

PRECIPITACIONES TORRENCIALES EN ESPAÑA

JAVIER MARTÍN VIDE*

De un modo estricto –casi etimológico–, por precipitaciones torrenciales debe entenderse aquellas capaces de producir corrientes de agua rápidas, impetuosas y no duraderas: aguas torrenciales, al fin y al cabo. Son de este tipo, sin duda, los grandes aguaceros que han ocasionado avenidas e inundaciones famosas en España, pero igualmente otras precipitaciones menos sobresalientes en cuanto al total hídrico recibido, pero también intensas, de carácter torrencial. En conjunto, para el territorio español, es tan amplio y variado el tema, por el número de casos, sus magnitudes, las características geográficas y, específicamente, meteorológicas e hidrológicas que concurren en ellas y los efectos que conllevan, que resulta obligado realizar, en cualquier presentación resumida, una selección de aspectos, métodos y casos o ejemplos. Así, con este criterio, el presente trabajo se articula alrededor de tres bloques temáticos: (A) el comentario climatológico de algunos procedimientos cuantitativos para el análisis de las cantidades de precipitación, en especial, de las más altas; (B) la precisión del concepto de «gota fría» y de sus efectos, así como la presentación de otras situaciones sinópticas causantes de precipitaciones intensas; y (C) una primera aplicación de la Teoría de Catástrofes al caso de una catástrofe de origen pluviométrico. La exposición de los dos primeros bloques temáticos se ordena y concreta con el material seleccionado en los apéndices.

A. METODOS CUANTITATIVOS PARA EL ANALISIS DE LAS CANTIDADES DE PRECIPITACION

Un catálogo exhaustivo de métodos cuantitativos, estadísticos y probabilísticos, útiles para el análisis de las cantidades de precipitación, sean anuales, mensuales, diarias y horarias, daría lugar hoy a un

* Departamento Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. UNIVERSIDAD DE BARCELONA.

voluminoso tratado. Este comprendería desde los procedimientos más simples de la Estadística descriptiva, como los relativos a la distribución de frecuencias empíricas, hasta otros más sofisticados, como los procesos estocásticos markovianos, los análisis armónicos, etc. De cara al estudio de las precipitaciones torrenciales, algunos de ellos son especialmente recomendables. Aquí, se comenta (1) un tratamiento relativo a la llamada irregularidad de la precipitación diaria, (2) el proceso estocástico de la cadena de Markov de primer orden y otro procedimiento empírico, en cuanto al análisis de la persistencia de la precipitación y (3) los cálculos usuales de los períodos de retorno de las precipitaciones máximas en ciertos intervalos de tiempo.

A.1. *El análisis de la irregularidad de la precipitación diaria*

Sabido es que, en algunas áreas españolas de pluviometría modesta en cuanto al total anual, el aporte relativo, y también absoluto, de unos pocos días de precipitación al año puede llegar a ser muy destacado. El análisis cuantitativo de este hecho permite caracterizar algunas de las precipitaciones torrenciales y evaluarlas de un modo relativo, en el marco pluviométrico definido por el conjunto de los aportes diarios. El procedimiento cuantitativo empleado para tal fin se sintetiza en el apéndice 1. Básicamente, se trata de calcular los pares de porcentajes constituidos por el número acumulado de días de precipitación respecto al total de días de precipitación, Σn_i (%), y la correspondiente cantidad acumulada con respecto a la cantidad total, ΣP_i (%), una vez clasificados los días de precipitación en clases. En función de la mayor o menor separación de la poligonal que definen los pares con respecto a la bisectriz, o recta de equidistribución, se habla de mayor o menor irregularidad de la precipitación diaria, respectivamente. Las poligonales pueden ajustarse bien mediante curvas exponenciales del tipo $y = Axe^{bx}$, siendo A y b dos constantes, por el procedimiento de los mínimos cuadrados. Sobre ellos, por medio de un sencillo índice puede evaluarse, numéricamente, la irregularidad. Del mismo modo, con las curvas exponenciales pueden obtenerse los aportes que, sobre la cantidad total de precipitación —o aportes relativos—, provee un cierto porcentaje de los días más lluviosos. Para el litoral mediterráneo de la Península Ibérica, sólo la cuarta parte de los días lluviosos —pero los más lluviosos— llega a suministrar más del 70 % del total anual, a excepción del tramo al sur de Málaga. En el litoral valenciano, ese 25 % de los días aporta más de las tres cuartas partes de la cantidad media anual. Nótese la importancia climática de este hecho, por el peso decisivo que en la pluviometría anual conlleva la aparición o no de unos pocos días con altas cantidades. No es raro, por ejemplo, encontrar en algunos observatorios y años que una simple cantidad diaria suponga más de la tercera parte, y aún más, del promedio anual.

A.2. *La persistencia de la precipitación diaria*

Aunque en un principio la persistencia de los días con precipitación no está directamente relacionada con las precipitaciones intensas, sí que deben resaltarse al menos dos hechos que justifican su análisis probabilístico en el tema de las precipitaciones torrenciales. Por una parte, la persistencia de los grandes aguaceros y de otros no tan cuantiosos puede agravar notablemente la torrencialidad de las precipitaciones y las crecidas y avenidas fluviales. Por otra, se comprueba en general, en los casos estudiados en España, que a mayor cantidad de precipitación caída en un día mayor es la probabilidad cuantitativo de análisis de la persistencia de los días con precipitación, en cuanto a la duración de las secuencias de días lluviosos, es el modelo o proceso estocástico de las cadenas de Markov. La cadena de Markov de primer orden, homogénea, de tiempo discreto y de dos estados ajusta muy notablemente, en la mayoría de los casos, las frecuencias empíricas de aparición de rachas lluviosas que duren exactamente un cierto número de días. La simplicidad formal del modelo markoviano de primer orden, y, evidentemente, su propia bondad, lo convierte en uno de los más útiles de cara a ese propósito y a otros afines. El número ya apreciable de estudios e investigaciones sobre la persistencia de los días con y sin precipitación en España mediante la cadena de Markov avallan lo anterior (DOMÍNGUEZ, 1973; BURGUEÑO, 1981; MARTÍN VIDE, 1982; PEREZ *et al.*, 1984, 1985; etc.). En el apéndice 2 se presenta la expresión que suministra la cadena de Markov de primer orden para el cálculo de la probabilidad de que una secuencia lluviosa dure exactamente n días, junto con los valores así hallados y los observados para un período de treinta años en el observatorio de Alicante (Ciudad Jardín). Nótese el buen ajuste entre los correspondientes valores.

Empíricamente, a lo largo del litoral mediterráneo peninsular, se comprueba —como se aprecia en el apéndice 2— que, con una clasificación de las cantidades de precipitación en cuatro categorías, se verifica, en general, que la probabilidad de aparición de un día con precipitación después de un día en que se registró una cantidad elevada es superior a la misma probabilidad en el caso en que en el primer día la cantidad medida fuera pequeña. Es de resaltar la importancia que pueden tener estos resultados de cara a la prognosis meteorológica, resultados tales como por ejemplo, que en Tarifa tras un día con una precipitación superior a 15,0 mm. la probabilidad de que siga lloviendo el día siguiente supera el 75%.

A.3. *La intensidad de la precipitación diaria y horaria*

La intensidad de la precipitación, sea en 24 horas y, sobre todo, en intervalos horarios menores, es el parámetro climatológico que mejor caracteriza la torrencialidad de los chubascos. El tratamiento estadísti-

co ha solido consistir en el cálculo de las cantidades máximas esperadas, en esos intervalos de tiempo, para diferentes períodos de retorno en años. El modelo probabilístico más utilizado con tal objetivo es el de las distribuciones de probabilidad de máximos, entre ellas, y muy especialmente en el tema de estudio, la distribución de máximos de Gumbel. En el apéndice 3 se presentan tres ejemplos de empleo de este procedimiento. En primer lugar, un método de ajuste gráfico, por medio de la distribución de Gumbel I, de las cantidades máximas diarias en un año, para así determinar directamente el período de retorno de una cantidad de 139,2 mm., registrada recientemente —el 4 de octubre de 1987—, en Barcelona, lo que da un período de recurrencia de 45 años. En promedio, pues, hay que esperar que tan alto valor diario se dé una vez casi cada medio siglo. En segundo lugar, para diferentes observatorios tinerfeños se muestran, gráficamente, las cantidades diarias máximas a alcanzar en distintos períodos de retorno, halladas también por la distribución de Gumbel. Nótese el acusado contraste entre unos puntos y otros, relacionado, en parte, con la agravación orográfica de las precipitaciones copiosas. En tercer lugar, se representan las isoyetas correspondientes a precipitaciones máximas esperadas en un día, para períodos de retorno de 10 y 50 años, y en una hora, para 10 años, calculados, asimismo, por la distribución de Gumbel, en la provincia de Cáceres y en las proximidades del cabo de la Nao. Se pone así en comparación la mitad norte de Extremadura y uno de los rincones españoles con mayor torrencialidad de las precipitaciones, como es el extremo nororiental de la provincia de Alicante. Allí, la proximidad del Mediterráneo, la posición al sur del golfo de Valencia, la disposición de la costa, ante los flujos causados por las depresiones del mar Balear y otros de componente este, y el eje orográfico que marcan las cordilleras Béticas han de influir en sus altos valores. Debe señalarse, no obstante, que en las sierras del sistema Central que marcan el límite septentrional de Extremadura hay que esperar valores notablemente altos, de modo que no son sólo las tierras españolas más cercanas al Mediterráneo las que se ven sometidas al ímpetu de las precipitaciones torrenciales, sino, en una u otra ocasión, buena parte del país.

Por último, en el final del apéndice 2, se plasma uno de los resultados de una reciente investigación basada en registros de un pluviógrafo de intensidades, de 49 años, situado en las cercanías del núcleo urbano de Barcelona. Allí, las intensidades muy altas, superiores a 150 mm./hora, se producen sobre todo en los meses de junio a noviembre, en la segunda parte del día y en algunos momentos de la madrugada. Como resultado curioso, en la capital catalana tales intensidades se dan, en promedio, durante algo más de 5 minutos al año, y las que rebasan los 254 mm./hora, verdaderos diluvios —cada minuto se reciben más de 4 litros de agua por metro cuadrado—, unos 32 segundos al año.

B. LA «GOTA FRÍA» Y OTRAS SITUACIONES SINÓPTICAS CAUSANTES DE PRECIPITACIONES TORRENCIALES

El concepto de «gota fría» o «gota de aire frío» exige ciertas precisiones para evitar el uso incorrecto de tan popular expresión, por parte no sólo del gran público sino también de los diferentes investigadores. Algunos de estos tienden a rechazar, sin duda influenciados por la confusión popular que el uso de una expresión tan explícita ha creado. Por otra parte, hay que descartar que las «gotas frías» sean siempre causantes de grandes precipitaciones, e incluso inundaciones, del mismo modo que existen otras situaciones sinópticas que pueden producir grandes aguaceros.

B.1. *El concepto de «gota fría» y sus repercusiones pluviométricas*

Basta seguir asiduamente los medios de comunicación u oír las conversaciones del gran público en tiempo de fuertes precipitaciones para advertir la especial atención informativa que merecen las «gotas frías» y su gran popularidad. Este hecho es explicable, en cierta medida, por lo acabada y explícita que resulta la conocida asociación de los términos gota y fría. El concepto de «gota fría» fue introducido por algunos meteorólogos alemanes, entre ellos Scherhag, quien la definió por primera vez, a finales de los años treinta, como «una marcada depresión inexistente en el suelo y sólo apreciable en altura, en cuya parte central se encuentra el aire más frío», y la nominó con la palabra *Kaltlufttropfen*. En consecuencia, según esta primera definición, una «gota fría» es una borrasca fría en altura sin reflejo en el mapa del tiempo de superficie. A partir de aquí, algunos investigadores asimilaron erróneamente este tipo de depresión a una borrasca fría, es decir, una borrasca que ocupa gran parte del espesor troposférico desde el mismo suelo. Tampoco hace falta restringir la definición inicial, como han hecho otros estudiosos, añadiendo que la «gota fría» va asociada a un anticiclón en superficie. Unos criterios definidores de «gota fría», en la línea de Scherhag, son: (1) una depresión cerrada en la troposfera media o alta, que puede concretarse en que exista siempre al menos una isohipsa cerrada en 500 hPa con altitudes decrecientes hacia su interior; (2) un mínimo de temperatura –o embolsamiento de aire relativamente frío– más o menos coincidente con la depresión, para lo que deben darse en ella temperaturas más bajas –de unos 4°C o más– que en los alrededores, en las capas medias o altas troposféricas; y (3) un campo bórico en superficie no ciclónico o, por lo menos, con una circulación ciclónica mucho menos pronunciada que en altura (en las primeras fases de desarrollo no suele detectarse circulación ciclónica en superficie). En el estudio más completo sobre «gotas frías» realizado últimamente en España (LLASAT, 1987) su autora, que, a contracorriente de la tendencia actual, sigue defendiendo, justificadamente, la denomi-

nación de «gota fría», añade una condición más: que en la topografía relativa 500/1000 hPa exista al menos una isolínea de espesor cerrada.

Sobre el origen de las «gotas frías», en el apéndice 4 se presenta un esquema y un caso real de tal proceso, que consiste en el estrangulamiento de un surco o meandro frío de la corriente general del oeste de la alta troposfera (a menudo, con las características de corriente en chorro) que aísla aire frío, procedente de altas latitudes, en el seno del aire más cálido y meridional, presentando el conjunto circulación ciclónica. Este origen, ya clásico (PALMEN, 1949), admite dos variedades, ejemplificadas mediante dos casos reales, también en el apéndice 4: que el surco sea meridiano –lo más frecuente– (ver el caso del 14 de octubre de 1957) o que presente una disposición zonal (ver el del 25 de marzo de 1982). La definición dada de «gota fría» obligaría a admitir como tal a una borrasca que habiéndose rellenado en superficie permaneciera aún en niveles altos. Pero es razonable excluirla, si está en vías de desaparición. Así, el origen mencionado constituye una condición más –la cuarta– para precisar su definición. Por otra parte, en el transcurso de su evolución las «gotas frías» suelen alcanzar reflejo en superficie, e incluso pueden tener hasta apariencia frontal, con la presencia de una espiral nubosa. En todo caso, la depresión deja de ser una «gota fría» en el momento en que la circulación ciclónica en altura no sea mucho más marcada que en superficie, ya que no se cumpliría la tercera condición de la definición.

Acerca de las repercusiones pluviométricas que comportan las «gotas frías» resulta falso, como han puesto en evidencia ya los análisis de muchos casos, que toda perturbación de este tipo dé lugar a chubascos intensos. Con cierta frecuencia, por ejemplo, se individualiza o se sitúa sobre el golfo de Cádiz, o en sus proximidades, una «gota fría» sin manifestaciones pluviométricas dignas de reseñar. En otros casos, por el contrario, sí que se ve acompañada por fuertes aguaceros. Pero de nuevo conviene precisar que tales precipitaciones casi nunca se dan bajo el núcleo de la depresión, sino en su borde de ataque (MEDINA, 1976), o a levante de él. Así, en el apéndice 5, se presenta, simplificada, la distribución espacial de los centros de las «gotas frías» detectadas por LLASAT (1987) durante diez años. La escasísima frecuencia que corresponde a la mitad oriental peninsular, especialmente en la vertiente mediterránea comprendida entre el río Ebro y Almería, contrasta notablemente con los aguaceros más importantes producidos por las «gotas», precisamente en esa área. La propia «gota fría» de octubre de 1957, causante de las trágicas inundaciones de la cuenca del río Tura, es un buen ejemplo de lo precedente.

B.2. *Otras situaciones sinópticas causantes de precipitaciones torrenciales*

El análisis sinóptico detallado de las situaciones atmosféricas que han causado precipitaciones torrenciales en los últimos años permite afirmar que un número importante de ellas no tienen como origen una «gota

fría». Existen otras situaciones sinópticas capaces, a veces, de desencadenar chubascos de elevada intensidad, como son las borrascas frías, los frentes fríos del oeste asociados a una vaguada acusada en altura y algunas perturbaciones mesoescálicas. En el apéndice 5 se presentan sendos ejemplos de borrasca fría y de frente frío más vaguada causantes de fuertes aguaceros. Los mapas del tiempo del 7 de noviembre de 1982 muestran una profunda borrasca fría al noroeste peninsular, que fue la causante de las graves inundaciones del Pirineo catalán y oscense. Esta situación sinóptica no admite comparación con una «gota fría», aunque los efectos pluviométricos fueron de parecida magnitud a los de las «gotas» más activas. Los mapas del tiempo del 4 de octubre de 1979 son un ejemplo de la existencia de una vaguada, con eje dispuesto aproximadamente en dirección meridiana, que atraviesa la Península Ibérica de poniente a levante, siendo precedido a no gran distancia por un frente frío cuya traza es sensiblemente paralela al eje de la vaguada (en superficie la configuración es parecida a la situación en *M* de GARCIA DE PEDRAZA, 1983). El caso presentado tuvo repercusiones pluviométricas aparatosas en la ciudad de Barcelona, como ha ocurrido otras veces con una situación de este tipo (MARTIN VIDE, en prensa).

C. *LA TEORIA DE CATASTROFES Y LAS CATASTROFES NATURALES*

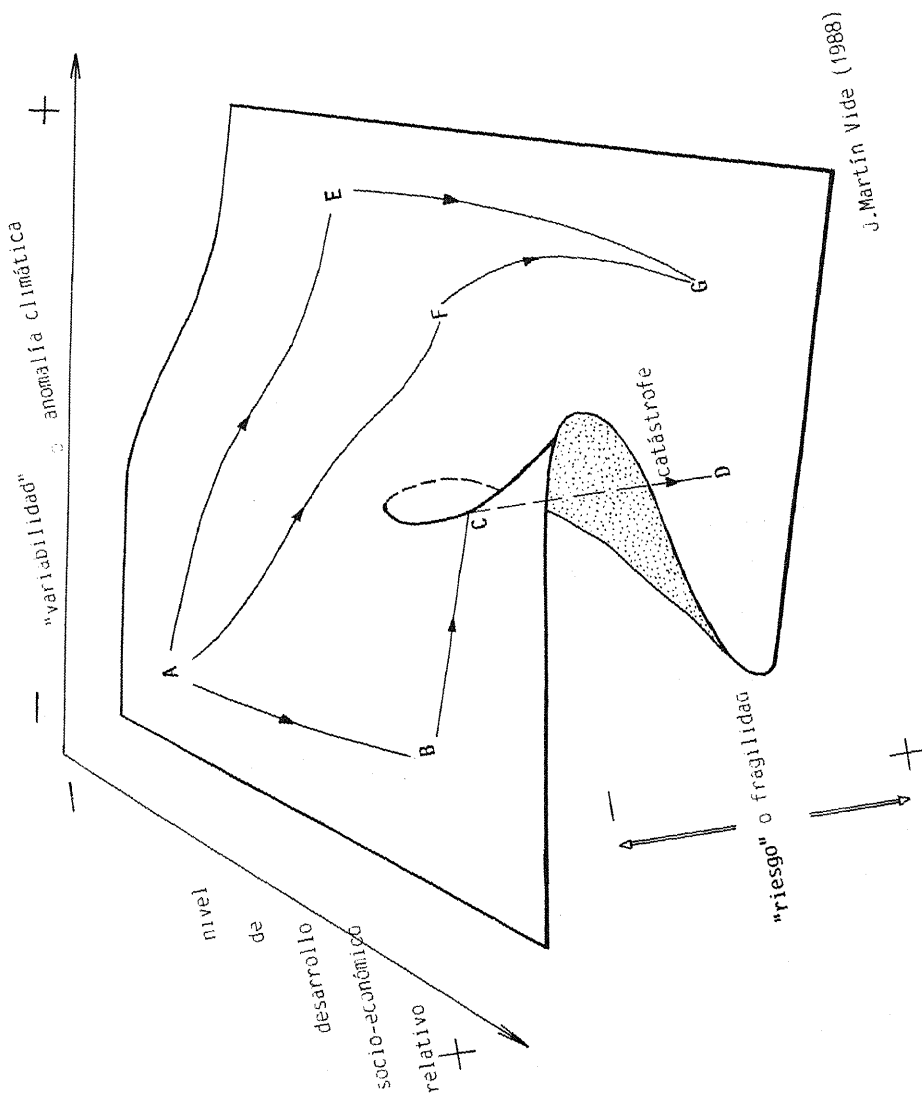
La Teoría de Catástrofes de René Thom es una teoría matemática cualitativa que estudia singularidades, es decir, propiedades de las discontinuidades y bifurcaciones. Aunque mucho más rica en aplicaciones que las que estrictamente parece sugerir su denominación, puede ser usada, de todos modos, en lo que en lenguaje común se entiende por catástrofes, y, entre ellas, en las catástrofes naturales. En el campo geográfico se encuentran algunas aplicaciones a lo largo de la última década en el mundo anglosajón y algunas otras, prácticamente desconocidas en España (WAGSTAFF, 1978; BAKER, 1979; CASETTI, 1981; MACLACHLAN, 1981; VINING, 1982; etc.). El lector puede beber en las fuentes de esta teoría en las obras de THOM (1972), ZEEMAN (1972-1977) o en la buena obra, en castellano, de SAUNDERS (1983).

A continuación se presenta una aplicación de la Teoría de Catástrofes al caso de una catástrofe de origen climático, y concretamente pluviométrico, como es el caso de la grave sequía del Sahel de los años setenta y ochenta. Para ello, podemos utilizar como modelo la catástrofe en cúspide o singularidad de Riemann-Hugoniot. Su superficie de equilibrio tiene la forma representada en la figura. Sea un primer factor de control la «variabilidad» climática, entendida como anomalía en los valores de un parámetro climático, en este caso la precipitación

anual. Y sea el segundo factor de control el nivel de desarrollo socio-económico relativo de una determinada sociedad o comunidad humana. Los incrementos relativos de los factores de control se representan mediante desplazamientos en los correspondientes ejes, de $-$ a $+$. La conducta del sistema constituido por la comunidad humana y el medio atmosférico y natural que la envuelve quedará reflejada mediante los valores relativos de un «riesgo» o fragilidad del sistema, representado en un eje aproximadamente perpendicular a la superficie de equilibrio, de $-$ a $+$. La región llamada inaccesible aparece punteada. Pues bien, dispuesto así el modelo, las trayectorias AEG y AFG denotan una variación o cambio suave en el riesgo o fragilidad del sistema hacia un incremento del mismo, mientras que la ABCD representa una catástrofe, por brusco aumento del riesgo al pasar de C a D.

¿Cómo puede interpretarse la catástrofe de los pueblos sahelianos a la luz de esta catástrofe en cúspide? Pues bien, es evidente que los pueblos del Sahel mejoraron claramente sus economías a lo largo de las últimas décadas, en buena medida como resultado de una sedentarización. Pasaron así de unas economías nómadas a otras ligadas a ciertos cultivos o monocultivos. Siguieron, pues, la trayectoria AB. Se produjo entonces una notable anomalía climática, como fue la aparición de varios años seguidos con precipitaciones muy bajas. Se pasó, por tanto, de B a C, con la consiguiente catástrofe o caída a D. Ello fue así porque aquellas sociedades ya sedentarizadas no pudieron responder, como lo habían hecho durante siglos, cuando tenían una elevada capacidad de movilidad, acudiendo a las áreas menos perjudicadas por la sequía. Los pueblos sahelianos, muy dependientes de unos cultivos, maltrechos o inexistentes, sufrieron una grave quietud económica y social. Siguiendo, por tanto, el modelo de catástrofe en cúspide se deduce que la anomalía climática comentada probablemente no hubiera producido consecuencias tan nefastas, si los pueblos sahelianos se hubieran encontrado en una fase menos avanzada de su progreso económico.

De modo que, en consecuencia, no puede afirmarse que el impacto de ciertas anomalías climáticas, como puede ser la sequía, se vea siempre mitigado en las sociedades con mayor grado de desarrollo económico. En ocasiones, las evidentes mejoras socioeconómicas, labradas en ciertos años consecutivos de normalidad climática o de un óptimo de condiciones, se ven seriamente comprometidas al aparecer años extremos, con un impacto que puede ser brusco o catastrófico en las propias sociedades. Así, también, podría tal vez explicarse la quiebra económica habida en ciertas estaciones de esquí del Pirineo catalán, que ampliaron, desarrollaron y multiplicaron sus instalaciones durante unos años de nivinidad abundante. La relativa modestia de las cantidades de nieve de los últimos años, acorde con la normal climatológica, dio al traste con muchas de las expectativas generadas con el espejismo de los años buenos.



J. Martín Vide (1988)