

# *Análisis proyectivo de la hidrología de la cuenca del Esla*

Por

ADOLFO URIBELARREA

La Fundación Joaquín Costa concertó una investigación asociada con Iberduero, S. A., para hacer una aplicación del método PLUMA al análisis proyectivo de la hidrología de la cuenca del Esla.

Esta investigación iniciada a principios de 1985 se ha llevado a cabo en dos fases sucesivas: la primera dedicada al estudio de las series históricas disponibles de la pluviometría y la hidrología de la región geográfica, y la segunda enfocada a la elaboración de las funciones y parámetros estadísticos para hacer proyecciones a medio y largo plazo.

Existe una estrecha vinculación entre la pluviometría y el régimen hidrológico de una cuenca fluvial. El nexo es, sin embargo, complejo por influir en él las condiciones geográficas y geológicas de la cuenca, el ritmo de la lluvia, la evolución de la meteorología y, en particular, de la temperatura e insolación eficaz. Todos los factores meteorológicos guardan entre sí una interdependencia que determina las características climáticas de la región. Por ello, es posible hacer una evaluación aproximada de la incidencia global del sistema meteorológico en la modulación del régimen fluvial, que tome como variable única la pluviometría. Los factores geográficos y geológicos son de carácter permanente y susceptibles de un análisis estadístico para su expresión paramétrica.

Hay una tercera influencia de carácter social relativa al régimen de administración de las reservas del agua embalsada, cuando se trata de cuencas fluviales con un volumen significativo de regulación artificial. Si no se dispone de los datos estadísticos de los caudales corregidos por este efecto, que altera el régimen natural, se puede introducir una notable perturbación en el análisis funcional que dificulte la deducción de las funciones de transformación pluviometría-hidrología.

En términos muy simplificados, el balance hídrico en cada situación temporal, puede resumirse por la siguiente igualdad:

$$P(t) = A(t) + V(t) \pm R$$

La cantidad de agua atribuible a la *pluviometría*  $P(t)$  ha de ser igual al volumen de *agua deslizada*  $A(t)$ , más el volumen de agua *perdida por evaporación*  $V(t)$ , más o menos el término de *regulación*  $R$ , que puede ser positivo o negativo.

La regulación es de origen natural o artificial. La primera obedece a causas climáticas y geológicas. El subsuelo retiene agua, la acumula circunstancialmente, colma los acuíferos y la devuelve después al cauce en una cota inferior. Por otra parte, la nieve se mantiene durante el invierno en la montaña y se conserva hasta el deshielo en primavera o principios del verano. La regulación artificial es de naturaleza social y depende de los criterios aplicados a la administración de los volúmenes de agua embalsados.

En la perspectiva histórica del suceso, cuando se dispone de series homogéneas largas, los mecanismos naturales de la regulación quedan compensados en las diferentes situaciones de la pluviometría de alimentación que se presenta a lo largo del tiempo, de tal modo que el análisis estadístico permite deducir una funcionalidad aproximada:

$$A = F(P)$$

entre el régimen de aportaciones y la pluviometría. Es este problema la base concreta que debe investigarse en cada cuenca fluvial para la aplicación del método proyectivo.

La investigación realizada ha considerado los siguientes observatorios pluviométricos.

- |            |                |
|------------|----------------|
| 1. Zamora. | 4. Bretó.      |
| 2. León.   | 5. Navatejera. |
| 3. Orense. | 6. Riaño.      |

Salvo Orense, los otros observatorios corresponden a la cuenca del Esla, caracterizada por una pluviometría diversa, con unos mínimos del orden de 400 mm al año, que corresponden a la región baja, en las provincias de Zamora y Palencia y unos máximos de 1.000 mm en la región alta. Los valores anteriores se refieren a la media anual. Más de la mitad de la cuenca corresponde a los niveles inferiores de lluvia. La otra mitad, de carácter montañoso, tiene niveles crecientes de 500 a 1.000. El valor medio anual es del orden de 730 mm.

En los años 1952 a 1957 se realizó una campaña intensiva para medir con precisión el volumen de lluvia recogido por la cuenca, a fin de que sirviera de referencia para futuras evaluaciones, utilizando un número reducido de observatorios.

La aplicación de una fórmula paramétrica referida al período 1951-1984, da una pluviometría media de 748 mm. En el estudio se han comparado los datos recogidos en los 6 observatorios, se han calculado las funciones de evolución cronológica y se han examinado su paralelismo y sus discrepancias.

Aunque la pluviometría difiere en cada observatorio en virtud de su altitud y entorno medio, los ritmos y las oscilaciones son muy semejantes, y ello permite simplificar el problema de la proyección a largo plazo, al propio tiempo que confirma el carácter oscilante de la meteorología.

Para hacer más homogéneas las comparaciones se han normalizado los valores de las secuencias pluviométricas, haciendo igual a 1, el nivel pluviométrico máximo de cada observatorio. De esta forma, puede compararse directamente en un mismo gráfico las funciones de evolución de distintos observatorios.

En el estudio se han considerado las funciones de transformación que permiten deducir la hidrología, en base a un conocimiento previo de la pluviometría. En las proyecciones a corto plazo, 1, 2 ó 3 meses, la diferencia de fase existente en los ritmos permite hacer proyecciones con los valores conocidos de la pluviometría. En las proyecciones a largo plazo de 6 meses a 1 año, esto no es posible, y entonces es necesario recurrir al método PLUMA para formular proyecciones de los niveles pluviométricos y con ellas calcular los valores futuros de la hidrología.

Se ha comparado el comportamiento de las funciones pluviométricas de los distintos observatorios con la función hidrológica del Esla a lo largo de un período de 20 años. Los mejores resultados corresponden a los observatorios de Bretó y Zamora, situados en la región baja de la cuenca. Serían mejores todavía si en vez de utilizar los caudales medidos en Bretó, como base de la investigación, se hubiesen aplicado los caudales naturales, o sea, los anteriores corregidos de los volúmenes artificiales retenidos o entregados por los embalses construidos.

La parte final del trabajo está dedicada a la proyección de los distintos observatorios, por aplicación del método PLUMA. Utilizando los datos disponibles hasta diciembre de 1984 se han realizado proyecciones a todo el año 1985 en los 6 observatorios. Estos valores, apli-

cados a las funciones de transformación deducidas han permitido obtener diversas proyecciones de la hidrología del Esla en 1985. Cuando se disponga de los datos hidrológicos y pluviométricos de 1985, se podrá comprobar el grado de aproximación obtenido por aplicación del método PLUMA a la cuenca del Esla.

El método PLUMA, desarrollado por la Fundación Joaquín Costa en los años 1983 y 1984, está basado en el análisis estadístico de las secuencias pluviométricas definidas por el nivel de lluvia, correspondiente a 12 meses consecutivos y considerados como variables cronológicas de una función oscilante. Su fundamento reside en la existencia de grandes oscilaciones en la termodinámica de la atmósfera, debido a fenómenos de carácter acumulativo hiperanual.

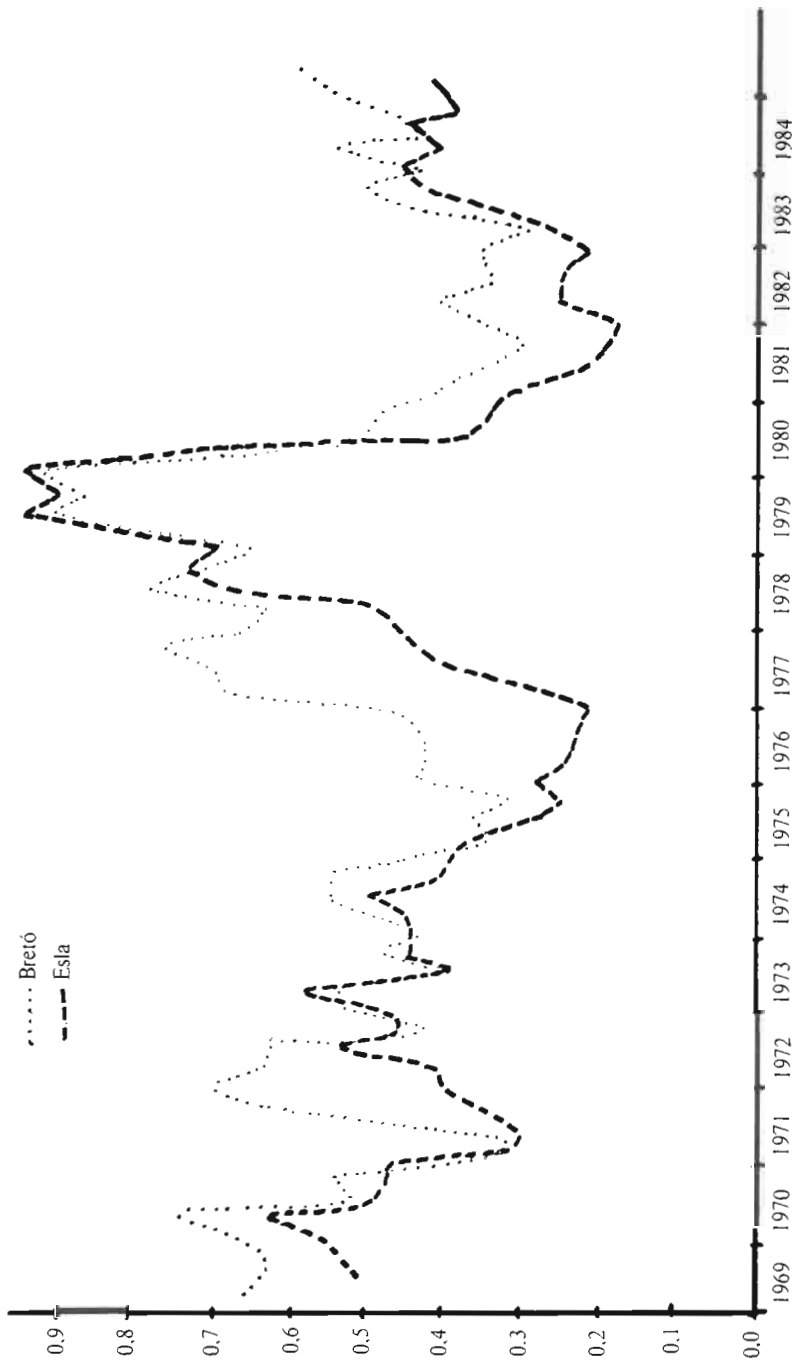
La incidencia prolongada de la radiación solar aumenta la cantidad de vapor de agua en las capas bajas de la atmósfera. A medida que esto ocurre, crece el índice de humedad del aire, aumenta la nubosidad y, lentamente, va perdiendo transparencia la atmósfera. Disminuye el ritmo de formación de vapor, mientras se hacen más favorables las condiciones para la condensación y la formación de lluvia.

La observación sistemática de la meteorología pone de manifiesto un ritmo oscilante de la pluviometría y de otros parámetros climáticos conexos con la actividad solar. En base a la inercia y duración de la oscilación atmosférica, el método PLUMA ha elaborado algoritmos para formular proyecciones a largo plazo, complementando la metodología actual de carácter termodinámico, para el seguimiento a muy corto plazo del tiempo.

Como las grandes oscilaciones van acompañadas o perturbadas por otras de menor amplitud y más breves, la evolución aparece enmascarada y así, cuando se representa la función cronológica gráficamente, aparece una curva de crestas recortadas cuyo análisis, a través de las técnicas estadísticas, permite deducir los grandes ritmos del sistema meteorológico, en una región o en un punto concreto geográfico.

En el gráfico adjunto se presenta, a título ilustrativo, la comparación de los ritmos de la hidrología del Esla y la pluviometría media en Bretó. Los valores de las secuencias pluviométricas de Bretó y las secuencias líquidas del Esla, han sido normalizadas, haciendo los máximos en cada una de ellas igual a 1. La evolución cronológica se extiende desde los años 1979 a 1984. Se observa una gran oscilación entre los años 1975 y 1981, con unos valores máximos hacia 1979.

EVOLUCION DE LAS SECUENCIAS LIQUIDAS NORMALIZADAS-ESLA Y DE LAS SECUENCIAS  
PLUVIOMETRICAS NORMALIZADAS-BRETÓ



La proyección del régimen hidrológico puede plantearse directamente sobre las funciones cronológicas de las secuencias líquidas, o bien, indirectamente, relacionándolo con la pluviometría y estableciendo una previa proyección de los niveles de lluvia. Aunque la primera vía parece más sencilla, puesto que abrevia el estudio analítico, resulta más practicable la segunda por apoyarse en datos estadísticos más precisos, más diversos y muy directamente relacionados con el fenómeno natural.

La serie de caudales registrados en una estación de aforos no suele ser muy prolongada y, por otra parte, está influida por la regulación estacional e hiperanual a través de un sistema de embalses que se han ido construyendo en el tiempo. Esta circunstancia introduce una causa frecuente de error en la modulación de las funciones estadísticas, cuando no se ha podido corregir y transformarla en la serie histórica de los caudales naturales.

El análisis estadístico de la pluviometría, ofrece las siguientes ventajas objetivas:

1. La estadística de la lluvia es muy fácil de practicar.
2. Se tiene una larga experiencia histórica en la medida del nivel de lluvia.
3. Existe una red geográfica nacional de observatorios pluviométricos.
4. Los ritmos de la meteorología son muy conexos y afectan a grandes áreas o regiones naturales.

Por todo ello resulta preferible plantear el método proyectivo a largo plazo sobre la base de una previa deducción de la pluviometría que permita realizar las proyecciones al tiempo futuro y estudiar complementariamente una función de transformación que nos permita la evaluación de las *secuencias líquidas*:

$$SL(t) = F[P(t - h)]$$

La función de transformación debe interpretarse con la mayor aproximación posible al balance hídrico de la cuenca en cada situación temporal. El *parámetro h* define la diferencia de fase entre el régimen hidrológico y el régimen pluviométrico.

En el análisis proyectivo a largo plazo no es aconsejable introducir la variable térmica, que influye notablemente en la evaporación y en consecuencia en la cantidad de agua deslizada por el cauce, porque ello obligaría a hacer una previa proyección de la evolución de las tem-

peraturas, lo que podría introducir mayor incertidumbre en las previsiones. En el análisis proyectivo a corto plazo, sí puede ser útil evaluar la influencia térmica, puesto que se opera con una diferencia de fase de uno o varios meses, y se dispone de los datos meteorológicos que modulan el régimen fluvial.

El objeto principal de la investigación llevada a cabo ha sido el análisis a largo plazo, apoyándose en las proyecciones de la pluviometría obtenidas por aplicación del método PLUMA y en la determinación de las funciones de transformación, ajustadas a la naturaleza de la cuenca, y deducidas por los datos estadísticos disponibles y principalmente por la comparación de las funciones hidrológicas y pluviométricas en el período 1964-1984.

