casos sólo se puede tildar de aleatoria (SANZ DONAIRE, 1999 c), como también se había dicho de las precipitaciones.

Como ha puesto de relieve otro autor (MARTÍN VIDE, en prensa), resumiendo el tema del cambio climático en un decálogo, este aspecto del saber reúne todos los ingredientes para ser considerado por los medios, a los que tanto debemos –en un sentido y en otro- en la sociedad actual, como tema estrella: “es novedoso, no es efímero, es medioambiental, tiene morbo, puede formularse sencillamente y, a la vez, es complejo”. Y la prensa barcelonesa apenas pudo comprender el escepticismo de este buen conocedor de esta parcela del saber humano (EL PERIÓDICO DE CATALUNYA, 15-11-1998).

La elaboración de ciertas series climáticas de entre las más largas de la Península para las temperaturas medias anuales, y especialmente el caso de Soria, a la que se ha acudido en diversas ocasiones anteriores (SANZ DONAIRE, 1999 d), ha puesto de manifiesto hasta ahora que los tratamientos estadísticos elementales y de cierta envergadura apenas pueden acercarse a la realidad de la variación, sea ésta natural o antropoinducida, de las temperaturas. No obstante se ha puesto de relieve, al realizar el suavizado de los datos originales mediante diferentes técnicas, que tal vez pueda existir algún comportamiento que muestre cierta regularidad. En los párrafos siguientes se dedica el esfuerzo al aprovechamiento de tales intuiciones o insinuaciones, adquiridas fundamentalmente a partir de la elaboración y tratamiento gráfico de los datos. No es de extrañar que, como primates que somos, esto es, con un sentido – el de la vista – mucho más desarrollado que los demás, obtengamos preferentemente pistas sobre el comportamiento de ciertos parámetros cuando los expresamos en dibujos. A ello se debe el elevado número de programas de representación que hoy causan sensación en los microordenadores.

Consideramos que, tras los fracasos del uso de modelos lineales en el tratamiento de los datos termométricos, sólo se puede avanzar por el anfractuoso camino de los modelos no lineales, que para los geógrafos presentan, por lo general y debido a la formación original que poseemos, la dificultad de su aprehensión.

Mucho se ha escrito sobre la posible existencia de ritmos de distinta periodicidad en las series de datos. Los análisis de armónicos, el uso del análisis de Fourier, y otros, ya han sido ensayados por algunos en los datos de temperaturas. Nosotros nos dedicaremos aquí, entre otros ensayos, a la labor de intentar ajustar una curva sinusoidal a los datos termométricos, con el fin de desentrañar los posibles “modos de actuar” de estas variables climáticas. La razón del ajuste de una curva sinusoidal estriba en la apariencia que se obtiene de la variación secular de las temperaturas anuales mediante diferentes técnicas.

LA OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Los datos sobre los que aquí se trabaja corresponden a la serie termométrica de Soria desde 1867 a 1995 (gráfico 1). La recogida de datos, bastante laboriosa, ha tenido que enfrentarse asimismo a la desagradable tarea del relleno de lagunas, que corresponden casi exclusivamente al período de la Guerra Civil Española. Esta labor se ha realizado mediante el uso de la media

mensual para la larga serie de años considerados, toda vez que otros métodos, como el del Servicio Meteorológico Nacional (NWS) estadounidense y la OMM, son de difícil utilización al faltar igualmente los datos de las estaciones cercanas. Tampoco se ha optado por el método de relleno mediante correlación respecto de series completas cercanas, por idénticos motivos. El método que nosotros usamos y que también es utilizado por otros autores (PEIXOTO y OORT, 1992) nos parece el modo más cómodo de obviar los problemas específicos que aquí se plantean, y sin duda la menos mala de las soluciones. No obstante, y precisamente en el dato de 1938, no se puede obviar la existencia de una anomalía, por lo que tal vez el relleno de los primeros meses de este año hubiera podido realizarse de otro modo, sin dar cabida a esta punta térmica. La comparación con el comportamiento en otras estaciones no parece válida por cuanto es rara la estación española que no registra problemas de recogida de datos durante ese año. He aquí la razón fundamental por la que, para las lagunas, se estimó como más correcta la inclusión de la media mensual, extraída de las restantes observaciones, pero que siempre sobrepasan muy ampliamente los 100 valores.

Se convirtió en motivo fundamental de investigación la búsqueda de respuestas gráficas que mostraran cierta ritmicidad o periodicidad, con el ánimo de trabajar sobre ella. En principio se tratará de una pura descripción, a la que después seguirá un intento de explicación. Lejos de nuestra voluntad se halla la causalidad del fenómeno, dado que la ciencia se halla inerte ante tal problema, restringiéndose a investigar el cómo, que no el porqué de las cosas, aspecto éste reservado a la filosofía.

De la simple contemplación de la gráfica 1 se puede observar que existió un ligero ascenso de las temperaturas desde que se comienza a recoger la serie hasta que hace aparición en los años finales del siglo XIX un importante descenso de la temperatura, que abarca los años 1879 a 1894 aproximadamente. Pero a este anormal comportamiento - anormal al menos si lo comparamos con los datos que han de venir - siguió una recuperación importante y casi instantánea, pues sólo duró dos años. A la vista del gráfico cabe tachar de anomalía térmica negativa la sufrida en la décima década del siglo pasado. A continuación se abre un período de oscilaciones entre dos toques, aunque más propiamente habrían de ser tildadas de variaciones, con cierta tendencia a la periodicidad; se ha señalado en el gráfico los tiempos transcurridos entre puntas o valles sucesivos. Los ritmos parecen más patentes a partir de los años 20 y suelen rondar la decena de años, con una variabilidad relativamente pequeña. No obstante debe tenerse en cuenta que, tal vez, la anomalía finidecimonónica haya podido influir en el comportamiento arrítmico de los años venideros, al menos en la treintena subsiguiente. Cuando un sistema, como el climático, en el que desempeña un importantísimo papel la energía, medida a través de la temperatura, se ve afectado por algún agente que lo trastoca, los ajustes siguientes para retornar al estado de equilibrio deben ser de la misma intensidad y de efecto contrario; al propio tiempo, la inercia logra retrasar notablemente el ajuste a las condiciones originales, y ello a pesar de que la atmósfera es uno de los subsistemas terráqueos de menos masa, y por ende, de menor inercia. Recuérdese que las interacciones con otros subsistemas, y especialmente el hidrosférico, tal vez puedan explicar la histéresis. En el gráfico que comentamos también parece clara una tendencia al ascenso térmico en los últimos años, esto es, desde 1972 aproximadamente. Pero mi opinión personal, a la vista de las oscilaciones anteriores, es que no auguran una subida continuada e indefinida de la energía media atmosférica sobre Soria.

Esta subida neta en las temperaturas de la capital soriana cabe contemplarla desde dos ángulos de vista: desde el respeto absoluto a los datos, - el modo de trabajo elegido hasta ahora -, y desde la duda en la consistencia de los datos. Debe destacarse aquí que el traslado del observatorio meteorológico de Soria se produjo en 1943 desde su antigua sede en el Instituto de

Enseñanza Media a la parte alta de la ciudad, en concreto a la calle Navas de Tolosa, 14, en cuya azotea se instaló. La construcción de altos edificios en las inmediaciones pone en tela de juicio los últimos datos consignados aquí. Esta tendencia a la edificación en altura ha “ahogado” el chalet de una única planta donde se instaló el observatorio de recogida de datos. Al propio tiempo se ha producido un notable descenso en las precipitaciones que se ha explicado por la expansión urbanística y tendencia a crecer en altura de los edificios colindantes (SANZ DONAIRE, 1999 d)(gráfico 2). No obstante, siempre habrá quien, necesitado de estos datos que eleven a comprobación alguna de sus tesis, tome los datos como adecuados. Una reciente publicación del INM (ALMARZA MATA *et alia*, 1996, pág. 273) recomienda el descarte de los datos pluviométricos al no ofrecer garantías por falta de homogeneidad.

Al propio tiempo, la observación atenta del gráfico 1, y tal y como se destaca en los añadidos al mismo, parece poder poner de manifiesto la existencia de ciertas pautas repetitivas. Por orden creciente de años son las siguientes:

- a) dos “ciclos”¹ menores, de 9 años de duración (a lo largo de los años 20 y 30 de nuestro siglo), a los que se suma el de los 80-90, totalizando tres, dos de ellos en puntas y otro en valles²
- b) dos “ciclos” de 11 años (uno entre valles, otro entre puntas) centrado en torno al cambio de centuria y en los años 40; y tres “ciclos” de doce años, en los 50, 70 y 80 respectivamente (dos entre puntas, uno entre valles)
- c) dos “ciclos” de 14-15 años, ambos en valles, en los 30 y 60
- d) un ciclo bastante nítido de 17 años, en los 40-60, entre valles
- e) y por último, dos “ciclos” de 21 años (descenso finidecimonónico y respuesta posterior, ambos entre puntas), con sendas aproximaciones de 20 (segunda y tercera década) y 22 años (séptimo y octavo decenio del siglo actual).

Es notable que no se pueda extraer de este gráfico ninguna interpretación clara respecto de otros “ciclos menores” que, como se verá más adelante, se manifiestan por otros métodos, y ahora apenas sino introducen ruido en el conjunto.

TRATAMIENTOS DE SUAVIZADO MEDIANTE POLINOMIOS DE DIFERENTES ÓRDENES

Los primeros atisbos de ritmicidad se obtienen de la suavización de los datos reales mediante el uso de polinomios de diferente grado (RASO, 1997). Se excluye por razones obvias el polinomio de primer grado, pues ofrece una recta de regresión que sólo pondrá de manifiesto la línea de tendencia, esto es, con un único mínimo y un solo máximo. Además, en el modelo de regresión simple, realizados los cálculos del análisis de la varianza, dado que los valores de probabilidad son mayores de 0,10, en cuanto que arrojan cifras de 0,2315, se puede afirmar que para un nivel de confianza del 90% la relación entre las temperaturas medias anuales y los años no es estadísticamente significativa.

El polinomio de segundo orden corresponde a la cuadrática, por lo que también se autoexcluye de cualquier interpretación rítmica, en cuanto que presentará un único extremo, si denominamos así a aquel punto en la curva ajustada cuya derivada primera sea cero, esto es, donde la pendiente de la curva se anule. Item más: en el modelo de regresión cuadrática, con un

polinomio de 2º orden, se observa que el valor de la probabilidad (*p-value*) es mayor que 0,10, por lo que, para un nivel de significación del 90%, se puede afirmar que no hay relación estadísticamente significativa entre las temperaturas estudiadas y las fechas barajadas. Sobre la base del test de Durbin-Watson que estima si existe alguna correlación significativa entre los datos que se estudian y el orden de aparición, se puede afirmar que, al ser mayor que 1,4, tal vez exista alguna correlación en la serie. Finalmente, como el valor *p* del más elevado de los términos del polinomio es de 0,149, superior a 0,10, se puede decir que no es significativo para un grado de significación del 90%, por lo que se debe tratar de reducir el orden del polinomio, pasándolo al de primer orden. Como ya se ha visto, tampoco éste resultaba acertado, por lo que se abandona la idea de suavizado mediante la recta de regresión y la cuadrática.

No obstante se ha continuado ensayando con polinomios crecientes, como el de tercer grado, en el que -con valor *p* de 0,02- se está en condiciones de interpretar que, para un nivel de significación del 95%, es estadísticamente significativa la correlación entre las temperaturas y los años. El test de Durbin-Watson también admite la correlación de la serie, y dado que el término más alto del modelo ajustado es de 0,015 se está apoyado para asegurar que es estadísticamente significativo para un grado de confianza del 95%, luego no parece tener sentido la prueba con polinomios de orden más bajo. Como continuación de lo dicho la suavización mediante los polinomios de orden superior ya muestra más fehacientemente la ritmicidad, aunque debe decirse que, en todos los casos, la extrapolación fuera del ámbito de los valores considerados no es ya problemática, por demasiado atrevida, sino totalmente descabellada por las cifras que alcanza. A la exposición de esta “evidencia” se ha dedicado ya un artículo (SANZ DONAIRE, 1999 c). Basten unos ejemplos de lo que aquí se comenta. El ajuste de orden 4 (gráfico 3) permite vislumbrar para las temperaturas “la caída finidecimonónica”, “el ciclo de recuperación” 1920-70, para mostrar finalmente el “aumento finisecular”. Por el contrario, el suavizado mediante polinomio de orden 7 (gráfico 4) pone de relieve de un modo más nítido el reajuste del sistema, perturbado por la anomalía finidecimonónica. A tal fin se ensayará más adelante el ajuste de una curva sinusoidal de amortiguación.

De modo general puede comentarse que la elección de un modelo u otro de polinomio tiene grandes implicaciones: el número de orden del polinomio lleva aparejado el número de extremos que, como máximo, tendrá la curva (el número máximo de extremos es igual al número de orden menos uno). Al propio tiempo existe otra relación respecto de la forma de la curva, con sus ramas ascendentes y descendentes de entrada y/o salida: como se sabe, en una cuadrática, si, en la expresión general $y = ax^2 + bx + c$, el coeficiente *a* es mayor que cero, las ramas son descendente y ascendente respectivamente, mientras que si el coeficiente *a* es negativo, la curva tendrá rama ascendente inicial y descendente al salir, esto es, con el aumento de la variable *x*. Un tercer aspecto a considerar es la traza general de la curva: de modo genérico se puede afirmar que los ajustes de orden impar darán lugar a curvas no simétricas, en las que a una “entrada”, por ejemplo ascendente, no le corresponderá una “salida” igual, sino contraria, esto es descendente.

Los suavizados mediante el uso de polinomios no aportan soluciones al problema de la ritmicidad, por cuanto que, si bien aumenta el ajuste entre los datos y el polinomio conforme asciende éste de orden, también se multiplican los errores en el mismo sentido al intentar extrapolar los datos tanto hacia el pasado como hacia el futuro. Parece pues fuera de duda que este suavizado, independientemente del juego que implica con los datos, apenas tiene interés práctico.

EL TRATAMIENTO CON OTROS SUAVIZADOS

Las series temporales de sistemas fluctuantes aleatoriamente son objeto de investigación mediante suavizados con el fin de evitar el “ruido” producido por la interferencia de los factores de acción más inmediata. Con ello se pretende sacar a la luz los componentes más estables, o de estabilidad más duradera. Uno de los modos de expresar gráficamente la ritmicidad es mediante la simple técnica de las **medias móviles**. Sólo tiene una objeción: para que realmente se suavicen los datos iniciales – por lo general bastante aleatorios –, debe aplicarse una media de período alto, lo que además parece lógico para una serie tan “larga” como la que ahora consideramos. Pero el uso de un período alto deja sin suavizar los primeros (menos 1) datos de la serie, en igual número que el período utilizado. Si la media es de período 15, los 14 valores iniciales de la serie no podrán ser suavizados.

- **El uso de medias móviles**

También se gana la impresión de ritmicidad cuando se elaboran los datos climáticos (en nuestro caso sólo termométricos) de diferentes maneras. Ahora se ha hecho mediante las medias móviles. Por lo general esta técnica presenta la desventaja de la ausencia de datos para los primeros años, dado que es preciso contemplarlos para la obtención de los períodos de las medias.

Como puede verse, la media móvil de 7 años (gráfico 5) reproduce el suavizado de los alisados antes mencionados. Siendo una técnica más fácil de utilizar, de cálculo mucho más rápido y menos sofisticada que la de los alisados, pienso que debiera ser preferible a aquélla. El gráfico 6, que representa la media móvil de 15 años vuelve a plantear, aunque con cierto retraso temporal, la misma forma, con anomalía finidecimonónica, ciclo 1920-70 y subida finisecular. Y conforme aumenta el número de valores para el cálculo de las medias móviles se hace menos aparente la variabilidad: se va produciendo una amortiguación de los valores más estridentes, dejando claro el ascenso final. Pero esta tendencia es tanto fruto del modo en que se elaboran los datos como de los valores de los datos en sí. Quisiéramos, por lo tanto, restarles importancia, especialmente a los gráficos que trabajan con una media móvil de período más elevado.

- **Descomposición estacional de Winter**

Con el fin de sacar a la luz los posibles ritmos se ha realizado un análisis de “descomposición estacional” de Winter, habiéndose logrado el máximo ajuste para períodos de ocho años, con el uso del método multiplicativo. Fruto de tales pesquisas son varios gráficos, el primero de los cuales (gráfico 7), que representa el cálculo del componente cíclico estimado, arroja con claridad un ciclo de 4 y, sobre todo, de 7 años. Problemática resulta la interpretación de estos resultados, pues no concuerdan con los que se exponían al comienzo del trabajo y que eran fruto de la simple observación de la serie. No cabe duda de que los ciclos que se pueden ver más fácilmente en dicha gráfica son los de duración intermedia, pero tampoco resulta absurdo que aparezcan destacados los de 21 años (3×7), y éstos más que los de 14 (2×7). Teniendo en cuenta los valores mínimos del error medio, destacan los ciclos de 7, 13 (aproximadamente 2×7), 23 y 31 años. Atendiendo al error cuadrático medio, los de 3, 5, 15 (aproximadamente 2×7) y 28 (4×7); según el error absoluto medio: 3, 15 (aproximadamente

2 x 7), 17 y 28 (4 x 7). El error porcentual medio absoluto arroja ciclos de 3, 15 (aproximadamente 2 x 7), 17 y 28 (4 x 7); y finalmente el error porcentual medio, los de 5, 32 (4 x 8) y 41 años (aproximadamente 6 x 7).

A este respecto debe citarse ahora uno de los problemas que todavía no se han resuelto: el del inicio de la serie. Aquí y hasta ahora se ha elaborado todo el trabajo estadístico como si 1867 fuera el comienzo de la misma, cuando sólo lo es de la toma de datos por nuestra parte. Queda, pues, en el aire lo que se podría producir en el caso de que la serie se iniciara en otro momento. Y este tema se entremezcla con otro, que no he resuelto: ¿es el año la unidad oportuna de medida? De no serlo, sería imposible hacer ajustes, pues unos quedarían cortos por defecto y otros largos por exceso. La solución a este interrogante radicaría en reducir la unidad de medida, de tal modo que la auténtica unidad de medida se pudiera poner de manifiesto. No obstante, el año tiene muchas ventajas, sobre todo porque es un período de gran impronta terrestre, la translación de la Tierra alrededor del Sol. Otro tanto ocurre con el día, pero aún éste es inadecuado, por ejemplo, para el caso del estudio de las mareas, donde es necesario tener en cuenta no sólo la rotación de la Tierra sobre sí misma sino también la translación, por lo tanto respecto de diferentes astros: día solar, día solar medio, día sidéreo...

El gráfico de la componente residual elaborado para períodos de 8 años (gráfico 8) nos ofrece una imagen que ha sido resaltada mediante la adición de curvas, según las cuales a los 28-29 años de iniciada la serie, esto es, en el mínimo absoluto de la misma, se habría producido un fenómeno de incremento de amplitud de los residuales, que luego se han tenido que amortiguar durante unos 42 años, para verse forzado de nuevo al desequilibrio a los 70-71 años, en plena Guerra Civil española. El ascenso a temperaturas medias anuales en torno a los 12°C de 1983 supone finalmente el último desequilibrio, esta vez menor, del sistema. El análisis visual de esta figura sugiere una interpretación catastrofista, si por ella entendemos un forzamiento de las condiciones térmicas – de momento por causas desconocidas – que luego debe amortiguarse paulatinamente. Los episodios bruscos que tienen lugar se producen en 1898, 1938 y 1978, con una ritmicidad aproximada de 40 años. Estos “ciclos” podrían ser la combinación de dos de 21 años, por lo que se mantendría la importancia del ciclo septanual, de consabida resonancia bíblica (Gn, capítulo 41 completo, y en especial la interpretación de los sueños del faraón en los versículos 26 y ss). Resta por saber si tal periodicidad aparece únicamente en Soria o es ampliable a toda España. Por lo que se va poniendo de manifiesto, pienso en estos momentos que es un hecho aislado, localizado en la estación cuyo estudio nos ocupa.

Atisbos de periodicidad

Es relativamente fácil de concebir y de argumentar que uno de los principales problemas a los que se tiene que enfrentar el estudio del cambio climático es el del deslinde entre la variabilidad natural y la antropoinducida. Por ello ahora se dedicará algún esfuerzo a la determinación más en profundidad de los ritmos en las series, en cuanto que su detección supone el reconocimiento de las acciones naturales sobre las generadas o acrecentadas por el hombre. Se parte de la idea de que el “cambio climático”, definido como el componente antrópico de la variación climática, no es periódico, sino de tendencia al menos lineal, cuando no exponencial o potencial.

• Periodograma

Un periodograma es un gráfico que intenta extraer los ciclos de frecuencia determinada en que se descompone una serie temporal. El comportamiento cuasiperiódico se procura poner de manifiesto a través de la construcción de muchas curvas de seno, en un número de intentos equivalente a la mitad de las observaciones menos una. Al intervalo de tiempo existente, durante el cual se tomaron las observaciones, se ha de ajustar un número fijo de sinusoidales. Téngase en cuenta que nuestra serie cuenta con 129 observaciones. En primer lugar se ajusta una curva sinusoidal a este período, lo que arroja un período de 129 años; luego se ajustan dos ondas, lo que da lugar a un período de 64,5; en tercer lugar, en el lapso de 129 años se encajan tres ondas, lo que ofrece un período de 43 años; seguidamente se introducen cuatro ondas completas, luego el período resultante es de 32,25 años; y así sucesivamente. He aquí una pequeña muestra de cómo se calcula la frecuencia para las diferentes longitudes de onda, o períodos pues nos referimos a tiempos:

| Nº de sinusoidales | Período en años | Cálculo | Frecuencia | Cálculo |
|--------------------|-----------------|---------|-------------|------------|
| 1 | 129 | 129/1 | 0,00775193 | 1/(129/1) |
| 2 | 64,5 | 129/2 | 0,01550387 | 1/(129/2) |
| 3 | 43 | 129/3 | 0,02325581 | 1/(129/3) |
| 4 | 32,25 | 129/4 | 0,03100775 | 1/(129/4) |
| 5 | 25,8 | 129/5 | 0,03875968 | 1/(129/5) |
| 6 | 21,5 | 129/6 | 0,04651162 | 1/(129/6) |
| 7 | 18,4286 | 129/7 | 0,05426356 | 1/(129/7) |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 64 | 2,015625 | 129/64 | 0,496124031 | 1/(129/64) |

El problema de que las sinusoidales no comiencen necesariamente en un valor de cero (terminando igualmente en cero) se obvia mediante una fórmula o algoritmo que tiene en cuenta un coeficiente inicial así como por la combinación de funciones de seno y de coseno. En este caso, frente a lo que se expresaba más arriba de un modo más general, sí que está obviado el valladar de los datos recogidos en la serie y de que ésta coincida o no con la longitud de onda de la variación.

El periodograma de las temperaturas ajustadas de Soria pone de relieve que existen varios ciclos que tienen importancia: se han señalado en el gráfico 9 a efectos de mayor claridad. La importancia de los supuestos ciclos viene dada por la ordenada en el gráfico que se construye con el cuadrado del valor de la amplitud de la curva sinusoidal calculada. El más importante de los “ciclos” es el de 64,5 años, seguido por el de 25,8 años, pasando a continuación a unos ciclos poco claros, en cuanto que originan sólo puntas menores: son los de 11,72, 7,6, 5,6, 3,8, 3, 2,4 y 2,15; a estos valores deben agregarse los tímidos picos de 9,9 y 6,45 respectivamente.

Estas afirmaciones deben matizarse notablemente, en especial en los tramos de años más altos: como se desprende de la noción de periodograma y de la observación de la gráfica, la precisión que se obtiene en cuando al establecimiento de los ciclos es tanto mayor cuanto más cortos son éstos. En el área izquierda del periodograma (gráfico 9) sólo se puede establecer por aproximación unos ciclos de larga duración, con gran longitud de onda, y con una cierta imprecisión: no hay datos que superen los 64,5 años, ni hay datos entre los valores de 64,5 y 43, ni entre éste último y 32,25, por lo que los ciclos para estos lapsos de tiempo sólo se

determinan groseramente. Por contra, en el extremo contrario, derecho, del gráfico, la precisión es mucho mayor, con períodos de tiempo progresivamente menores.

No obstante parece repetirse también aquí, en el ejemplo de las temperaturas de Soria, el modelo encontrado en otros lugares y cuyas “causas” (LAMB, 1988) se esbozan:

- a) el ciclo en torno a 64,5 años es equiparable a los de duración entre 70 y 90 años, reconocidos en numerosas ocasiones (número de las manchas solares, crudeza del invierno europeo, hielo marítimo en los mares Occidental y Oriental de Groenlandia y mar de Barents, potencia de las capas anuales de hielo en el casquete continental groenlandés, diferencias de presión entre Enero y Julio que afectan a los vientos del S en el Mar del Norte, latitud ocupada por el cinturón de altas presiones sobre Siberia en Enero –con datos desde 1836 en adelante-). La importancia de este “ciclo” es tan grande que se ha detectado ya en los depósitos de sal del Pérmico Superior alemán, en el período Zechstein, por lo que parece descartable un origen antrópico.
- b) la ritmicidad de onda aproximada de 25 años cabría ajustarla a los datos tantas veces citados de 22 años, también conocidos como ciclo de Hale o ciclo solar: vienen avalados por las manchas solares, cuya inversión de polaridad se realiza precisamente con esta cadencia, hielo báltico para la primera mitad del siglo XX, las diferencias de presión para Enero entre las presiones de Madeira-Islandia y Siberia-Islandia en datos recogidos desde mitad del siglo XIX, diferencias de presión entre Enero y Julio en los alrededores de Gran Bretaña y en el Mar del Norte, en datos que se conocen desde mitad del siglo XVIII, pero que deben tener una causa natural, por cuanto que se han registrado desde el Pérmico Superior, y a través de los diferentes estratos terciarios, tanto paleógenos como neógenos, y muy especialmente en la crisis salina mediterránea del Sarmatiense o Mesiniense (ANGUITA, 1988, pág.454-457), lo que denota una vez más causa natural en estos cambios
- c) llamado originariamente “ciclo de las manchas solares”, también se achaca a estos fenómenos solares la periodicidad en torno a los 11 años, que igualmente se evidencia con fuerza menor en el periodograma, lo que no es de extrañar en cuanto que desde el Precámbrico hasta las varvas de origen glaciárico pleistocenas se han sucedido las muestras de la misma actividad, culminando en los registros del hielo del mar Báltico para la primera mitad de este siglo. No se sabe si también este ritmo será la causa de las ondas de repetición de las diferencias barométricas entre la baja islandesa y el anticiclón siberiano en Enero. En cualquier caso parece obvio que la variación comenzó desde que la Tierra existe, luego no es antropoinducida.
- d) en los mismos registros bálticos y de las varvas pleistocenas se manifiesta el ciclo en trono a los 8 años, también visible en el periodograma expuesto. La antigüedad de la variación descarta el origen humano, aunque quepa la amplificación del fenómeno por intervención humana, si bien habría que demostrarla. Esta periodicidad también se ha puesto de manifiesto en la descomposición estacional de Winter (*vid. supra*)
- e) y casi los mismos argumentos son aplicables a la tendencia a las repeticiones cada 6 años aproximadamente
- f) los “ciclos menores” de 2 a 3 años están citados de las precipitaciones o de las temperaturas en Europa para las series instrumentales más largas existentes, que con

regularidad y por lo general comenzaron a mediados del siglo XVIII, lo que también se ha relacionado con la circulación meridiana sobre este continente desde que se dispone de datos (1881) o con el índice zonal para la topografía de 500 mb o hPa (desde 1943).

Todavía resulta conveniente considerar que los ciclos de 3,5 años han sido citados en numerosas ocasiones en la Biblia, si bien con un claro carácter peyorativo, pues se asocian a períodos nefastos. A este respecto resulta interesante la profecía de Daniel, en la que se habla de “un tiempo y [2] tiempos y medio tiempo”, en clara alusión a 3,5 períodos, que normalmente son años (Dn 7,25 y 12,7; Ap 12,14). Otras veces la alusión es a 42 meses (Ap 11,2), lo que constituye igualmente 3 años y medio, o bien se cita 1260 días (Ap 12,6), lo que vuelve a ser lo mismo, si bien cambiada la unidad de medida del tiempo. Independientemente de que 3,5 años sea la mitad de 7 períodos de tiempo, y esta cifra sea considerada casi universalmente con carácter mítico y sagrado, es importante que se exponga como propia de unos ciclos que también son contemplados mediante la utilización de unas técnicas que, sin duda, hubieran sido calificadas de “tan extraordinariamente sofisticadas como casi inalcanzables” por los autores antiguos. Personalmente pienso que la sacralización de estos números debe responder no sólo a la cuatripartición del período mensual de claro influjo lunar, sino a otros factores hoy más oscurecidos para nosotros, de entre los cuales no descarto la periodicidad de fenómenos atmosféricos, las sequías y las inundaciones, los cambios térmicos, etc., en definitiva, aquellos fenómenos con los que podría estar familiarizado el hombre de la prehistoria y de la antigüedad.

Unas palabras han de agregarse acerca de la causalidad. Aunque ya se ha mencionado más arriba, la ciencia es deudora no de las causas, al menos en el sentido filosófico del término³, sino de los comportamientos, de los modos en que se producen los procesos. Del elevado número orígenes de periodicidades mencionadas, sólo las manchas solares pueden considerarse “causas”, si bien los mecanismos de acción sobre los cambios de radiación incidente son más discutibles. En la casi totalidad de los argumentos esgrimidos sólo se tiene en cuenta la cita de tales ciclos, sin que se sepa con mediana certeza la causa de la expuesta variación. Se trata pues de un punto que se relaciona con los ritmos de las temperaturas, y más bien ambas variables que covarían sean el efecto de una causa todavía ignota. Además la acción humana, representada fundamentalmente por el aumento de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, no daría lugar a ritmicidad sino más bien a un aumento térmico continuado y persistente en el tiempo, puesto de manifiesto por una tendencia, aprehensible mediante un modelo intrínsecamente o extrínsecamente lineal. Muchas de las llamadas causas no son sino fenómenos que varían en el mismo sentido que otra variable. Recuérdese aquí la importante distinción entre la regresión y correlación. Cuando hoy en día se habla, por ejemplo, de la influencia de los fenómenos de El Niño en la variabilidad del volumen de la laguna de Gallocanta (artículo “Gallocanta ayuda a predecir el clima” en el Diario de Aragón, 17 de Enero de 1997) no se está poniendo de manifiesto que el fenómeno ENOS (españolización del inglés ENSO) (CAPEL MOLINA, 1999) sea la causa de los ciclos de llenado de la Laguna, sino que ambos varían aproximadamente siguiendo las mismas pautas, lo que es tanto como decir que son los posibles efectos de una misma causa: la circulación general de la atmósfera.

En definitiva, la construcción del gráfico conocido como periodograma permite ganar una impresión de los ritmos de los posibles cambios cíclicos, en cuanto que se usa para identificar ciclos de frecuencia prefijada en los datos. Como se sabe es la expresión del ajuste de una serie de funciones de seno en cada una de las frecuencias (desde la unidad hasta la mitad – por

defecto- de las observaciones). En las ordenadas se consigna el cuadrado de las amplitudes de las funciones de seno. De este modo el periodograma se puede asemejar a un análisis de la varianza respecto de la frecuencia, en cuanto que la suma de las ordenadas equivale a la suma total corregida de los cuadrados en una tabla de análisis de la varianza.

La apariencia del periodograma del gráfico 9 admite una interpretación de un hecho complejo pero de notable interés: me refiero a la propia forma de la curva de puntas resultante. Fácilmente cabría ajustar una curva del tipo de las de decrecimiento exponencial con expresión general:

$$y = y_0 + ae^{-(x-x_0)/t}$$

donde y = la variable dependiente
 y_0 = la ordenada en el origen
 a = la amplitud
 x_0 = centro
 t = constante de decrecimiento

lo que supondría admitir que la importancia de la ordenada va descendiendo conforme aumenta la frecuencia. Ello equivale a decir que parece existir una relación directa, prácticamente constante y por lo tanto “armónica”, entre la longitud de onda o período y la amplitud de la onda: a mayor longitud de onda, mayor amplitud, por lo que las ondas o ciclos que más contribuyen a la explicación de la variación de las temperaturas son las más largas. Con ello se pone el dedo en la llaga de uno de los problemas consustanciales a este tipo de análisis: la longitud de la serie. Si, como hemos afirmado, se destaca en el comportamiento general las ondas largas, para detectarlas bien es preciso contar con una buena serie instrumental, cuanto más larga mejor. He aquí uno de los inconvenientes, prácticamente insalvable, del método.

• Autocorrelaciones

El gráfico 10 ofrece una representación de las autocorrelaciones entre los valores ajustados de la temperatura media de Soria y varios períodos de tiempo (llamados frecuencias). Los coeficientes de autocorrelación de período k miden la correlación entre los valores de la variable termométrica en ese tiempo t y $t-k$. En el gráfico también se pone de manifiesto que para una probabilidad límite del 95,0%, los primeros 5 del total de 24 coeficientes de autocorrelación estimados, sobrepasan el citado límite. Ello equivale a decir que en estos casos la serie no es totalmente aleatoria, o lo que es lo mismo, que existen ritmos en los ciclos de período más largo. Si la serie tuviera apariencia de “ruido blanco”²⁴, lo que equivaldría a decir que todos las longitudes de onda son casi igualmente probables, se trataría de una serie desordenada, totalmente aleatoria. Este parece ser el caso en las frecuencias o períodos inferiores a 10 años.

Una vez más y a través de otro ensayo, se pone de manifiesto el mismo resultado que el expresado en el periodograma.

- **Otras demostraciones de aleatoriedad**

Se ha aprovechado para realizar tres tests de aleatoriedad para comprobar si la serie termométrica de Soria puede considerarse ordenada en el tiempo, o es de valores estocásticos. El primer test cuenta las veces en que la serie se encuentra por encima y por debajo de la mediana. Los valores obtenidos son de 54 mientras que los teóricos en el caso de aleatoriedad deberían haber sido de 65; como el valor de p en este test es menor de 0,10 (concretamente 0,06) se puede rechazar la hipótesis de que sea aleatorio, con un nivel de confianza del 90%. El segundo test realiza el conteo de las veces en que la secuencia sube o baja, arrojando un valor de 85, tan próximo al valor esperado de 85,6667, que se puede afirmar que, para un nivel de confianza superior al 90% ($p=0,972$), la serie es aleatoria. Y el tercer test estadístico, llamado de Box-Pierce, se basa en la suma de los cuadrados de los primeros 24 coeficientes de autocorrelación. Con un valor de p inferior a 0,01 se puede rechazar la hipótesis de que la serie sea aleatoria en un nivel de confianza del 99%. Como no ha logrado pasar todos los tres tests hemos de concluir que la serie temporal puede no ser totalmente aleatoria, luego está ordenada.

- **A la aleatoriedad por la probabilidad**

Finalmente se ha realizado un experimento con los datos termométricos, a saber, aplicar un estudio de la probabilidad de que se obtengan determinados resultados seguidos en el tiempo. Se parte de la idea de que no cabe más variación entre un dato y el inmediato posterior que el ascenso, el descenso o la repetición. Desde esta perspectiva cada una de las tres posibilidades tiene la misma probabilidad de presentarse⁵, luego un 0,33. Cuando se repiten en dos años consecutivos cualquiera de las tres situaciones, la probabilidad de que esto ocurra se restringe a $p(A) \cdot p(A) = 0,1089$, con su correspondiente inverso, el tiempo de retorno, de 9,18 años; la probabilidad de que se repita tres veces A es de 0,0359 (tiempo de retorno de casi 28 años), y de que aparezca cuatro veces seguidas 0,0118, luego un “período medio de 84 años de retorno”. Con esta filosofía se ha confeccionado el gráfico 11 en el que se ha intentado poner de manifiesto cuándo y en cuánto se ha desviado la variación de la temperatura respecto del valor esperado. Del gráfico se puede extraer que el comportamiento es aleatorio, en la medida en que a lo largo de toda la serie estudiada sólo se alcanza la repetición de 3 cambios en el mismo sentido en seis ocasiones (1890, 1897, 1904, 1908, 1932 y 1949), y tan sólo una vez hay cuatro cambios en el mismo sentido (1936), y “casualmente” en un año que ha sido reconstruido ante la falta de valores para algunos meses, por lo que esta ocasión conviene tomarla al menos como dubitativa.

La contemplación de este gráfico número 11 pone de manifiesto:

- a) que la serie es bastante aleatoria, pues unas veces asciende y otras descende, sin claras pautas de repetición (SANZ DONAIRE, en prensa a y en prensa b)
- b) el mantenimiento es menos probable, pues sólo ocurre en una ocasión (teóricamente, acorde con su probabilidad de aparecer –ver nota 5-, debiera haber ocurrido en 2, 53 veces)
- c) la mayor parte de las desviaciones son positivas, son ascensos, y se han producido preferentemente a comienzos de este siglo, como compensación, al parecer, a la “anomalía negativa finidecimonónica”

- d) la mayor desviación, que es positiva, respecto de lo más probable, se produjo en 1936, “casualmente” en un dato estimado, luego con alto grado de incertidumbre; vino precedida de una desviación negativa importante, luego también cabría interpretarla como un reajuste del sistema
- e) al parecer en los últimos cincuenta años se ha estabilizado el comportamiento, pues no existen importantes componentes ni positivos ni negativos, lo que no impide una consideración ascendente en la serie.

De lo que antecede se reafirma la interpretación de que la “onda” u oscilación de la Guerra Civil toca a su fin. El gráfico-11 tiene el inconveniente, *ab origine*, de que, como la prueba del signo, sólo tiene en cuenta la existencia del sentido de la variación, que no la variación cuantitativa con su signo, que pone de relieve el gráfico de desviaciones acumuladas, ya comentado en otro lugar (SANZ DONAIRE, c, en prensa).

Tratamiento de la gráfica de la serie de temperaturas mediante funciones de múltiples puntas⁶:

Aunque se ha logrado cierto progreso con los tratamientos anteriores, éstos no resultan totalmente satisfactorios. Por ello se ha analizado la serie temporal con ayuda de funciones de muchas puntas. Ante todo, poner de manifiesto que se puede utilizar la «herramienta» de los múltiples puntas para el análisis de la variabilidad de la temperatura a lo largo de los últimos 129 años en Soria. Se trata de calibrar la explicación de la curva de la serie temporal a través de la adición de curvas de Lorentz, cuya fórmula genérica es la siguiente:

$$y = y_0 + \frac{2A}{\pi} \frac{w}{4(x - x_c)^2 + w}$$

donde y_0 = ordenada en el origen

A = área

w = anchura

x_c = centro

Frente a los tratamientos anteriores en los que se intentaba sacar a la luz la periodicidad, la repetición de determinadas pautas, en la consecución de un modelo que mejor dé explicación a la gráfica de la serie temporal, el uso de funciones de muchas puntas pretende exponer en cuánto contribuyen a la serie temporal unas curvas del tipo de las de Gauss, si bien con la diferencia de que resultan más picudas – más anchas en la base y más sobresalientes, luego con pendiente mayor en ambas ramas, ascendente y descendente -. La curva de Gauss tiene como expresión analítica:

$$y = y_0 + \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} e^{-\frac{2(x-x_c)^2}{w^2}}$$

donde las letras tienen el mismo significado que anteriormente.

Ello supone partir de una hipótesis absolutamente diferente: la existencia de fenómenos únicos cuya combinación resulta igualmente en un producto o efecto único. La periodicidad se

pondría de manifiesto si existiera un serie de curvas de Lorentz que se repitieran cada cierto tiempo.

El modelo de 7 puntas presenta las siguientes características:

| Punta | Area | Centro (año) | Anchura | Altura |
|-------|--------|--------------|---------|--------|
| 1 | 83,539 | 1876,1 | 11,667 | 4,5583 |
| 2 | 294,42 | 1858,4 | 8,4799 | 22,103 |
| 3 | 238,70 | 1928,3 | 41,103 | 3,6972 |
| 4 | 4,9289 | 1982,2 | 2,4753 | 1,2677 |
| 5 | 314,23 | 1999,0 | 41,121 | 4,8649 |
| 6 | 220,61 | 1958,8 | 47,020 | 2,9869 |
| 7 | 87,978 | 1903,2 | 17,844 | 3,1387 |

Ordenada en el origen = 5,18671

Anteriormente se había hecho otros ensayos con diferente número de puntas que habían ofrecido resultados menos halagüeños en cuanto al valor de ajuste, medido a través de la c^2 , que pasamos a reproducir y a comentar.

| Número de puntas | Valor del ajuste (c^2) |
|------------------|----------------------------|
| 1 | 0,94324 |
| 2 | 0,98158 |
| 3 | 0,8223 |
| 4 | 1,020 |
| 5 | 0,53949 |
| 6 | 0,57393 |
| 7 | 0,23305 |
| 8 | 0,37517 |
| 9 | 0,49182 |
| 10 | 0,49970 |
| 11 | 0,76929 |

Como se puede apreciar el ajuste va aumentando hasta alcanzar un valor máximo en la curva de siete puntas, para disminuir luego. Este ha sido el motivo por el que se ha preferido éste a otros ajustes.

En el gráfico 12, en el que han dibujado la contribución de las diferentes curvas lorentzianas a la explicación de la variabilidad de las temperaturas interanuales en Soria, debe destacarse lo siguiente:

- la curva roja (consignada "r" en el gráfico), que debe ser el ajuste de las lorentzianas a los datos reales, me reafirma en una idea que ya tenía ganada, a partir de la contemplación y análisis del régimen térmico interanual, esto es, que se había producido en el siglo pasado una anomalía térmica fría, a la que luego fue necesario dar una respuesta dinámica, que ocasionó la subida posterior y el acomodo ulterior, a modo de una curva de amortiguación de seno, que intentaré ajustar *a posteriori*.
- la curva verde (d en el gráfico) parece ser la que más ha actuado en contrarrestar el efecto de la pulsación fría del siglo pasado. Por ello, pienso, debe tener una amplitud

de onda parecida a la de la pulsación fría. A su vez de halla flanqueada por las curvas cian (c) y magenta (e), que custodian a la verde (d) a modo de pareja de guardianes, y casi con idénticas proporciones (al menos en la amplitud, que no en la longitud de onda). He aquí un atisbo de periodicidad, que ya ha sido puesta de manifiesto mediante otros métodos.

- c) siendo así que existen dos curvas auxiliares de la verde (d), ya mencionadas en el apartado anterior como cian (c) y magenta (e), la primera de ellas es de mayor amplitud y menor longitud que la segunda, porque, una vez más parecen querer amortiguar la inusitada mutación de la temperatura media anual en Soria.
- d) debe existir todavía una cuarta generación de curvas, de longitud de onda más amplia, que estarían ejemplificadas por las amarillas, clara (a) en el inicio y oscura (f) en la salida: podrían interpretarse como movimientos más lentos, de mayor longitud de onda, que más tarde habrá que distinguir en cuanto a otras consideraciones.
- e) aún existe una última generación de problemas, pues debe explicarse la punta de los años 80 de este siglo, que, aunque es obvio que se precisan más datos para hacer una interpretación más correcta, tal vez pudiera evidenciar una nueva pulsación cálida (g) previa a una fría, de «fin de siglo». Aquí es donde las interpretaciones se hacen auténticas conjeturas.

Recuérdese que la bondad del ajuste, medido a través de la c^2 , ofrece un valor de 0,233. De la observación del gráfico se colige que tal vez pudiera mejorarse el ajuste si se omiten los datos más recientes de la serie de temperaturas. A tal fin se ha realizado un nuevo ensayo (gráfico 13) en el que se ha restringido la serie a los años 1867-1968 en el que se logra un ajuste ínfimamente mejor ($c^2= 0,22238$), pero que no cambia sustancialmente la interpretación, aunque podría alegarse que obvia el posible calentamiento de los últimos 20 años. No obstante, aquí se ofrecen los valores principales de este modelo con su precisión:

$$\begin{array}{ll} A = 2,28836 & \pm 0,64557 \\ x_c = 1865,87173 & \pm 1,14753 \\ t_0 = 31,97864 & \pm 7,64897 \\ w = 15,49607 & \pm 0,53412 \\ y_0 = 10,27066 & \pm 0,06993 \end{array}$$

con el significado de las letras idéntico al expuesto más arriba.

Ajuste de una curva sinusoidal amortiguada:

Finalmente se ha observado la inestimable ayuda de la curva de múltiples puntas en la obtención de un ajuste bastante digno, y que pone de manifiesto la amortiguación de la variación finidecimonomónica de la temperatura con el tiempo. Por ello se ha ensayado el ajuste de un modelo de curva sinusoidal amortiguada sobre el resultado de la simplificación de la curva de múltiples puntas (gráfico 14). Normalmente la ecuación utilizada para este tipo de comportamientos es del tipo siguiente:

$$y = A e^{-\frac{x}{t_0}} \operatorname{sen}\left(\pi \frac{x - x_c}{w}\right)$$

donde A = amplitud

e = base de los logaritmos neperianos

t_0 = constante de amortiguación

x_c = centro

w = anchura

No obstante, los ajustes que aquí se exponen se han obtenido de la fórmula del seno amortiguado modificada levemente por mí, en cuanto que se ha introducido un parámetro inicial y teniendo en cuenta todos los valores que poseemos, esto es desde la temperatura de 1867 a la de 1995. La mejora sustancial ha consistido en la agregación de un coeficiente, tal y como se observa en la siguiente fórmula:

$$y = y_0 + Ae^{-\frac{x-x_c}{t_0}} \operatorname{sen}\left(\pi \frac{x-x_c}{w}\right)$$

con los significados de las letras idénticos a la fórmula interior, a excepción del coeficiente inicial y_0 .

En el gráfico 14 aparecen dos curvas: la de línea continua corresponde a la resultante de la utilización del ajuste mediante múltiples puntas; la de línea discontinua es el ajuste de la sinusoidal amortiguada, la cual ha arrojado los siguientes parámetros, con sus correspondientes precisiones:

para una $c^2 = 0,23352$

A = 2,17827 $\pm 0,61934$

x_c = 1866,43537 $\pm 1,157$

t_0 = 34,67358 $\pm 8,27585$

w = 14,91017 $\pm 0,44832$

y_0 = 10,33722 $\pm 0,06356$

Recuérdese que la bondad del ajuste, medido a través de la c^2 , ofrece un valor de 0,233. De la observación del gráfico se colige que tal vez pudiera mejorarse el ajuste si se omiten los datos más recientes de la serie de temperaturas. A tal fin se ha realizado un nuevo ensayo (gráfico 15) en el que se ha restringido la serie a los años 1867-1968 en el que se logra un ajuste ínfimamente mejor ($c^2 = 0,22238$), pero que no cambia sustancialmente la interpretación, aunque podría alegarse que obvia el posible calentamiento de los últimos 20 años. No obstante, aquí se ofrecen los valores principales de este nuevo modelo:

A = 2,28836 $\pm 0,64557$

x_c = 1865,87173 $\pm 1,14753$

t_0 = 31,97864 $\pm 7,64897$

w = 15,49607 $\pm 0,53412$

y_0 = 10,27066 $\pm 0,06993$

con el significado de las letras idéntico al expuesto más arriba.

CONCLUSIÓN

De lo que llevamos expuesto se pone de manifiesto que la naturaleza, al menos en el caso de las anomalías térmicas decimonónicas sorianas, se comporta como un sistema autorregulable, al parecer bastante alejado del supuesto descoyuntamiento que preconiza el actual modelo de “cambio climático”, que amenaza con el paso de un umbral y con la consiguiente reestructuración del sistema.

Queda, todavía, la necesaria y poco gratificante, por lo tanto ardua, tarea de explicar que el ajuste de la sinusoidal amortiguada modificada tampoco es la panacea que resuelva todos nuestros problemas, por cuanto que ello supondría que el amortiguamiento comienza desde el mismo momento del cambio de era, lo que, a todas luces es inapropiado: una vez más se ha abierto una puerta para cerrarse otra a su paso. El sentimiento general que sigue presidiendo toda la labor que inicio o mantengo es el mismo: la frustración ante el paso de un recinto enrejado a otro en esta «cárcel» científica en la que me muevo.

A pesar de los intentos que se han elaborado aquí, y descorazonadamente, debo admitir como mías las palabras de Hubert Lamb (1988): “Despite many assertions in the literature of recent years, **it is not possible to estimate convincingly a limit to the range or the rapidity of natural variations in climate**” (pág 10). De estas palabras se deduce la imposibilidad de asignar relevancia al papel antrópico en el llamado cambio climático.

Y por recordar otras sabias palabras: “En realidad, en la investigación de muchos de estos problemas [de la contaminación atmosférica], como las posibilidades de deterioro de la capa de ozono o sobre las consecuencias climáticas del aumento de dióxido de carbono, **los especialistas se enfrentan a la falta de datos definitivos**”. Curiosamente, los vulgarizadores⁹ parecen contar con estos datos (la ciencia infusa, fuera del Paraíso, parece ser otra forma de contaminación) y nos anuncian catástrofes a corto y medio plazo que prácticamente aniquilarán a la humanidad. Las posturas prudentes, que no es lo mismo que expectantes, conocedoras de los peligros potenciales pero ajustándolos a sus términos precisos, son las únicas que nos permitirán tomar conciencia del mundo real en que nos movemos.” (PUERTO MARÍN y GARCÍA RODRÍGUEZ, 1986, pág. 9-10)

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ALMARZA MATA, C., LÓPEZ DÍAZ, J.A. y FLORES HERRÁEZ, C. (1996): Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación de España. INM, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 318 págs.
- ANGUITA VIRELLA, F. (1988): Origen e historia de la Tierra, Edit. Rueda, Madrid, 525 págs.
- BALAIRÓN, L. (1995): Ordenadores, matemáticas y clima. Los límites de la predicibilidad en meteorología. Revista “Estratos”, ENRESA, Madrid, nº 34, págs 4-11.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1999): “El Niño” y el sistema climático terrestre, Ariel, Barcelona, Colección Geografía, 157 págs.
- EL PERIÓDICO DE CATALUNYA de fecha 15 de Noviembre de 1998.
- LAMB, H. (1988): Weather, Climate and Human Affairs, Londres, Routledge, 364 págs.
- MARTÍN VIDE, J. (en prensa): Decálogo del cambio climático, Fundació Catalana per a la Recerca, Barcelona.

- PEIXOTO, José P. y OORT, Abraham H. (1992); *Physics of climate*. American Institute of Physics, Nueva York, 520 págs.
- PUERTO MARÍN, A. y GARCÍA RODRÍGUEZ, J.A. (1986): La contaminación atmosférica. Colección "Temas Monográficos", nº 19, Centro de Edafología y Biología Aplicada del CSIC, Diputación de Salamanca, Salamanca, 63 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.
- SANZ DONAIRE, J.J. (1999 a): "La climatologie est morte! Vive la climatologie! Reflexiones sobre el cambio climático", *Estudios Geográficos*, Madrid, CSIC, nº 236, tomo LX, págs 467-486.25 págs.
- SANZ DONAIRE, J.J. (1999 b): "A propósito del cambio climático: una "nueva" definición de clima", *Homenaje al Prof. García Fernández*, Valladolid, 12 págs.
- SANZ DONAIRE, J.J. (1999 c): "Escepticismo al "cambio climático": el ejemplo de las temperaturas", *Nimbus*, Almería, nº 2 págs XX-YY
- SANZ DONAIRE, J.J. (1999 d): "New definitions of climate and climatic change", *Bulletin of the Egyptian Geographical Society*, El Cairo, Vol. 73, 20 págs.
- SANZ DONAIRE, J. J. (en prensa, a): Aleatoriedad de las series instrumentales de precipitación en España: otro caso en el que no se detecta el "cambio climático", *Estudios Geográficos*, Madrid, CSIC, 25 págs.
- SANZ DONAIRE, J. J. (en prensa, b): Los totales anuales de precipitación en Egipto y el "cambio climático", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid*, Madrid, Número monográfico dedicado al ambiente con motivo de los 20 años de la Revista, 15 págs.

NOTAS

¹ Se ha entrecomillado la palabra *ciclo* por dos razones: la primera porque se le ha hurtado su sentido original; no existe evidencia de ritmo en el que se vuelva al mismo punto de partida, la condición necesaria para que se hable propiamente de un ciclo (término que originalmente en griego significa *rueda*); en segundo lugar porque a veces se ha establecido un "ciclo" entre dos puntas, entre punta y valle, o valle y punta, y entre dos valles.

² Denominamos puntas (que no picos) a los valores más sobresalientes por encima; igualmente en la curva de la serie temporal se llaman valles a los senos más profundos.

³ Por causa se entiende el primer principio productivo de una cosa o por el que se hace un efecto. Constituye una acción necesariamente e inevitablemente previa al efecto: una *conditio sine qua non*.

⁴ El ruido se califica de "blanco" porque la luz de este color presenta un espectro con múltiples puntas, causado por la gran cantidad de longitud de ondas que coexisten en ella.

⁵ Se es consciente de que ésta es una simplificación de la realidad; de hecho es más probable que ascienda o descienda la temperatura a que se mantenga en el mismo valor porque, en nuestro caso en el que el rango de la variable es de 5,1° (entre 12,4° y 7,3°) y la precisión de variación de 0,1°, la probabilidad de que se repita exactamente el mismo valor es de $1/51=0,019$, luego de sólo casi un 2%. Recuérdese que en las guerras los que sufren un bombardeo suelen cobijarse en el embudo de una bomba, ante la baja probabilidad de que sea exactamente allí donde vuelva a hacer blanco otro proyectil.

⁶ Frecuentemente, por mala traducción del inglés, se vienen denominado "funciones de múltiples picos".

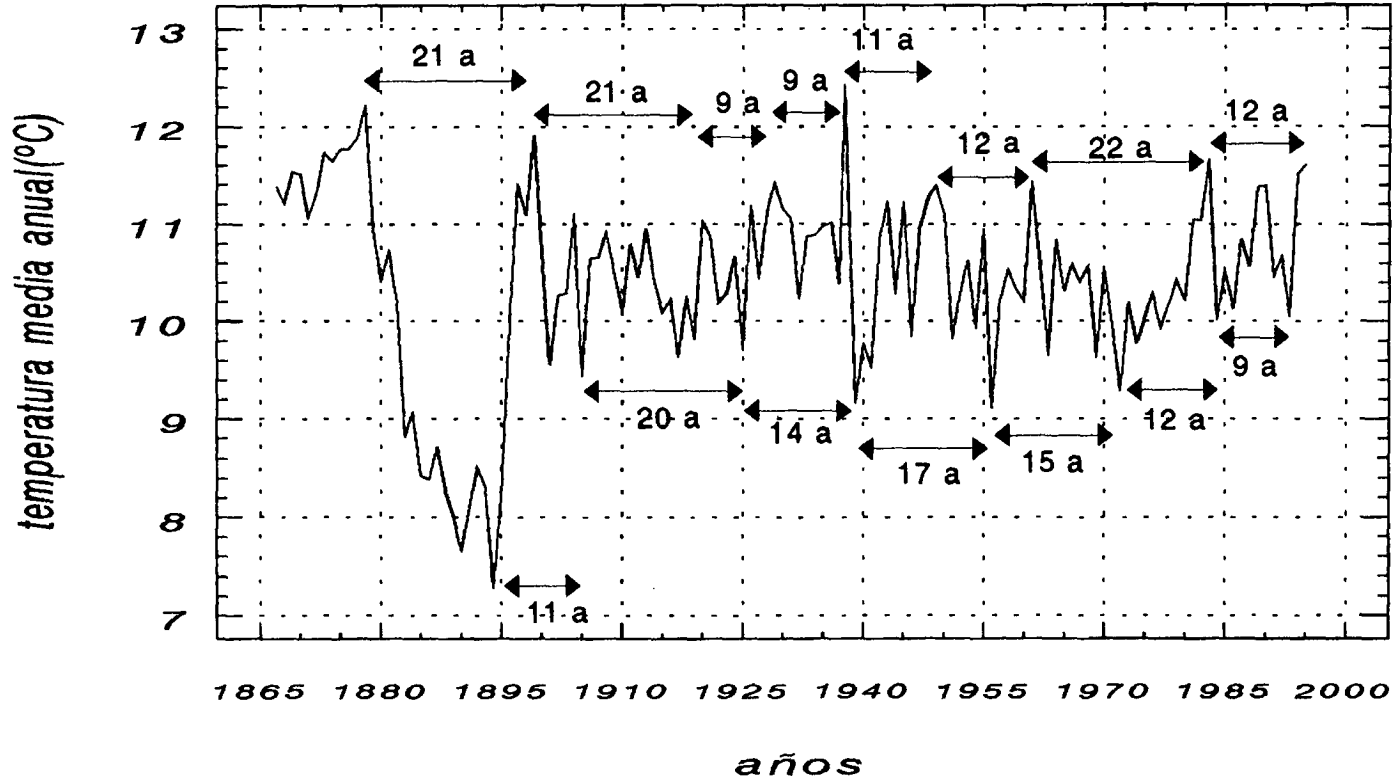
⁷ La negrita es nuestra, que no del original.

⁸ Ver nota 6.

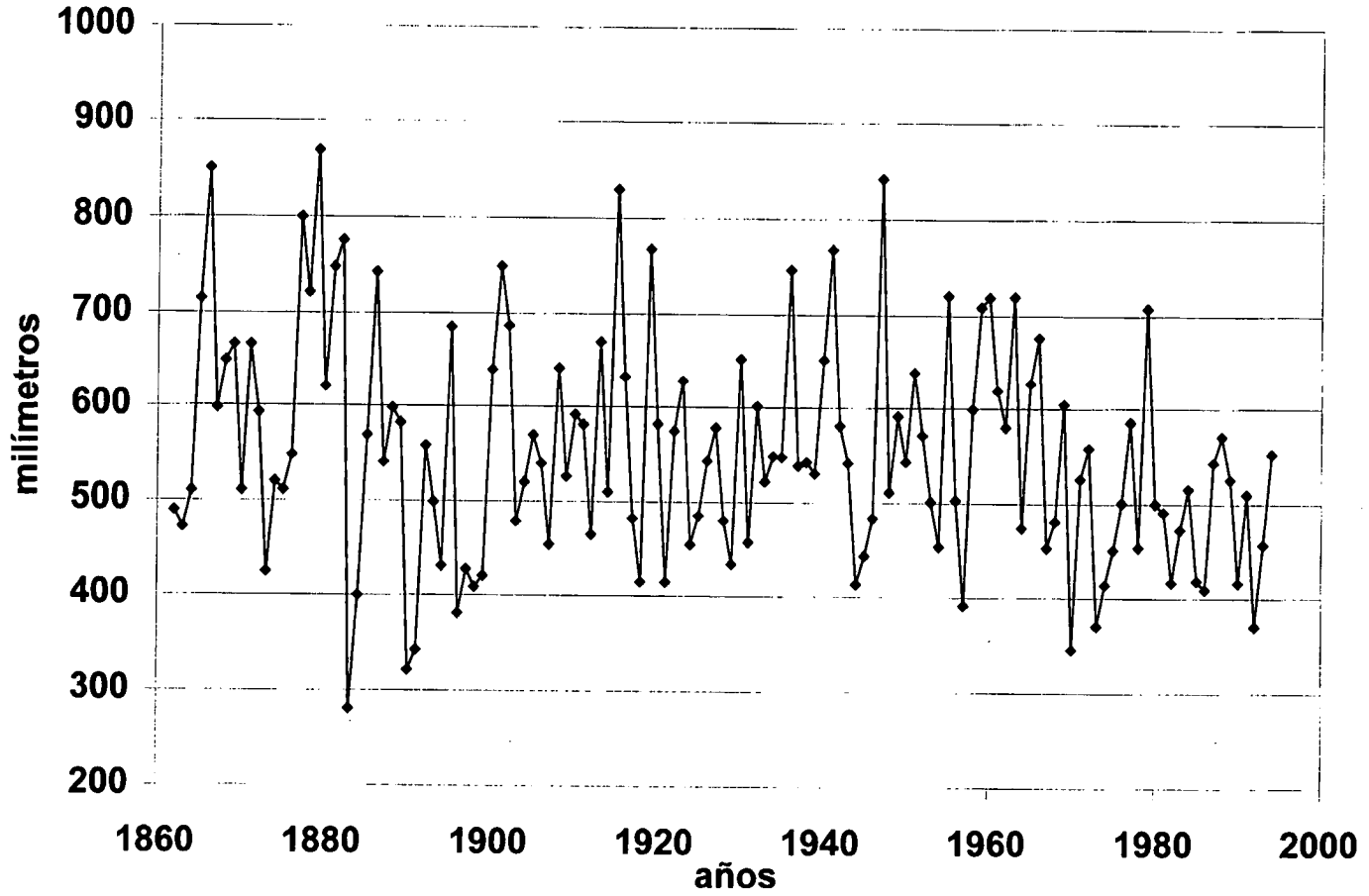
⁹ Más correcto hubiera sido haber escrito *divulgadores*, aunque desconozco si los autores voluntariamente deseaban introducir la carga semántica al término.

SORIA

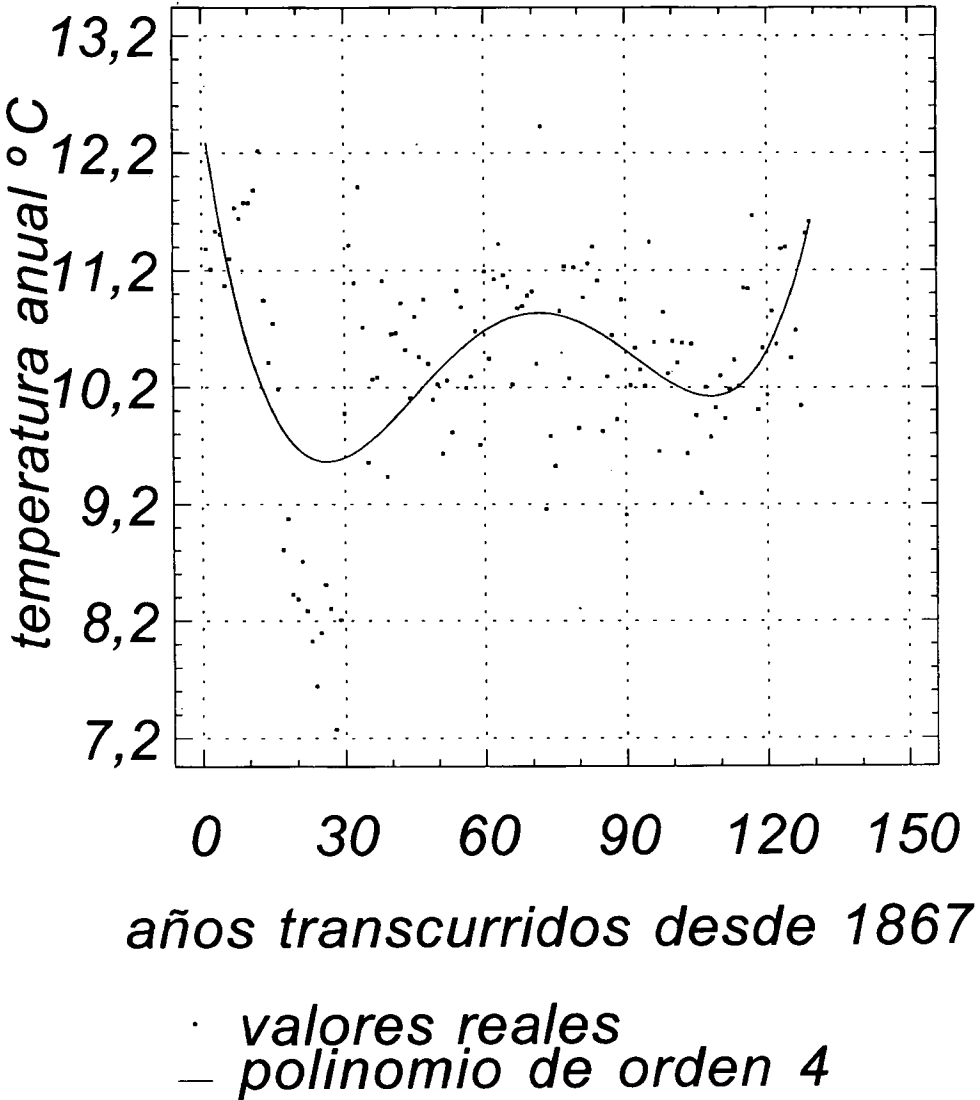
Variación interanual de la temperatura



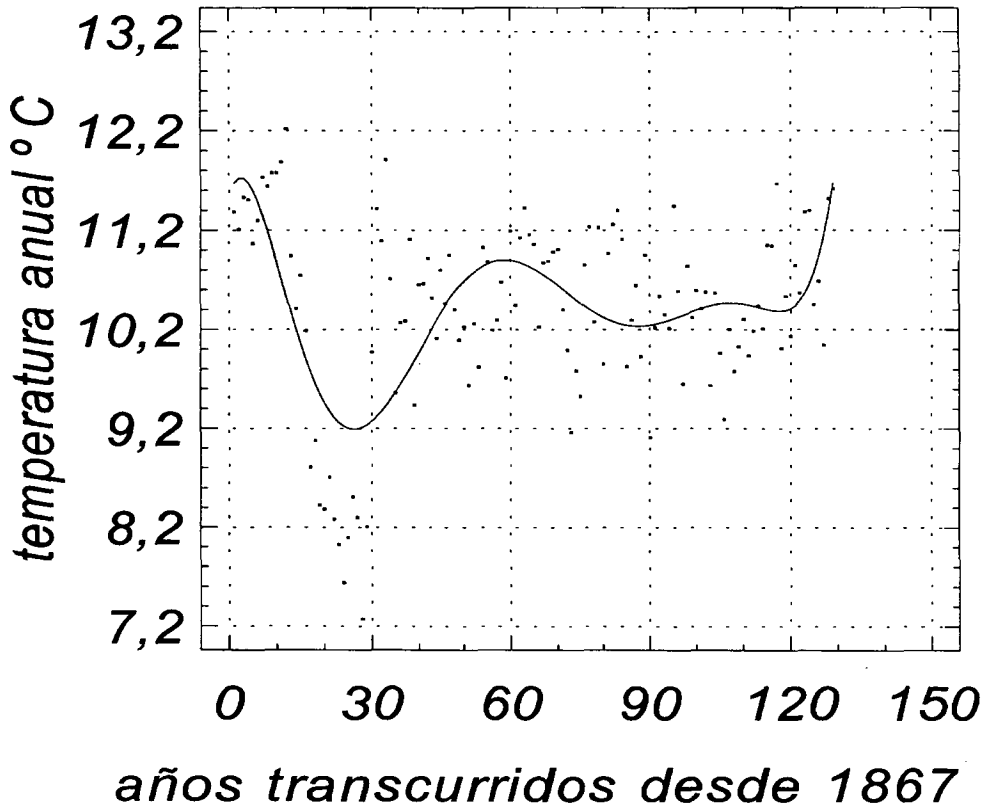
Pluviometría de SORIA



Ajuste de polinomio de orden 4

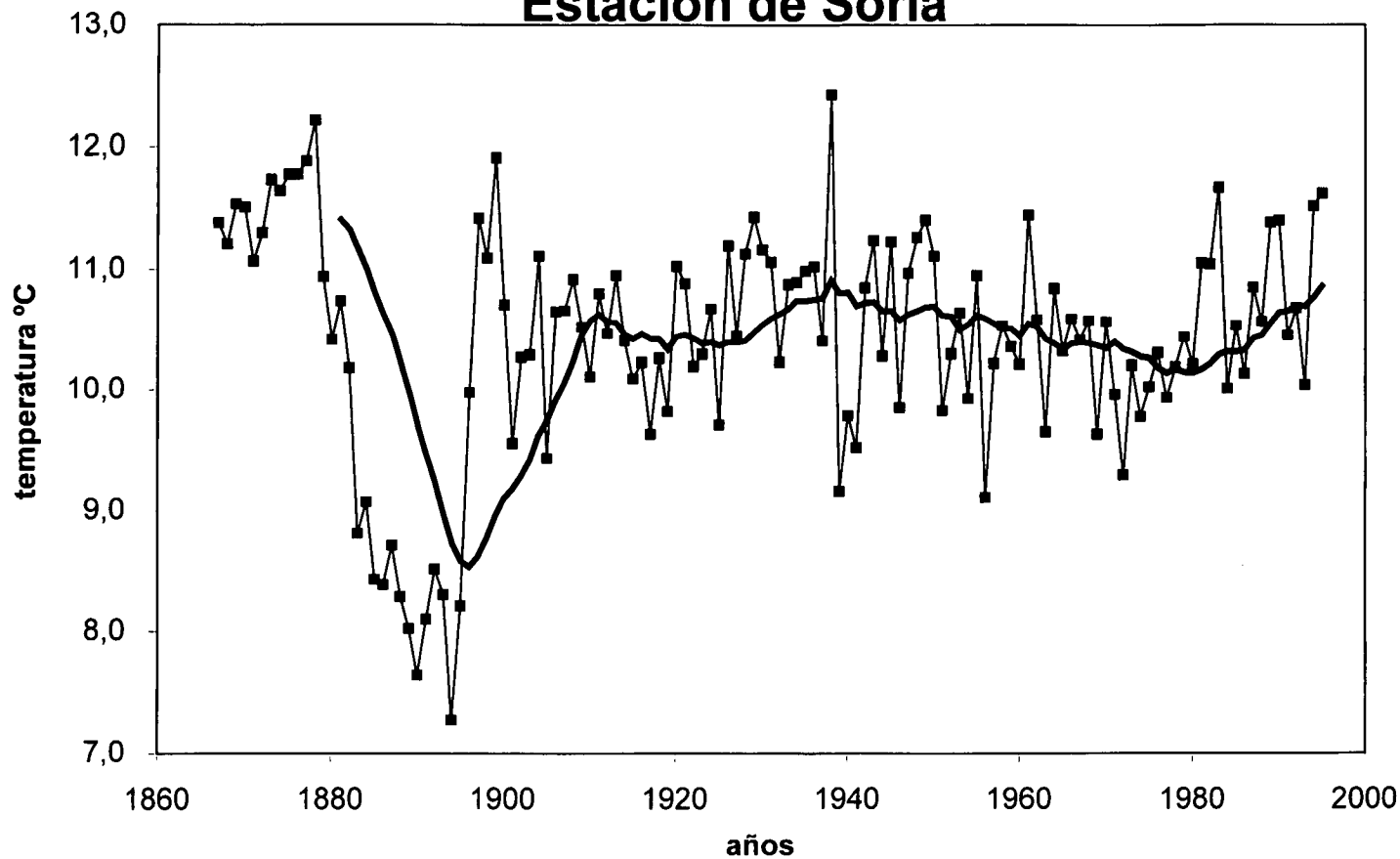


Ajuste de polinomio de orden 7

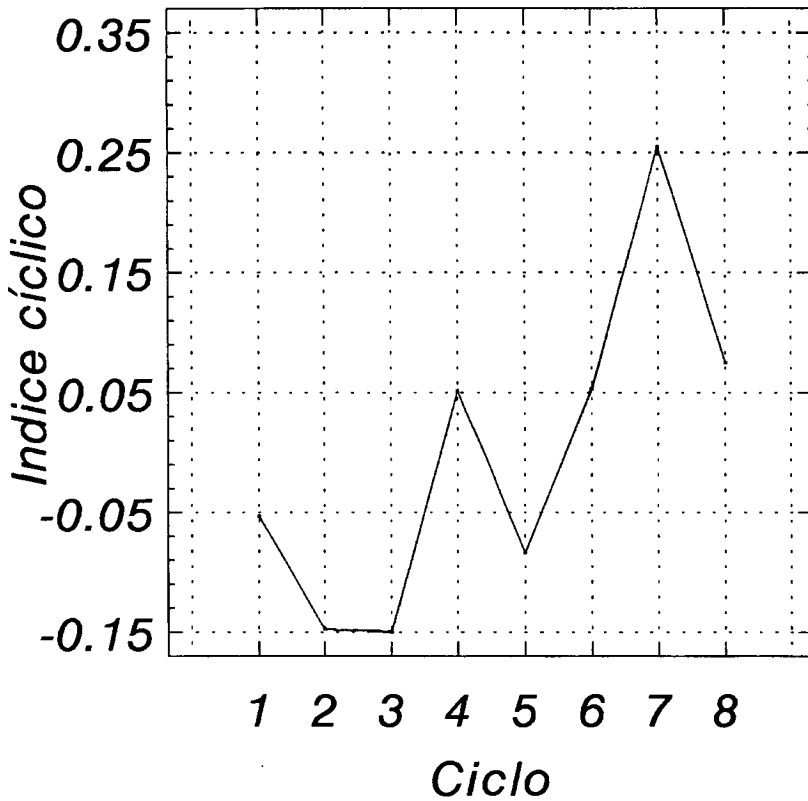


- *datos reales*
- *ajuste polinomio de orden 7*

Media móvil de 15 años en datos térmicos Estación de Soria

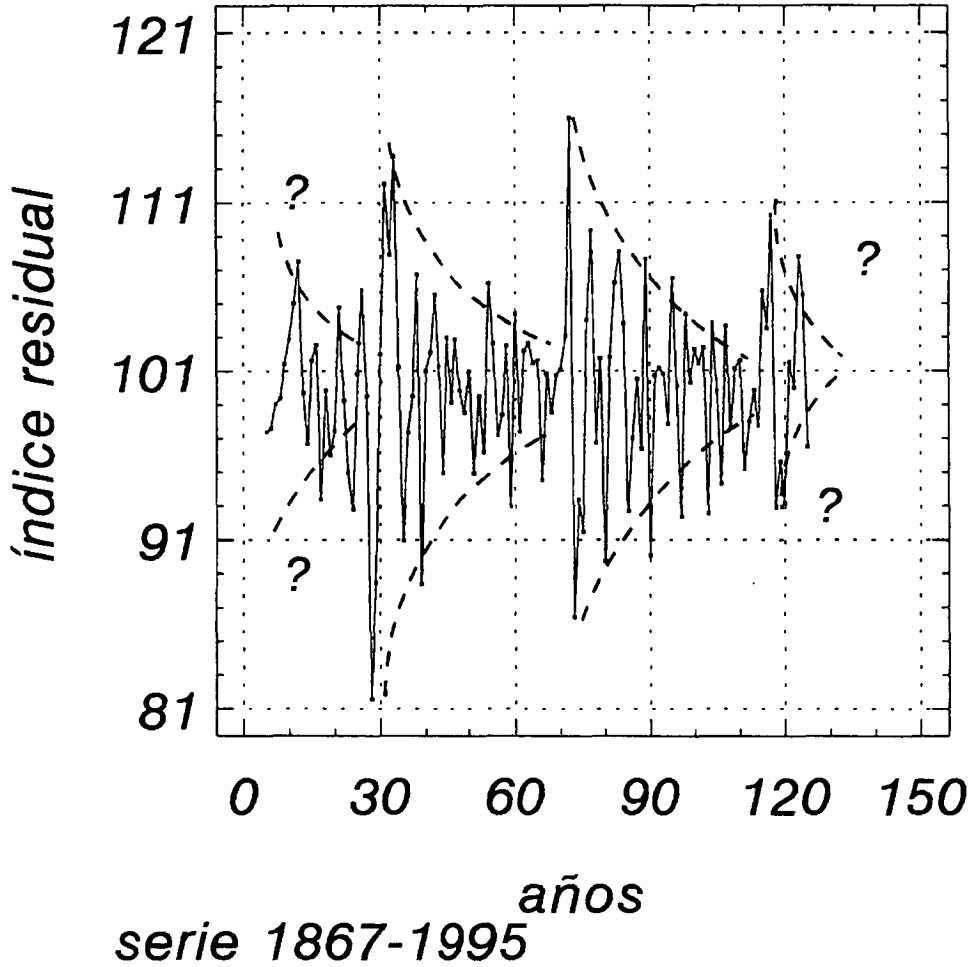


SORIA: Componente cíclico estimado Períodos de 8 años (método aditivo)

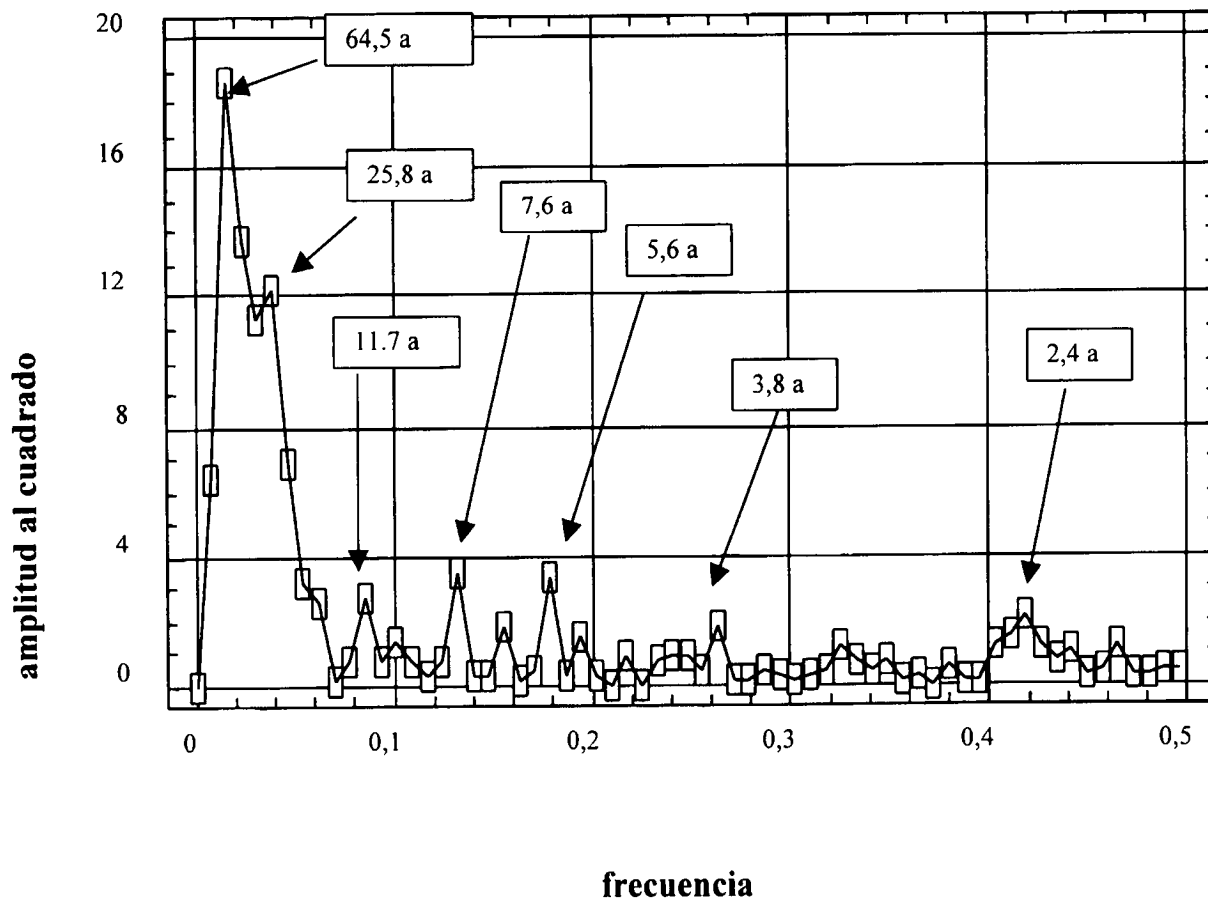


Serie 1867-1995

SORIA: *Componente residual* *para períodos de 8 años*

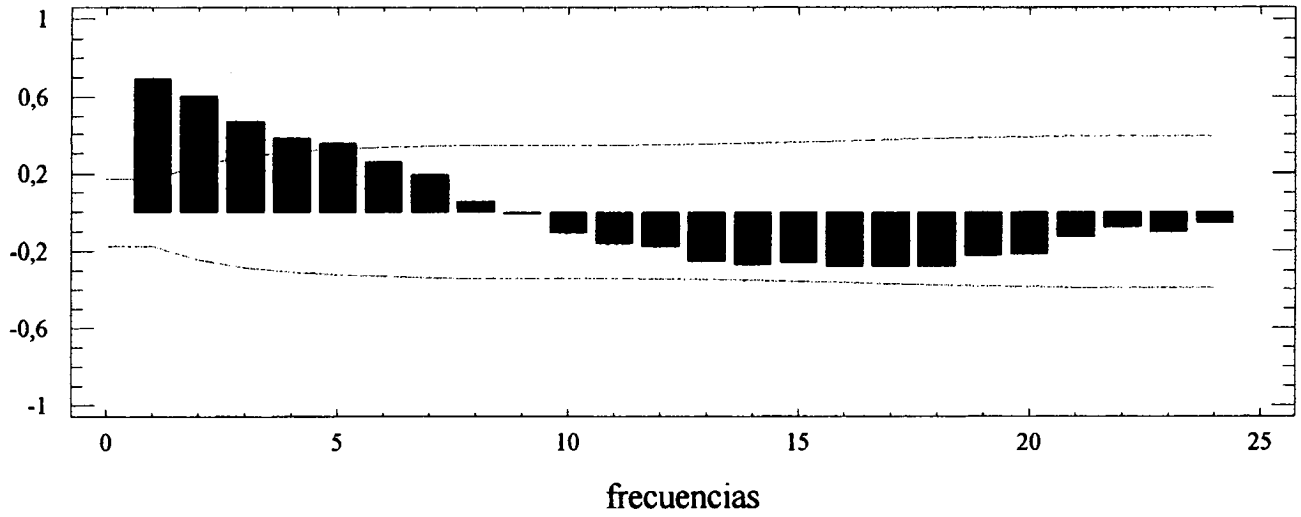


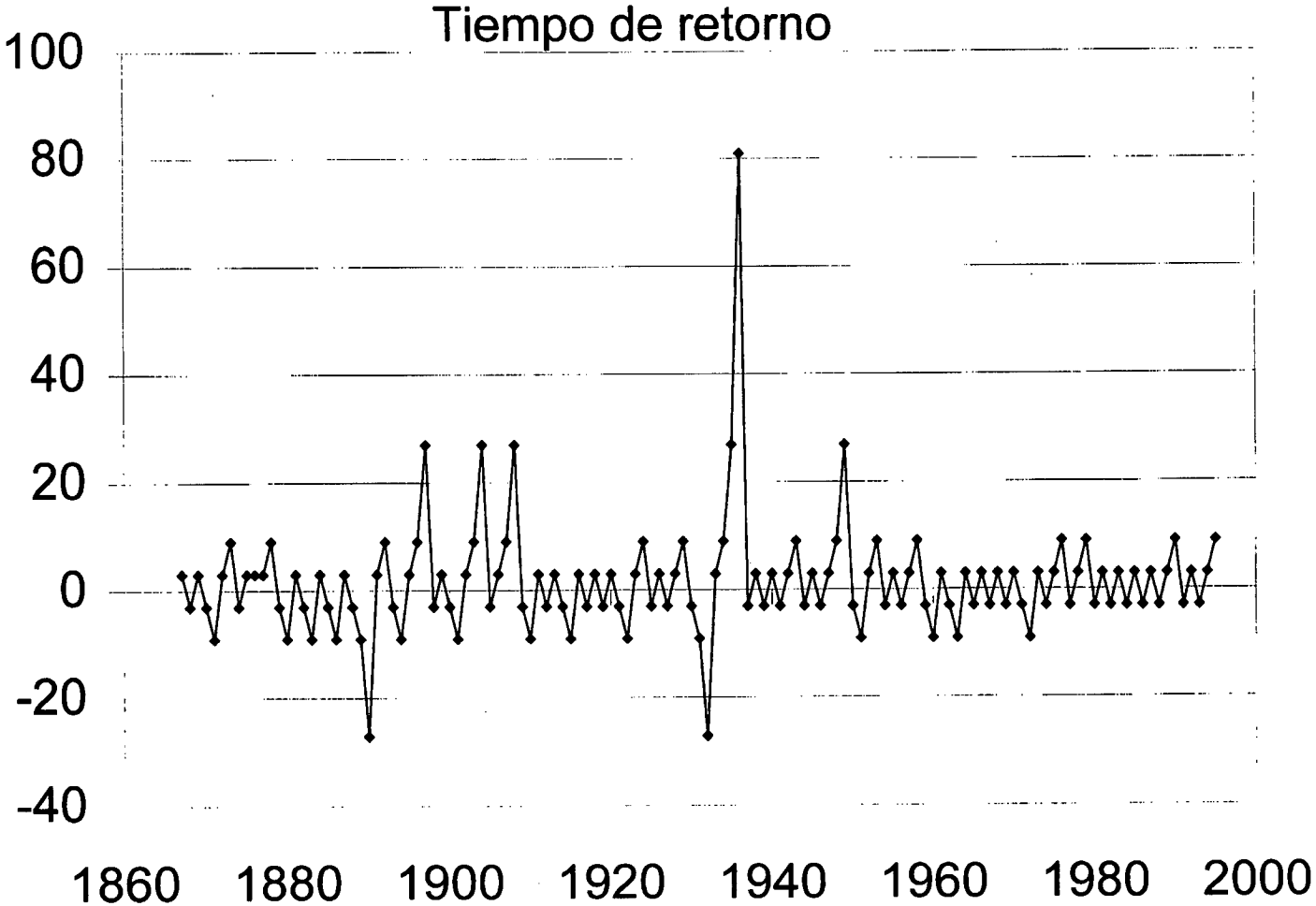
Periodograma de las temperaturas ajustadas de SORIA

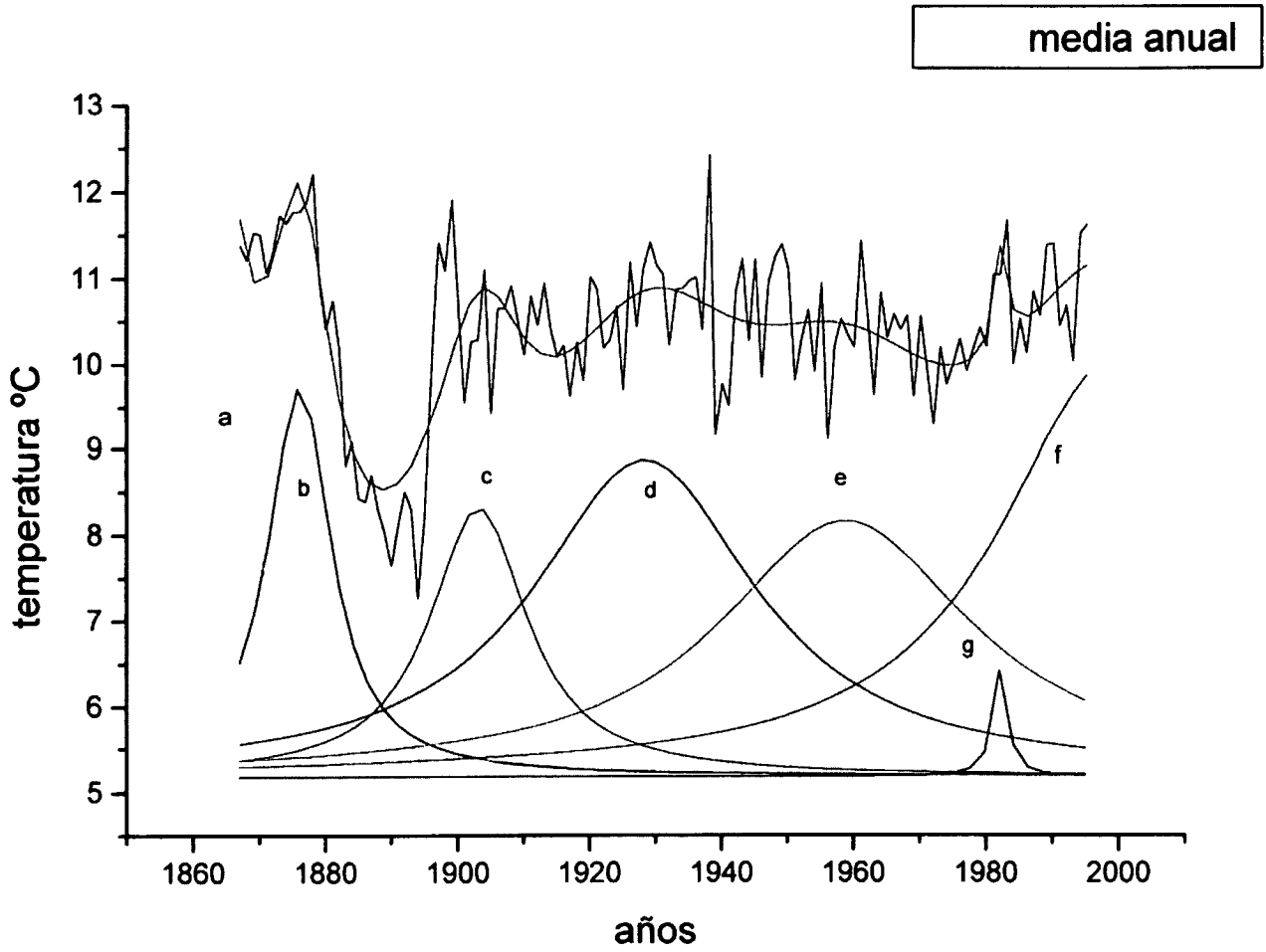


autocorrelaciones

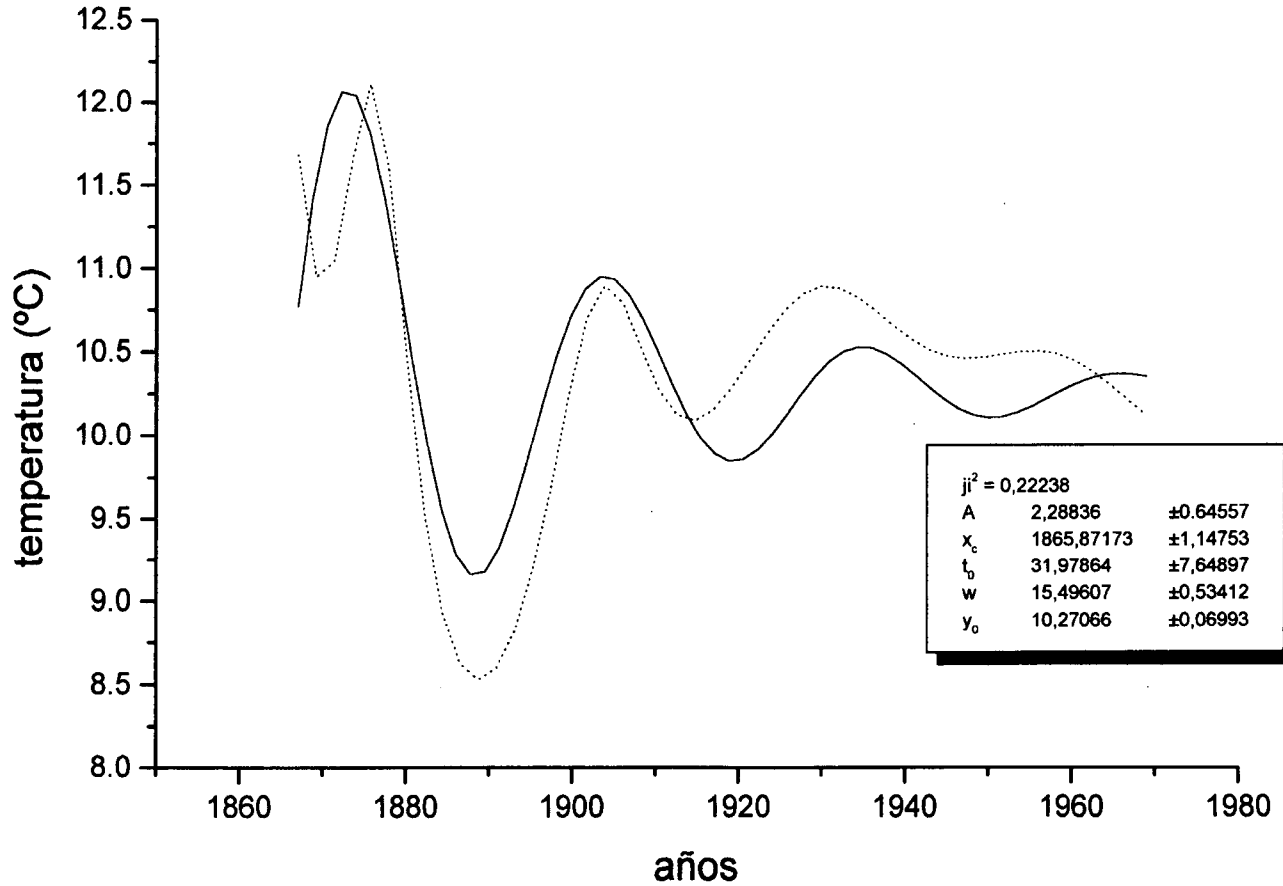
Autocorrelaciones estimadas en las temperaturas medias anuales de Soria







Ajuste lorentziano a temperaturas medias de Soria



Ajuste lorentziano a temperaturas medias de Soria

