

DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN INTENSA. APLICACIÓN PARA EL SUR DE VALENCIA Y NORTE DE ALICANTE

Robert Monjo i Agut

Fundación para la Investigación del Clima, C/ Gran Vía, 22, Madrid
Departament de Física de la Terra i Termodinàmica. Universitat de València
robert@temps.cat

Palabras clave: Distribución espacial, precipitaciones extremas, curva IDF

1. INTRODUCCIÓN

El riesgo de inundaciones es uno de los aspectos meteorológicos con mayor interés en la sociedad y en especial en el contexto actual del estudio del cambio climático. En general dicho riesgo depende en mayor medida de la vulnerabilidad de las infraestructuras y sobretodo de la exposición excesiva al fenómeno. Esto generalmente es debido a una mala planificación del territorio de las *zonas inundables* (Marco, 1999). Sin embargo cuando hablamos del *riesgo climatológico* nos referimos a la probabilidad de ocurrencia de un extremo climático, por ejemplo a la frecuencia de los episodios de lluvias torrenciales. Normalmente la frecuencia de suceso se designa mediante el término *período de retorno*, que se refiere al tiempo medio que cabría esperar entre dos eventos que superan un cierto umbral en un mismo punto (Témez, 1978). Sin embargo, dicho valor puntual no representa adecuadamente los episodios de una zona extensa, que son los que provocan las inundaciones más importantes. Esto se debe a que la repetición para *un punto cualquiera de una zona* siempre es mayor que la repetición para un único punto.

En este trabajo se propone un método para estimar la frecuencia temporal de los episodios extremos de la precipitación y la distribución espacial probable para una zona relativamente amplia, que abarque al menos una cuenca hidrográfica, concretamente se analiza la zona del Sur de Valencia y Norte de Alicante (Fig. 1). El interés por esa zona se justifica porque es donde se han registrado las precipitaciones históricas más intensas de la Península. En particular nos referimos a las comarcas de la Safor y de la Vall d'Aiora-Cofrents (Aemet, 2008a; Font Tullot, 2000; Armengot, 1994; Témez y Mateos, 1993; y Pérez Cueva y Armengot, 1983).



Figura 1. Mapa de las tres principales cuencas donde son más frecuentes las lluvias torrenciales de la Península Ibérica (Aemet I, 2008; Font Tullot, 2000; Armengot, 1994; Témez y Mateos, 1993; y Pérez Cueva y Armengot, 1983).

2. METODOLOGÍA Y DATOS

2.1. Caracterización temporal de la precipitación

Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) son las curvas que unen intensidades medias máximas de igual frecuencia o período de retorno (Témez, 1978). En climatología, la intensidad media máxima $I(t)$ se define como el cociente entre la acumulación máxima $P(t)$ para cada intervalo de tiempo, y dicho intervalo de tiempo (t), es decir: $I(t) = P(t)/t$. Por otro lado, la intensidad media máxima puede ajustarse a una función tri-paramétrica (Chow, 1962), según:

$$I(t) = \frac{a}{t^n + b} \quad (1)$$

donde a , b y n son los parámetros ajustables para cada caso. Dado que en general $t \gg b$, entonces podemos desprestigiar el parámetro b , y dividiendo $I(t)$ entre $I_o(t_o)$, obtenemos que:

$$I \approx I_o(t_o) \left(\frac{t_o}{t} \right)^n \quad (2)$$

donde $I_o(t_o)$ es la intensidad media máxima de duración fijada t_o , mientras que $I(t)$ es la intensidad media máxima en la duración de interés t , y n es un parámetro adimensional que toma valores entre 0 y 1 (Moncho, 2008). A su vez, la ecuación 2 puede relacionarse con la frecuencia o período de retorno, según la definición de las curvas IDF. En este sentido, una aproximación matemática para las curvas IDF en España es la propuesta por Moncho *et al.* (2009):

$$P_{\max}(\rho, t) = P_o(\rho_o, t_o) \left(\frac{\rho}{\rho_o} \right)^m \left(\frac{t}{t_o} \right)^{1-n} \quad (3)$$

donde $P_{\max}(\rho, t)$ es la acumulación máxima puntual para un tiempo t y un período de retorno ρ inferior a 50 años, mientras que $P_o(\rho_o, t_o)$ es la acumulación de referencia para un período de referencia ρ_o , y una duración de t_o , y donde m es un parámetro ajustable. Nótese que n es el índice de la precipitación según la ecuación 2. El período de retorno ρ puede estimarse como la inversa de la probabilidad acumulada de superar cada valor de lluvia. Por otro lado, cabe destacar que el parámetro n contiene información sobre la tipología de la precipitación.

Para un determinado episodio importante de lluvias, que engloba uno o varios intervalos torrenciales, es difícil determinar cuál es la duración exacta (t) de la parte más intensa del episodio. Por ello definimos la duración efectiva (t_{ef}) como la duración esperada según el ajuste de la ecuación 3 al dato de acumulación total máxima (P_{\max}) del episodio considerado, según:

$$t_{ef} \equiv \left(\frac{P_{\max}}{P_{1h}} \right)^{\frac{1}{1-n}} \quad (4)$$

donde P_{1h} es el valor ajustado de la precipitación máxima en una hora, y donde se ha tomado que $\rho = \rho_o$. Para seleccionar los episodios de lluvia torrencial en el Sur de Valencia-Norte de Alicante, en este trabajo se ha considerado el umbral de 300 mm en 12h. Para dicho umbral se han encontrado 5 episodios de precipitaciones extremas desde 1982, a saber:

- Temporal del 20 de octubre de 1982, Casa del Baró – Cortes de Pallàs, València (Pérez-Cueva y Armengot, 1983; Témez y Mateos, 1993).
- Temporal del 3 de noviembre de 1987, Gandia, València (Font Tullot, 2000).
- Temporal del 22 de octubre de 2000, Carlet (València), según AEMET y CHJ.
- Temporal del 12 de octubre de 2007, L'Alcalalí (Alacant), según AEMET
- Temporal del 23 de septiembre de 2008, Sueca (València), según AEMET (2008b).

La información sobre la distribución temporal disponible de estos episodios es escasa. Concretamente se dispone de 49 valores, siendo sólo 3 los datos para el registro de Gandía de 1987 y 4 datos para el registro de Casa del Baró de 1982 (Pérez Cueva y Armengot, 1983; Témez y Mateos, 1993; Font Tullot, 2000).

2.2. Caracterización espacial de la precipitación

Para el análisis espacial de la acumulación máxima de la precipitación, se propone una relación cuasi-lineal entre la inversa de la precipitación y el área S de distribución máxima de la precipitación, según la siguiente expresión original:

$$\left(\frac{P_{\max}}{P}\right) \approx \frac{1}{B} + \left(1 - \frac{1}{B}\right) e^{-K \frac{S}{A}} + \left(\frac{S}{A}\right) \quad (5)$$

donde P_{\max} es la precipitación máxima puntual de un episodio para cada tiempo, P es la precipitación umbral superada en un área S centrada en el mismo punto donde se registra el valor P_{\max} , mientras que A , B y K son parámetros ajustables para cada tiempo t .

La variable S representa a las superficies centradas en aquel punto donde se registra la máxima precipitación P_{\max} en un determinado tiempo. A ese punto central lo llamaremos *Centro Principal (CP)*. Para determinar la forma de las superficies S , es necesario definir una *probabilidad de precipitación intensa* (π). En este sentido consideramos que la *probabilidad de precipitación* afecta de igual manera a la distribución espacial del *Centro Principal (CP)* que a la distribución espacial de la precipitación en torno a dicho centro. Por lo tanto, para la estimación de la probabilidad de localizar un CP, como primera aproximación, proponemos usar la relación entre la distribución espacial de la precipitación anual y el índice CI de Martín-Vide (2004). Finalmente, la probabilidad se estima con el valor normalizado del “porcentaje de precipitación intensa” representado por el 25% de los días de lluvia más intensa (Martín-Vide, 2004).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización temporal de la precipitación

Las curvas IDF, obtenidas para los cinco episodios extremos analizados, presentan un índice n que en general se encuentra entre 0,35 y 0,42, exceptuando el caso de Sueca de 2008, en el que encontramos un $n = 0,14$ (Tabla 1 y Figura 2). Esto nos indica que la lluvia de Sueca fue de una tipología totalmente diferente al resto. Otra característica a destacar es que el n medio obtenido para dicha área de estudio, sin contar el caso de Sueca, es aproximadamente 0,37, el cual es considerablemente menor al índice n climático de lluvias extremas de Valencia, que se encuentra en torno a 0,54 (Moncho *et al.*, 2009). Esto podría deberse a que estamos considerando eventos puntuales muy poco frecuentes (de hecho son el máximo absoluto de cada serie). Dichos eventos no quedan representados por dicho n climático ya que éste hace referencia a precipitaciones con un período de retorno puntual igual o inferior a 50 años. Esto es independiente del período de retorno conjunto (ρ_{ef}), obtenido con la frecuencia de registrar un evento en cualquier punto, que sí es menor o igual a 50 años (Tabla 1).

Tabla 1. Ajustes de la distribución espacial de la precipitación. Los valores señalados con (*) son estimaciones de la precipitación máxima puntual en una hora, según la ecuación 2. El período de retorno de la lluvia en 12h (ρ_{12h}) para el evento de Sueca (#) se estimó prolongando la duración a 12h (1200 mm).

	P_{\max} (mm) (Total episodio)	I_{1h} (mm/h) (Eq. 2)	n (Eq. 2)	t_{ef} (h) (Eq. 4)	ρ_{12h} (años)	A (km ²) (Eq. 5)	B (Eq. 5)	K (Eq.5)	Pearson R^2 (Eq. 5)
a	980±100 (*)	140 ± 20	0,37 ± 0,10	21,8	20 ± 5	106030	0,63	10	0,9976
b	1000±100 (*)	150 ± 40	0,42 ± 0,06	26,3	18 ± 5	127080	0,70	20	0,9996
c	532	60 ± 6	0,35 ± 0,03	28,7	6 ± 1	239580	0,87	40	0,9999
d	440	90 ± 11	0,35 ± 0,04	11,5	11 ± 2	117690	0,95	3	0,9991
e	350	142 ± 8	0,14 ± 0,01	2,9	#50±10	90	3	0,3	0,9987

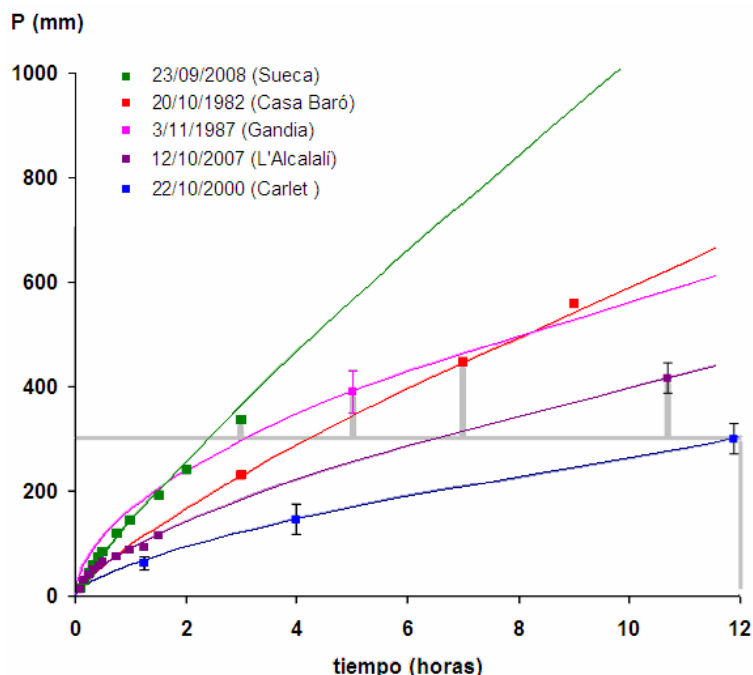


Figura 2. Ajuste con curvas de Intensidad Media Máxima de los 5 registros más importantes en las cuencas del Sur de Valencia y extremo Norte de Alicante, que han superado el umbral de al menos 300 mm en menos de 12h. De los dichos episodios analizados sólo se disponían 49 datos.

La curva IDF de diseño, representativa de los 5 episodios, se obtuvo considerando el período de retorno de cada intensidad media máxima en una hora y el promedio de los respectivos índices n . Con todo ello, se obtuvo que con un período de retorno medio de 6 años, en la zona de estudio se registra una acumulación máxima igual o superior 300 mm en 12h, con un índice n medio de $0,30 \pm 0,10$, independientemente de la duración final. Nótese que el tiempo efectivo, t_{ef} , no se corresponde con la duración total del episodio, sino que representa un tiempo estadístico que se relaciona con el índice n y la acumulación de referencia, que en este caso es P_{1h} , según la ecuación 4. Así por ejemplo, en el episodio de 2008 la duración efectiva fue de 2,9 horas. Si bien, para el mismo episodio consta que en diferentes estaciones de Sueca se registraron hasta 326 mm en 3 horas (Vázquez, 2008), mientras que en algunas estaciones se midieron hasta 365 mm en 8 horas (fuente SAIH de la Confederación Hidrográfica del Júcar).

3.2. Caracterización espacial de la precipitación

El ajuste espacial con los tres parámetros (A , B y K) presentó una correlación cercana a $R^2 = 0,999$ en todos (Tabla 1). Se observó que el parámetro A está relacionado directamente con el índice n e inversamente con la intensidad media máxima (R^2 -aj. = 0,91). Esto se debe a que existe una conexión directa entre la distribución temporal y la distribución espacial de la precipitación, mediante un parámetro relacionado con la velocidad de evolución. Por otra parte, los parámetros B y K están relacionados con la duración: el primero de forma inversa (R^2 -aj. = 0,99) y el segundo de forma directa (R^2 -aj. = 0,79).

Finalmente, combinando los datos de precipitación media del País Valenciano (Figura 3a) con el porcentaje de precipitación intensa según Martín-Vide (2004), se obtiene una aproximación para la densidad de probabilidad de encontrar un Centro Principal de precipitaciones intensas (Figura 3b). Con ello se encontró el área de mayor probabilidad dentro del tercio sur de la provincia de Valencia y el tercio norte de la de Alicante, En particular, destaca La Safor y Marina Alta, y en menor media la Vall d'Albaida y la Vall d'Aiora.

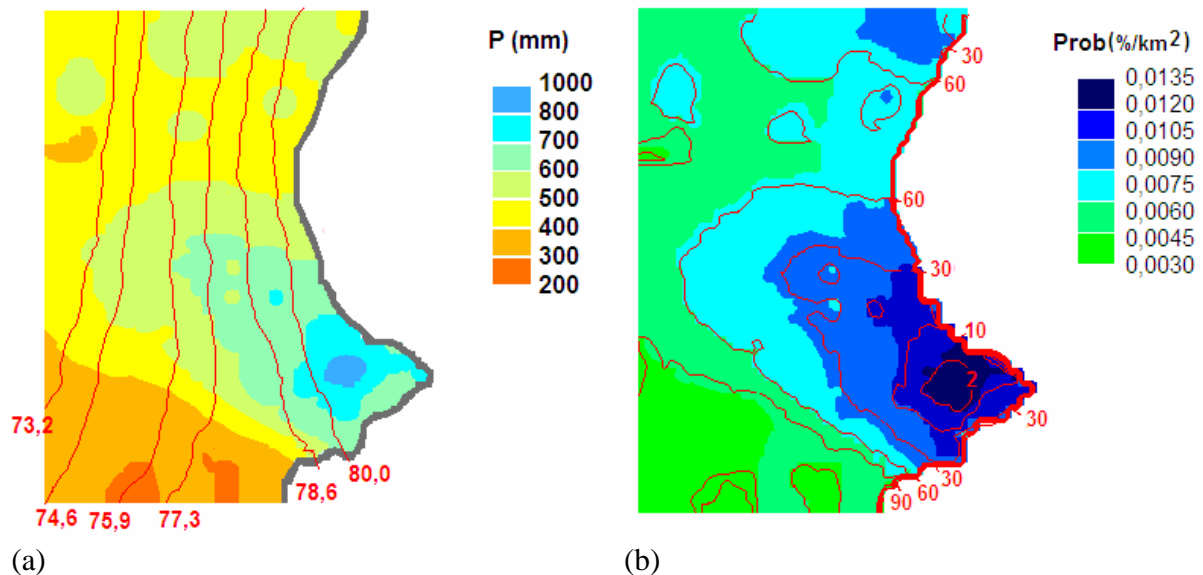


Figura 3. (a) Acumulación anual media (mm) de la zona de estudio para el período 1961-2000 y líneas del porcentaje (%) de la acumulación correspondiente con el 25% de los días más lluviosos del año, según Martín-Vide (2004). **(b)** Densidad de probabilidad (%/km²) de registrar un Centro Principal de precipitaciones intensas y líneas de probabilidad acumulada (%).

La localización de los centros principales correspondientes a todos los 5 episodios extremos se ha registrado dentro del área encerrada por la línea de probabilidad acumulada relativamente baja, en particular del 60%. Eso también ocurre con las riadas de 1957 de Valencia y de Xàbia (Armengot, 1994). Si los 7 episodios conocidos se localizan en una misma área, eso debería significar un porcentaje de probabilidad acumulada mucho mayor que el 60%. Esa subestimación de la probabilidad puede deberse a que el *Cf* hace referencia indirectamente al 25% de los días con precipitación más intensa, por lo que es posible que con un percentil más restrictivo la probabilidad se ajustara más a los 5 episodios. De hecho, estos episodios extremos representan en torno al 0,04% de los días.

4. CONCLUSIONES

Las curvas locales de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) son insuficientes para caracterizar la repetición de los episodios de precipitación extrema, ya que se limitan a los registros de una única estación o a una cuenca pequeña. Por ello se propone un análisis conjunto de diferentes episodios extremos acaecidos en distintos puntos con una relativa proximidad espacial, para así estimar una distribución espacial más representativa de las precipitaciones intensas de la zona de estudio.

En particular, hemos obtenido una función espacio-temporal que ajusta la precipitación extrema del sur de Valencia y norte de Alicante. Dicha curva teórica se ajusta satisfactoriamente para cada uno de los últimos cinco episodios más importantes del Sur de Valencia y Norte de Alicante. Sin embargo, cuando intentamos explicar conjuntamente los cinco episodios en una única curva, observamos que el episodio de precipitaciones del 23 de septiembre de 2008 en Sueca se aleja considerablemente de la curva. Esto es debido a las reducidas dimensiones del núcleo principal de precipitaciones en proporción a la elevada acumulación final. También presenta otra diferencia destacable en el índice *n*, ya que es muy inferior al resto de episodios torrenciales analizados. Cabe destacar que este estudio necesita ampliarse a otras áreas lluviosas del mediterráneo, para así verificar que la metodología es generalmente aplicable.

5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue iniciado en una colaboración entre la Delegación Territorial en Valencia de la Agencia Estatal de Meteorología y el Departament de Física de la Terra i Termodinàmica de la Universitat de València dentro del marco de prácticas de un curso de postgrado del ADEIT (Fundació Universitat-Empresa), que sirvió como tema de introducción a la investigación orientado para la obtención de la tesis doctoral, con directores Vicente Caselles (UV) y Guillem Chust (AZTI-Tecnalia), a los que cabe agradecer el especial apoyo y las sugerencias para este trabajo. También fueron de especial ayuda, los comentarios del Javier Martín Vide, que sirvieron para mejorar la estructura del trabajo. Finalmente cabe agradecer la colaboración de la Agencia Estatal de Meteorología, en especial de José Ángel Núñez, por poner a disposición los diferentes datos de estaciones pluviométricas necesarios para elaborar el estudio comparativo de curvas IDF, así como por concedernos el permiso para el uso de las gráficas de los episodios extremos. Este trabajo obtuvo el Premio Estatal de Meteorología Eduard Fontserè 2009, de la Associació Catalana de Meteorologia, y patrocinado por la Agencia Estatal de Meteorología. ¡Gracias!

6. BIBLIOGRAFÍA

- AEMET (2008a): “Resumen de extremos climatológicos en España”. Agencia Estatal de Meteorología
- AEMET (2008b): “Precipitaciones en la Comunidad Valenciana el día 23 de septiembre de 2008”. Delegación Territorial de Valencia.
- ARMENGOT, R. (1994): “Las precipitaciones extraordinarias”. En: A. Pérez Cueva (Dir.) “Atlas climàtic de la Comunitat Valenciana”. Conselleria d’Obres Públiques, Urbanisme i Transports. Generalitat Valenciana, Col·lecció Territori, Nº 4, 98-99.
- CHOW, V. T. (1962): “Hydrologic determination of waterway areas for drainage structures in small drainage basins”. Bulletin No. 462, Engrg. Experimental Station, Univ. of Illinois, Urbana, I11.
- FONT TULLOT, I. (2000): “Climatología de España y Portugal”. Ediciones Universidad de Salamanca, segunda edición, 422 pp. Primera edición en 1983, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 296 pp.
- GIL OLCINA, A. (2006): “Regímenes natural y artificial del río Júcar”, Investigaciones Geográficas, nº 40 (2006) pp. 5-34, ISSN: 0213-4691.
- MARCO, J. (1999): “Análisis Hidrológico y sus implicaciones en la planificación de una defensa integral frente a las inundaciones de la Ribera del Júcar”, en CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR, Estrategias de actuación en la zona inundable de la Ribera del Júcar, Volumen I, Ponencias Técnicas, Alzira, 29-30 marzo de 1999.
- MARTÍN-VIDE, J. (2004): “Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain”. International Journal of Climatology. 24: 959-971 (2004). DOI: 10.1002/joc.1030.
- MONCHO, R.; BELDA, F. y CASELLES, V. (2009): “Climatic study of the exponent n of the IDF curves of the Iberian Peninsula”, Tethys, nº6, 2009, 18 pp. DOI: 10.3369/tethys.2009.6.01.
- MONCHO, R. (2008): “Análisis de la intensidad de precipitación. Método de la intensidad contigua”. RAM3, enero 2008.
- PÉREZ-CUEVA, A. y ARMENGOT, R. (1983): “El temporal de octubre de 1982 en el marco de las lluvias torrenciales en la cuenca baja del Júcar”. Cuad. De Geogra., 32-33, 61-86, València.
- TÉMEZ, J. R. (1978): “Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales”. Dirección General de Carreteras. Madrid, p. 111.
- TÉMEZ, J. R. y MATEOS, C. (1993): “Hidrogramas de entrada a Tous. Datos para un juicio crítico”. Revista de obras públicas, nº 3.319, año 140, marzo 1992.
- TRIVIÑO, A. Y ORTIZ, S. (2004): “Metodología para la modelización distribuida de la escorrentía superficial y de la delimitación de zonas inundables en ramblas y ríos-rambla mediterráneos”. Investigaciones Geográficas (Esp), nº 035, pp. 67-83. ISSN: 0213-4619.
- VÁZQUEZ, R. (2008): “23 september 2008, abundant rainfall in the Peninsula Iberian”. Eumetrain Wiki, ZentralAnstalt für Meteorologie und Geodynamik.