

**APLICACIÓN DE FUNCIONES POLINÓMICAS EN EL ANÁLISIS DE LAS
VARIACIONES SECULARES DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN
LA PENÍNSULA IBÉRICA Y BALEARES***

José M. RASO NADAL
Universitat de Barcelona

RESUMEN: El ajuste de las series pluviométricas anuales registradas en distintos puntos de la península Ibérica y del archipiélago balear entre 1870 y 1990 mediante curvas polinómicas resulta particularmente útil en la definición de períodos diferenciados por la cuantía relativa de las precipitaciones totalizadas.

ABSTRACT: Smoothing of anual pluviometric series that has been registered in several locations of the Iberian Peninsula and the Balearic Archipelago from 1870 to 1990 with polynomial curves becomes specially interesting to define periodes in order to relative amounts of precipitatioos that have been reached.

Aunque el número de puntos en los que han sido observadas regularmente las precipitaciones en España durante los últimos cien años sea apreciable, no alcanzan la veintena los que cuentan con series pluviométricas completas o casi completas anteriores a 1870. Por otro lado, los datos anteriores a este último año son, en general, escasos y carentes de la deseable continuidad que requiere un análisis de sus variaciones seculares. Por este motivo y por la reciente conclusión con el año 1990 del último trentenio en base al cual es aconsejable estimar los parámetros climáticos y, de forma semejante a como se procedió en una primer análisis secular de las precipitaciones anuales en España (RASO, 1994), la delimitación de períodos de características pluviométricas diferenciadas o incluso contrapuestas que pretende la presente nota se ha realizado a partir de los datos registrados entre 1870 y 1990 en los siguientes puntos de observación: Albacete, Alicante, Badajoz, Barcelona, Burgos, Jaén; La Coruña, Madrid, Mahón, Murcia, Palma de Mallorca, Salamanca, San Fernando, Sevilla, Soria,

* El presente trabajo forma parte del Proyecto de Investigación (DGICIT, PS91-0077) "Tendencias climáticas seculares en España. Patrones previsibles de cambio medioambiental".

Valencia, Valladolid y Zaragoza. La observación regular de las precipitaciones en todas estas ciudades se remonta, al menos, a 1870, salvo en La Coruña, donde el inicio de las actividades de su observatorio meteorológico se sitúa en el año 1877. Las correspondientes series pluviométricas mensuales y anuales son completas o casi completas durante el período señalado y las escasas faltas de información han sido suplidas por valores estimados mediante regresión respecto a otros puntos de observación, tras haber comprobado la existencia de correlación significativa. Dada la propia variabilidad de las precipitaciones y el limitado tamaño de las correspondientes series de datos disponibles, no es fácil distinguir y definir una señal de cambio o variación del ruido. En efecto, el aludido trabajo permite comprobar que ni la determinación de las respectivas rectas de tendencia de las precipitaciones totalizadas anualmente en los 18 puntos de observación de la España peninsular e islas Baleares estudiados evidencian un incremento o una disminución significativa de la pluviometría, ni la representación de las medias móviles una posible evolución cíclica susceptible de establecer previsiones par los próximos años. Ante la insatisfactoria bondad de estos ajustes, se ha procedido al cálculo de los polinomios de quinto grado correspondientes a cada uno de los citados puntos de observación. BROOKS y CARRUTHERS (1953) sugieren la utilización frecuente de curvas polinómicas cuando otras han fracasado. Sin embargo, los ajustes polinómicos constituyen una técnica más excepcional que ordinariamente utilizada en los estudios climáticos.

VARIABILIDAD DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES.

La estimación de parámetros climáticos a partir de los datos registrados a lo largo de períodos de treinta años no tiene como fin la definición de climas supuestamente estables. En efecto, actualmente no sería sostenible una supuesta estabilidad del clima, si bien los cambios climáticos posiblemente sean menos frecuentes y evidentes de lo que suelen manifestar no sólo los medios de difusión social, sino también trabajos elaborados con fines científicos.

Una primera aproximación a la existencia o no de una variación del clima puede consistir en el contraste entre las características estadísticas calculadas para distintos períodos de treinta años. Un contraste de este tipo entre las medias pluviométricas anuales calculadas para los trentenios 1871-1900, 1901-1930, 1931-1960 y 1961-1990, que junto con los respectivos coeficientes de variación recoge el cuadro 1, realizado con motivo del trabajo anteriormente aludido permite comprobar la escasa o nula significación de las diferencias entre los cuatro valores calculados para cada uno de los puntos de observación.

Cuadro 1. Medias aritméticas de las precipitaciones anuales (A) y coeficientes de variación (B) calculados para para distintos periodos de treinta años. (Las medias aritméticas están expresadas en mm y los coeficientes de variación en %).

Punto de observación	(1971-1900)		(1901-1930)		(1931-1960)		(1961-1990)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Albacete	394,7	27,8	340,4	21,8	351,7	30,8	366,4	27,3
Alicante	356,3	43,9	342,9	37,0	322,9	31,6	353,0	33,0
Badajoz	471,0	36,3	538,1	29,2	477,4	26,8	502,1	25,2
Barcelona	526,4	29,4	578,0	26,1	595,1	25,8	569,4	28,4
Burgos	561,4	19,1	484,0	18,9	559,3	28,1	541,9	16,4
Jaén	686,4	27,1	617,4	20,6	604,3	36,7	545,1	29,4
La Coruña	839,2	25,9	790,2	30,5	965,0	21,6	999,0	15,5
Madrid	429,5	24,3	428,5	20,3	435,6	26,2	457,5	26,8
Mahón	628,4	23,0	616,3	21,9	634,6	21,4	594,2	23,0
Murcia	377,6	35,1	283,3	28,3	293,6	36,3	289,9	37,7
Palma de M.	485,7	24,4	481,6	17,8	455,9	26,1	429,0	34,5
Salamanca	287,8	25,6	393,9	26,7	409,8	29,3	436,8	25,2
San Fernando	696,1	32,5	528,2	20,8	576,6	29,2	584,9	29,2
Sevilla	540,8	39,3	558,7	22,8	557,3	31,0	598,4	33,6
Soria	555,5	27,3	568,9	18,6	567,8	19,5	513,9	18,8
Valencia	493,0	43,0	418,4	30,8	444,4	39,6	461,4	41,6
Valladolid	316,7	22,5	410,1	20,6	409,9	33,2	440,8	18,9
Zaragoza	297,8	25,7	307,3	24,3	343,1	26,3	349,8	27,6

La carencia de diferencias significativas entre las precipitaciones medias de los cuatro trentenios únicamente se contrapone a una clara evolución creciente o decreciente de la pluviometría, pero no descarta todo tipo de alternancia entre etapas o fases con predominio de precipitaciones relativamente altas con otras en las que suceda todo lo contrario.

Por otro lado, y no obstante la falta de significación aludida, la tabla pone de manifiesto la, en general, menor cuantía de las precipitaciones caídas en el período 1901-1930 que en los tres restantes trentenios. Así, sólo las medias de

Badajoz y Soria calculadas para el primero de éstos son superiores a las obtenidas para cada uno de los últimos, en tanto que, por el contrario, las halladas para siete de los puntos de observación estudiados, Albacete, Burgos, La Coruña, Madrid, Murcia, San Fernando y Valencia, son justamente las menores.

Pero la suma de las medias aritméticas de cada uno de los cuatro trentenios y puntos de observación analizados se cifra en las siguientes cantidades:

1870-1900	8944,3 mm
1901-1930	8686,1 mm
1931-1960	9004,3 mm
1961-1990	9033,5 mm

Estos valores ponen de manifiesto tanto la menor pluviometría registrada durante los tres primeros decenios de la actual centuria, como la proximidad entre las precipitaciones totalizadas en los trentenios 1871-1900, 1931-1960 y 1961-1990, sobre todo en los dos últimos. La, en todo caso, mayor cuantía de los totales hallados para estos dos, y particularmente la obtenida para el último, está muy lejos de avalar una posible hipótesis de una desertificación de la península Ibérica y Baleares de etiología climática, por cuanto también debe descartarse un incremento termométrico capaz de provocar un aumento significativo de la evaporación.

De forma semejante a lo señalado en relación a las medias pluviométricas anuales de los diferentes períodos considerados, es posible comprobar que la suma de los coeficientes de variación del trentenio 1901-1930 se cifra en una cantidad sensiblemente inferior a la totalizada por los obtenidos para los períodos 1870-1900, 1931-1960 y 1961-1990 y, de igual modo, las menores diferencias se dan entre las sumas de los indicados en la tabla para estos últimos. También merece destacarse que los coeficientes de variación del primer trentenio del siglo XX fueron inferiores a los de los tres restantes en diez de los dieciocho puntos de observación y, tan sólo en uno, superiores. Esto supone que las precipitaciones anuales del período 1901-1930, además de totalizar cantidades inferiores, fueron menos variables que en los 30 años anteriores y en los 60 posteriores. Por el contrario, dentro de las reducidas diferencias entre los coeficientes de variación de los períodos 1871-1900, 1931-1960 y 1961-1990, los del primero de éstos totalizan una cantidad ligeramente superior a las de los dos últimos y los obtenidos para siete de ellos sobrepasan a los señalados para los restantes trentenios. En cambio, las series de coeficientes de variación obtenidos por los dos últimos comprenden, cada una de ellas, cinco valores superiores a los respectivamente hallados para los otros períodos de igual duración.

En definitiva, sin olvidar la escasa o nula significación estadística de las

diferencias entre las precipitaciones medias de los cuatro trentenios analizados, el segundo de ellos, es decir el comprendido entre 1901 y 1930, registra unas precipitaciones medias anuales de inferior cuantía y menos variables que las de los otros tres. En contrapartida, las precipitaciones registradas en los dos últimos, 1931-1960 y 1961-1990, lejos de diferir significativamente, muestran un comportamiento similar.

AJUSTE DE LAS SERIES SECULARES MEDIANTE CURVAS POLINÓMICAS.

Las apreciaciones anteriores únicamente permiten destacar un mayor predominio de las precipitaciones de cuantía inferior a la media de los 121 años analizados durante el período 1901-1930 que en los tres restantes trentenios considerados, pero no la duración real ni la importancia de una etapa de precipitaciones relativamente escasas o la de otras en las que fue más frecuente el registro de totales pluviométricos anuales de cuantía superior a las respectivas medias aritméticas de los 121 años estudiados, ni la determinación de breves fases o episodios de uno u otro signo.

El simple cálculo y representación gráfica de medias móviles de las diferentes series, centradas cada un determinado número de años, permite estimar la existencia y sucesiva alternancia de etapas de esta naturaleza. Pero si se desea evitar una excesiva sensibilidad de las respectivas curvas de ajuste a diferencias interanuales excepcionales más o menos próximas en el tiempo, es necesario el cálculo de medias móviles a partir de un número de elementos demasiado alto como para que no comportar un acortamiento excesivo de las propias curvas por sus extremos. Por otro lado la determinación de las medias móviles debe realizarse inmediatamente a partir de los valores empíricos y no es posible reducir la definición de curvas de ajuste a una sencilla expresión matemática. Los ajustes mediante curvas polinómicas evitan todos estos inconvenientes, aunque sus extremos ciertamente pueden ofrecer imágenes distorsionadas de los datos ajustados y, en el caso presente, de la evolución de las precipitaciones anuales.

Los ajustes polinómicos usan el mismo algoritmo que la regresión múltiple. La forma general de la ecuación polinómica viene dada por:

$$Y = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n$$

donde $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ son constantes, t la variable independiente *año* expresada ordinalmente y n el grado del polinomio.

Con los ajustes polinómicos propuestos se pretende poner de manifiesto tanto la existencia de una posible variación de las precipitaciones anuales en la península Ibérica y Baleares, como la definición y delimitación de períodos o etapas caracterizadas por una mayor o menor abundancia relativa de las precipitaciones anuales en cada uno de los puntos de observación. En orden a este objetivo, los ajustes se realizan no a partir de los datos observados, sino en base a los correspondientes valores tipificados o valores z [$z = (x_i - \mu)/\sigma$], en cuya obtención han sido utilizadas la media y la desviación típica calculadas sobre la totalidad de los elementos que componen cada una de las series pluviométricas.

Las curvas de ajuste definidas por las respectivas funciones de una ecuación polinómica de quinto orden, en cuyo cálculo y representación gráfica ha sido utilizado el paquete informático *Statgraphics*, uno de los propuestos por GALÁN y FERNÁNDEZ (1992) para el análisis temporal y espacial de los elementos climáticos, permiten distinguir tres tipos de observatorios.

El primero de tales grupos incluye las series Barcelona, La Coruña, Salamanca, Valladolid y Zaragoza. Se trata, por tanto, de ciudades ubicadas esencialmente en el tercio septentrional de la península Ibérica. La evolución de las precipitaciones anuales definida por las curvas correspondientes es muy simple y permite definir dos fases. La inicial, de precipitaciones predominantemente inferiores a las medias de los 121 años, comprende el primer trentenio de estos años y parte del segundo. Esta etapa concluye antes en Barcelona, Salamanca y Valladolid que en Salamanca y La Coruña donde no termina hasta aproximadamente 1930. La fase siguiente, de pluviometría relativamente más abundante, parece concluir a finales del último decenio. La representación gráfica de los ajustes realizados para Barcelona y Salamanca (Fig. 1) ponen de manifiesto la desigual duración de ambas fases.

Menos simple y sensiblemente diferente es la evolución secular de las precipitaciones definida por las ecuaciones halladas para las ciudades de Badajoz, Burgos, Madrid, Mahón, Jaén, San Fernando, Sevilla y Soria, situadas en el interior y sur peninsulares y en una de las islas Baleares. En todos estos puntos, como muestran las representaciones gráficas de las curvas polinómicas de Madrid y Sevilla (Fig. 2), es posible distinguir una primera fase con predominio de las precipitaciones superiores a las medias, comprendida entre los primeros años del período estudiado y comienzos del segundo trentenio, seguida de una etapa de signo contrario que abarca la mayor parte de este mismo treintenio y parte del siguiente, en el que tiene lugar un incremento de la pluviometría y el inicio de una nueva serie de años que totalizaron nuevamente precipitaciones relativamente altas.

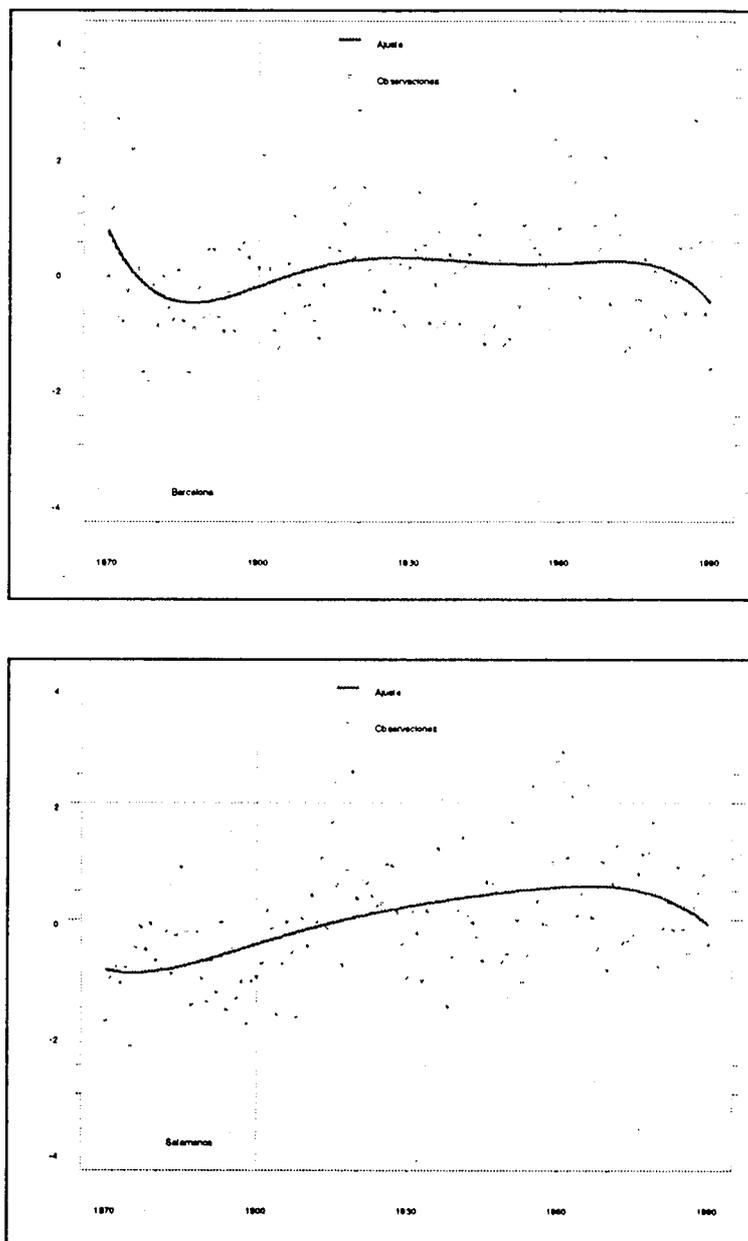


Fig. 1: Evolución secular de las precipitaciones anuales en Barcelona y Salamanca. Los totales pluviométricos anuales están expresados por sus correspondientes valores tipificados y ajustados mediante curvas polinómicas de quinto orden.

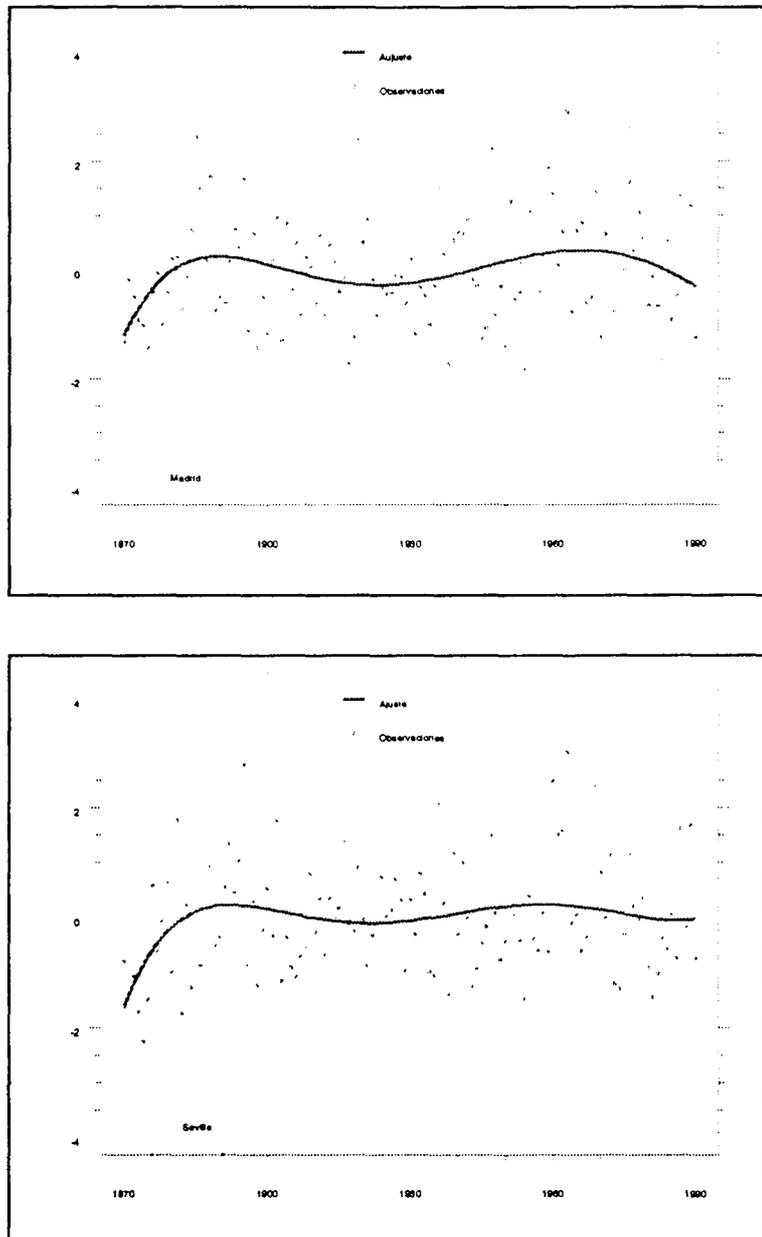


Fig. 2: Evolución secular de las precipitaciones anuales en Madrid y Sevilla. Los totales pluviométricos anuales están expresados por sus correspondientes valores tipificados y ajustados mediante curvas polinómicas de quinto orden.

Esta serie parece haber concluido en los últimos decenios con una disminución de los aportes pluviométricos y el anuncio de una nueva fase de menor precipitación que acaso pudiera mantenerse durante los próximos años.

El tercero de los grupos aludidos comprende puntos de observación situados en las proximidades o en el propio levante y sudeste peninsular y en la isla de Mallorca. Está formado por las series procedentes de Albacete, Murcia, Palma de Mallorca y Valencia. Sus curvas de ajuste describen una fase de precipitaciones relativamente altas que tuvo lugar entre, al menos, 1870 y principios de la actual centuria, salvo en el caso de Palma de Mallorca, donde no concluyó hasta el trentenio 1931-60. A esta etapa siguió otra de menor pluviometría, patente en los cuatro puntos de observación citados, que parece haber concluido al iniciarse el último trentenio en Albacete y Valencia, donde se observa ya un discreto incremento y una mayor frecuencia de las precipitaciones superiores a las medias, en tanto que esta recuperación no se insinúa en Murcia (Fig. 3) y Palma de Mallorca hasta los últimos años.

Finalmente, la ecuación calculada para Alicante define una curva que sugiere una evolución de las precipitaciones anuales ostensiblemente distinta a la señalada para cualquier otro punto de observación. Permite definir dos etapas de precipitaciones relativamente escasas, la primera de las cuales coincide casi con el primero de los trentenios considerados, en tanto que la segunda comprende el tercero de estos trentenios y los años inmediatamente anteriores y posteriores al mismo, y otras dos etapas con mayores totales pluviométricos que comprenden la mayor parte de los trentenios segundo y cuarto. Una evolución tan discrepante de la definida por las restantes curvas de ajuste, y particularmente por las de puntos no tan alejados como son Murcia y Valencia, resulta de difícil explicación. Sería conveniente disponer de mayor información procedente de puntos próximos a la propia ciudad de Alicante para realizar un estudio más detallado, que permitiera comprobar si posibles cambios en el emplazamiento o el entorno del pluviómetro a lo largo de más de un siglo han incidido o no en semejante evolución.

CONCLUSIÓN.

Los ajustes mediante curvas polinómicas constituyen una técnica útil en el estudio de las series climáticas seculares, particularmente en la definición de períodos o etapas diferenciadas por la cuantía relativa de las precipitaciones. Con el auxilio de paquetes informáticos como el *Statgraphics*, el cálculo de las correspondientes ecuaciones y la propia representación gráfica de las curvas resultan tareas sumamente sencillas. Su aplicación a las más largas series

pluviométricas anuales registradas en la península Ibérica y Baleares ha permitido establecer tres tipos diferentes de evolución secular.

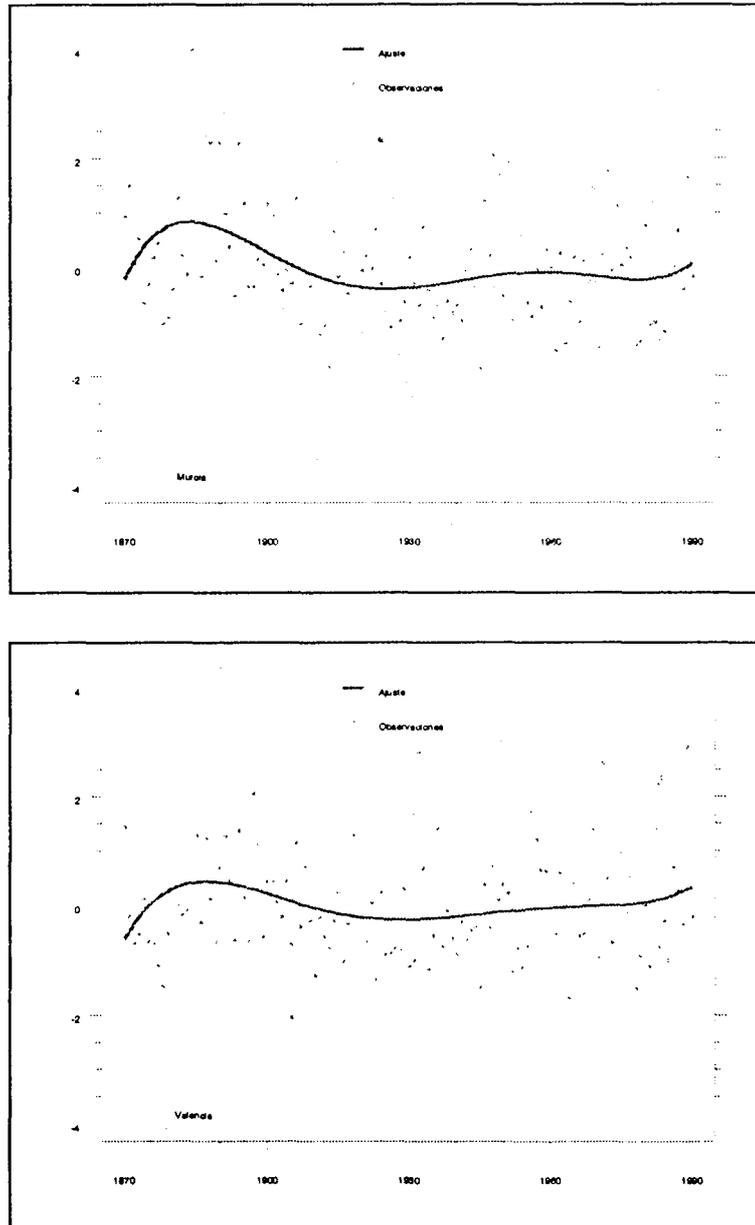


Fig. 3: Evolución secular de las precipitaciones anuales en Murcia y Valencia. Los totales pluviométricos anuales están expresados por sus correspondientes valores tipificados y ajustados mediante curvas polinómicas de quinto orden.

REFERENCIAS.

- BROOKS, C. E. P. y CARRUTHERS, B. (1953): *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*, Her Majesty's Stationery Office, Londres, 412 pp.
- GALÁN GALLEGO, E. y FERNÁNDEZ, F. (1992): "Metodología del análisis temporal y espacial de los elementos climáticos", *V Coloquio de Geografía Cuantitativa*, Univ. Zaragoza, pp. 437-451.
- RASO NADAL, J. M. (1994): "Evolución secular de las precipitaciones anuales en España desde 1870", *Notes de Geografía Física*, 22, pp. 5-24.

Agradecimiento.

Los datos utilizados para la realización del presente trabajo han sido facilitados en soporte informático por el Instituto Nacional de Meteorología con la amabilidad que siempre ha caracterizado a este organismo, al cual nos complace expresar nuestra más sincero reconocimiento y gratitud.