Las precipitaciones de la Cuenca del Ebro

Miguel A. García Vera

Confederación Hidrográfica del Ebro. Pº de Sagasta, nº 24. E-50071 Zaragoza.

Introducción

En la atmósfera se producen fenómenos físicos naturales denominados meteoros que tradicionalmente se agrupan en cinco categorías principales. En primer lugar se encuentran los denominados hidrometeoros, que se relacionan con las partículas de agua, ya sea en estado líquido o sólido. Los litometeoros están vinculados con las partículas sólidas y son la calima, la calima en polvo, humo, ventisca, tempestad de polvo y remolino de polvo. Los meteoros eólicos son aquellos en los que interviene el viento de una forma más decisiva y son la tromba, tornado, turbonadas y ciclones tropicales. Los electrometeoros están relacionados con manifestaciones visibles o audibles de la electricidad atmosférica y son la tormenta, relámpago, trueno, fuego de San Telmo y Aurora Polar. Los fotometeoros son fenómenos luminosos generados por el paso de la luz a través de la atmósfera y son el halo solar, halo lunar, arco iris, irisación en nubes, gloria o corona de Ulloa y espejismos (I.N.M., 2000).

Dentro de los hidrometeoros se diferencian los fenómenos en los que se produce precipitación de agua –entre los que se incluye la lluvia, llovizna, chubasco, nieve y granizo– y otros fenómenos acuosos que no contemplan la precipitación del agua y que son la helada, rocío, escarcha y niebla.

La precipitación es la principal componente del ciclo hidrológico que determina la presencia de agua dulce sobre los continentes. El conoci-

Foto: Miguel A. García Vera

Figura 1. Estación internacional de Canfranc (Huesca) durante un episodio de precipitación nival.

miento de sus pautas de comportamiento espacio-temporal así como de sus características químicas es imprescindible para una adecuada comprensión del medio natural.

La distribución de especies vegetales está condicionada decididamente por la cantidad de precipitación y su distribución a lo largo del año. Un buen ejemplo de su importancia es el caso de la distribución de la trufa negra presentado en el número anterior de esta revista (BURRUEL, 2002). Los caudales de nuestros ríos y manantiales se encuentran determinados de forma primordial por las precipitaciones producidas sobre sus cuencas vertientes. Estos caudales condicionan el establecimiento de la flora y fauna de nuestros ecosistemas hídricos y de ribera, con las importantes implicaciones ambientales que ello tiene. Asociado a la disponibilidad de agua en los ríos se encuentra el reparto de las demandas humanas, aspecto básico en cualquier estudio enfocado hacia la ordenación del territorio.

En esta línea son especialmente importantes los aspectos relacionados con la satisfacción de las demandas o garantía de suministro, que se encuentran íntimamente relacionados con el concepto de periodos secos o sequías. Una de las principales causas de la sequía es la excesiva duración de los periodos secos. Los estudios de avenidas e inundaciones para obras civiles y planeamiento urbanístico y los estudios agronómicos para la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos, entre otros muchos, necesitan del conocimiento de la distribución de las precipitaciones.

La realización de numerosos estudios de tipo hidrológico e hidrogeológico realizados dentro de las funciones asignadas a la Confederación Hidrográfica del Ebro por la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas requiere un manejo muy importante de precipitaciones. El tratamiento de esta información se basa en el mantenimiento de una base de datos de precipitaciones diarias a partir de datos facilitados por el Instituto Nacional de Meteorología (I.N.M.), en el desarrollo y aplicación de técnicas de análisis de estos datos con especial énfasis en aspectos hidrológicos, y en el conocimiento de su variabilidad espacio-temporal y de la calidad química e isotópica.

A finales del año 2000 la red de pluviómetros del I.N.M. en toda la cuenca del Ebro contemplaba un total de 542 estaciones, lo que supone una densidad media de una estación cada 160 km², muy por encima del mínimo recomendado por la Organización Meteorológica Mundial.

Dada la importancia del conocimiento de esta variable climática, en el presente artículo se pre-

Foto: Miguel A. García Vera

Figura 2. Estación 9552O (Bujaraloz Petris; Zaragoza) del INM. que aporta datos de precipitación diaria desde 1973.

senta un resumen de las características generales de la precipitación de la cuenca del Ebro, aportando una descripción general de los métodos para la medida de la precipitación, una caracterización espacial y temporal y, finalmente, realizando una breve introducción a los temas de calidad de la lluvia.

La medición y tratamiento de las precipitaciones

La unidad de medición de la precipitación es el milímetro de altura de agua (mm), que es la altura de la columna de agua obtenida al verter un litro en un metro cuadrado (1 mm = 1 l/m^2).

La medida de la precipitación se realiza con un aparato denominado pluviómetro, que consiste en un gran vaso en cuyo interior se recoge la lluvia. En España es de uso corriente el de tipo Hellman, con boca de 200 cm^2 y colocado a 1,5 metros de altura. Este pluviómetro puede encontrarse aislado (Fig. 2) o formando parte de una estación con medición de otros parámetros climatológicos (Fig. 3). El pluviómetro debe estar alejado de obstáculos que interfieran la caída de la precipitación como edificios o árboles. Las medidas pueden estar afectadas por el viento, que disminuye la cantidad de agua recogida.

Las medidas de precipitación pueden tomarse en periodos largos de hasta meses, y entonces el pluviómetro se denomina totalizador. Este modelo es adecuado para zonas de montaña de acceso difícil. El pluviómetro es de gran capacidad y en el recipiente se añaden sustancias específicas para evitar la evaporación y congelación del agua. En el caso de pluviómetros instalados

Foto: Miguel A. García Vera

Figura 3. Estación termopluviométrica de los Llanos del Hospital (Benasque, Huesca).

con un sistema digital de almacenamiento de datos (*data-logger*) se pueden tomar las medidas en los intervalos de tiempo deseados (normalmente de 15 ó 30 minutos).

Es posible también estimar la precipitación mediante radares meteorológicos de alta resolución. Las medidas por satélite se encuentran en la actualidad en desarrollo aunque la cuantificación de las precipitaciones requiere del uso de una serie de coeficientes de compleja determinación y que condicionan la precisión de los resultados.

Figura 4. Inventario de las estaciones con datos de precipitación del I.N.M. en función del número de años con dato.

Figura 5. Evolución de los datos de precipitación de la cuenca del Ebro en el s. XX (meses completos).

El error de medida en los pluviómetros puede llegar a ser del 20 al 30 % en el caso concreto de que existan fuertes velocidades del viento, mala ubicación del aparato y estar afectados por procesos de intensa evaporación (CUADRAT y PITA, 1997). Estos errores disminuyen notablemente con una adecuada situación y diseño del aparato y con una red de medidas suficientemente densa.

Aunque existen otras fuentes procedentes de la las propias comunidades autónomas y de la C.H.E. (red automática SAIH y red ERHIN de medida de nieve), los datos de precipitación de la cuenca del Ebro proceden fundamentalmente del I.N.M. puesto que uno de los cometidos de este organismo es la gestión del Banco Nacional de Datos Climatológicos y controlar la calidad de los datos (R. D. de 6 de abril de 2001). En diciembre de 2001 existían 12.650.389 datos de precipitación diaria en un total de 1558 estaciones situadas dentro de la cuenca del Ebro (GARCÍA VERA *et al.*, 2002). Ello supone una media de 8.120 datos diarios por estación (22 años completos).

Las estaciones se encuentran distribuidas por toda la cuenca (Fig. 4) aunque es posible que exista un sesgo de la información pluviométrica hacia las cotas más bajas de la cuenca dada la mayor dificultad de acceso en las mayores altitudes. El número de estaciones en funcionamiento a lo largo del s. XX se ha ido incrementando (Fig. 5) destacándose el descenso de datos producido durante el periodo 1932-1938, que no se recupera hasta 1950.

A finales del año 2000 la red de pluviómetros del I.N.M. en toda la cuenca del Ebro contempla un total de 542 estaciones. Para los 85.534 km² de superficie total de la cuenca supone una densidad media de una estación cada 160 km². La Organización Meteorológica Mundial indica que la densidad de estaciones pluviométricas en España se encuentra muy por encima del mínimo recomendado (MIMAM, 2000).

Los datos de precipitación recogidos en los pluviómetros han de ser sometidos a un tratamiento numérico dirigido a asegurar la validez de los datos disponibles. Los tests aplicados se suelen realizar con las series mensuales, estacionales o anuales. De forma sintética, cabe decir que el tratamiento al que se someten los datos consta de las siguientes fases: a) Detección de datos anómalos; a partir de la definición de ciertos criterios estadísticos se eliminan los datos menos fiables; b) relleno de los datos en los periodos en los que no se ha medido, mediante técnicas de comparación con series vecinas; y c) homogeneización de las series mediante la com-

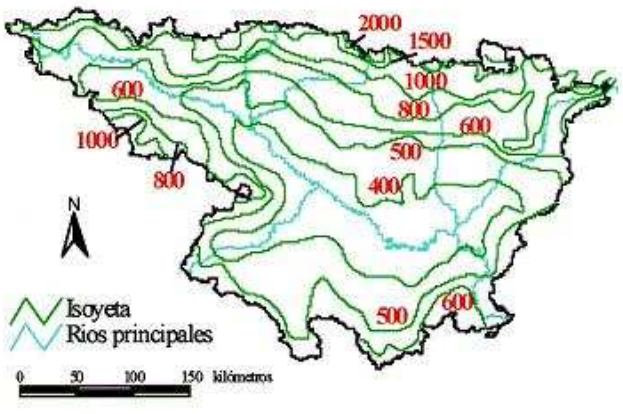

Figura 6. Líneas de igual precipitación media anual en el periodo10/1940-9/1986. Datos tomados de C.H.E. (1993).

Foto: Miguel A. García Vera

Figura 7. Las precipitaciones son las principales responsables del caudal circulante de nuestros ríos.

paración con las más próximas con el objetivo de detectar errores sistemáticos de tipo salto o de cambio de tendencia lineal en algunas de ellas.

Una vez homogeneizadas las series puede ser interesante obtener las precipitaciones medias de determinadas cuencas tales como las cuencas hidrográficas. Estas nuevas series de precipitación se denominan series areales y ponderan los datos de las estaciones disponibles en su entorno. Este tipo de técnicas se han facilitado en los últimos años debido a la aparición de sistemas de información geográfica con métodos de interpolación automática.

Figura 8. Régimen mensual de las precipitaciones en algunas subcuencas distribuidas por la cuenca del Ebro en el periodo 10/1940-9/1986. Datos tomados de C.H.E. (1993).

Caracterización espacial

La precipitación media anual de la cuenca del Ebro en el periodo de 46 años comprendido entre octubre de 1940 y septiembre de 1986 es de 656 mm/año (C.H.E., 1993). El valor mínimo anual corresponde al año hidrológico 10/1949-9/1950 con 480 mm/año, y el máximo anual al año 10/1958-9/1959 con 840 mm/año. Destaca la elevada variabilidad intermensual e interanual que hace frecuente observar largos periodos en los que no se observa precipitación alguna. Este efecto es más propio de invierno y final de otoño en las zonas no montañosas.

La distribución espacial de las precipitaciones medias (Fig. 6) indica valores máximos en las zonas montañosas de los Pirineos centrales con precipitaciones medias anuales mayores que 2.000 mm/año, y valores mínimos en el sector central de la depresión del Ebro con valores en torno a 300 mm/año.

El reparto mensual de la precipitación (Fig. 8) depende de la procedencia de los frentes que generan las precipitaciones, definiéndose tres regímenes mensuales típicos: (atlántico, mediterráneo y mediterráneo continentalizado) con una gran cantidad de estados transicionales entre ellos. En general cabe decir que las precipitaciones se concentran especialmente en las estaciones equinocciales (primavera y otoño). En vera-

no e invierno se registran mínimos pluviométricos, más marcado el estival en el sector occidental, mientras en el oriental el principal es el mínimo de invierno.

El sector occidental de la cuenca presenta un régimen oceánico con precipitaciones bien repartidas durante todos los meses, con un único máximo en los meses de diciembre y enero y mínimo en el mes de julio. La influencia atlántica afecta a los Pirineos, siendo muy clara en la mitad occidental (hasta el río Gállego). También afecta a la zona septentrional del Sistema Ibérico, debilitándose bruscamente desde el Moncayo hacia el Este. Ello provoca que en el sector ibérico central y meridional las precipitaciones sean bastante escasas e irregulares.

El régimen mediterráneo se circunscribe al sector oriental, afectando a la Cordillera Costero Catalana y al extremo sudeste del Sistema Ibérico, sierra que impide su penetración hacia el interior. La cercanía del Mediterráneo permite una abundancia de las precipitaciones, especialmente en otoño. El régimen general viene caracterizado por dos máximos en otoño y primavera y mínimo en invierno y verano.

El sector oriental de los Pirineos presenta un régimen algo más continentalizado que el mediterráneo, con un régimen bastante regular con máximo en primavera y mínimo en invierno.

Evolución temporal de las lluvias

En la actualidad numerosos organismos están investigando el cambio climático producido por el efecto invernadero. Parece claro que este efecto es responsable de la tendencia general al calentamiento de la atmósfera. Sin embargo, no existe aún una opinión claramente definida del efecto del cambio climático en las precipitaciones.

A nadie escapa la trascendencia de esta posible disminución de las precipitaciones en aspectos relacionados con la ordenación del territorio y la planificación hidrológica. Uno de los debates más encendidos que se plantea en la actualidad es la importancia de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos. El estudio detallado de las tendencias de las series de precipitación es, sin duda, uno de los puntos de partida para evaluar este efecto.

El análisis estadístico anual de las 29 series más prolongadas de la cuenca del Ebro (C.H.E., 2001a; García Vera *et al.*, 2001a) con datos anuales desde 1916 hasta 2000 ha permitido

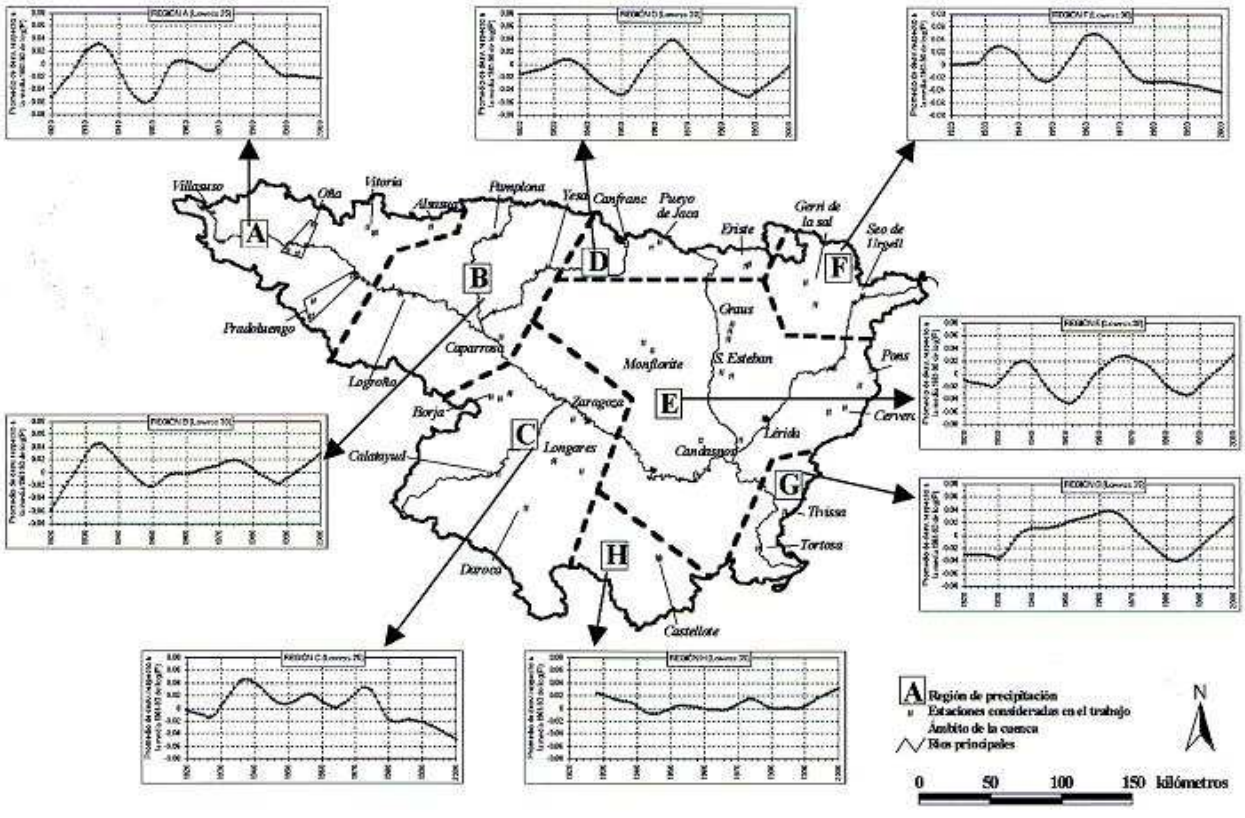

*Figura 9. Tendencia media de la lluvia mediante suavizado «*lowess*» en las distintas regiones diferenciadas en la cuenca del Ebro (C.H.E., 2001a).*

Foto: Miguel A. García Vera

Figura 10. Paisaje después de la lluvia.

diferenciar ocho zonas a partir de un análisis de conglomerados de la evolución temporal de las precipitaciones. Esta evolución temporal se representa en cada zona por una curva obtenida con un método de suavizado denominado «*lowess*» semejante al de las medias móviles (Fig. 9). Las ocho zonas diferenciadas son:

La precipitación media anual de la cuenca del Ebro entre octubre de 1940 y septiembre de 1986 es de 656 mm/año. El valor mínimo anual corresponde al año hidrológico 10/1949-9/1950 con 480 mm/año, y el máximo anual al año 10/1958-9/1959 con 840 mm/año.

- Sector occidental de la cuenca con las regiones A y B.
- Asociada a la influencia el sistema Ibérico se define la región C.
- En la Franja pirenaica se distinguen las regiones D y F.
- En la margen izquierda del río Ebro se define la región E.
- En el área más oriental, la región G.
- En el área más meridional, la región H.

Dentro de la evolución general de todos los grupos destaca la existencia de dos patrones de evolución diferentes. El primero está caracterizado por la presencia de tres máximos relativos en la década de los años 30, 50 y 70 del s. XX y tres mínimos en las décadas de los 40, 60 y 80. Se identifica en el noroeste de la cuenca y la margen derecha asociada al Sistema Ibérico (regiones A, B, C y H). El máximo periodo húmedo se presenta en la década de los años 30 en la región B y C (Navarra media, Rioja Baja y margen derecha del Ebro aragonesa). En las otras regiones del primer patrón no se observan diferencias apreciables entre los máximos de los años 30 y 70.

El segundo patrón de evolución afecta al resto del territorio no incluido en el primer patrón y está caracterizado por la existencia de dos máximos en las décadas de los 30 y 60 siendo el más húmedo el de la década de los 60, y dos mínimos en las décadas de los 40 y 80.

Respecto a los dos periodos secos más grandes (década de los años 40 y 80 del s. XX) en la mayor parte de las regiones son de una magnitud similar, a excepción de la región A (noroeste de la cuenca) con una mayor gravedad del periodo seco de la década de los 40, y las regiones C y G con una mayor importancia del periodo seco en la década de los 80.

Con respecto a la tendencia decreciente desde el máximo de los 60 hasta el final de la serie, en algún momento al final de la década de los 80 se atenúa el descenso o, incluso, en varias regiones se convierte en una fase creciente.

Foto: Miguel A. García Vera

Figura 11. Desierto de los Monegros. El atardecer refresca el ambiente más árido de la cuenca del Ebro.

En resumen, el análisis del prolongado intervalo temporal comprendido entre 1916 y 2000 indica que no hay una evidencia clara para afirmar la existencia de una tendencia general decreciente en las precipitaciones de la cuenca del Ebro. La lluvia sufre oscilaciones dentro de un régimen que cabe calificar como estable.

Lo dicho anteriormente tiene una excepción, que corresponde a la margen derecha aragonesa (región C), donde se observa una tendencia decreciente que se mantiene desde el final de los años 30. Esta tendencia es coherente con la observada en los caudales de los ríos y manantiales, en los niveles piezométricos de los sondeos y en la altura de agua en los humedales como, por ejemplo, la laguna de Gallocanta.

El estudio de tendencias cuyas conclusiones se han presentado en este apartado se está completando en la actualidad con un estudio estacional en el mismo periodo 1916-2000 y con un análisis con un mayor número de estaciones durante la segunda mitad del s. XX.

Tabla I. Valores medios de varios parámetros químicos en el agua de lluvia de la red E.M.E.P.

Estación	Periodo con datos	Prec. mm/a	pH	SO_4	XSO_4	NH_4	NO_3	Na	Mg	Cl	Ca	K	H+	Cond. µS/cm
				mg/l										
Roquetas	1987-98	449	6.36	1.15	1.05	0.44	0.59	1.24	0.28	1.56	1.93	0.20		29.76
Logroño	1988-98	429	5.97	1.15	1.10	0.75	0.40	0.68	0.13	0.80	1.05	0.20		24.57
Irati	1990-98	1068	5.17	0.54	0.51	0.62	0.29	0.43	0.11	0.72	0.52	0.09		14.52
Toledo	1984-98	685	5.63	0.48	0.44	0.19	0.19	0.50	0.08	0.71	0.51	0.09	2.98	13.17

Características químicas del agua de lluvia

Generalmente, al describir las precipitaciones siempre se analizan las variables referentes a la cantidad. Sin embargo, en muy pocas ocasiones se hace referencia a la calidad química del agua de lluvia. El conocimiento de la calidad química de la lluvia es fundamental para muchos estudios hidrológicos y medioambientales. Destaca en la realización de estudios de contaminación atmosférica, para el estudio de la calidad química de las aguas superficiales y subterráneas y en algunos casos es una información básica para la aplicación de metodologías diversas, como puede ser la evaluación de la recarga en acuíferos mediante balances de masa con el ión cloruro. Una recopilación teórica sobre el comportamiento químico del agua de lluvia, el muestreo en campo y la química del agua de lluvia en la cuenca del Ebro puede consultarse en C.H.E. (2001b).

Cuando se hace referencia a la composición química del agua de lluvia es necesario diferenciar entre *deposición* húmeda y *deposición* seca. La *deposición* húmeda es la fracción de la *deposición* atmosférica contenida en la precipitación, mientras que la *deposición* seca es la fracción depositada durante el tiempo de no existencia de precipitación por procesos de sedimentación, impacto y adsorción.

Existe abundante información ligada al conocimiento de la calidad del aire. La preocupación en los países más industrializados (Europa y América del Norte, especialmente) por la contaminación atmosférica y su transmisión de unos países a otros ha hecho que existan unas complejas redes de monitorización de la calidad del aire. Estas redes priorizan, generalmente, los iones como los sulfatos ligados a la lluvia ácida, los radicales amonio ligados a fenómenos de eutrofización o los óxidos de nitrógeno responsables indirectos del espectacular aumento del ozono atmosférico.

Para el conocimiento de las características químicas de la deposición húmeda de las aguas de la cuenca del Ebro destacan los aportados por la red E.M.E.P. (Programa cooperativo para la vigilancia y evaluación de la transmisión de largo alcance de la contaminación del aire en Europa). El muestreo consiste en un embudo con un depósito receptor. El embudo está cubierto por una capa protectora que se abre cuando la precipitación es mayor que 0,05 mm/hora. En su sitio *web* (E.M.E.P., 2001) se proporciona información a nivel de evento desde 1984. Los datos son recogidos por el I.N.M. y analizados en el Departamento de análisis ambiental del Hospital Carlos III de Madrid.

La información de la calidad del agua de lluvia relativa a la cuenca del Ebro es aportada por