

# **Análisis interno de los chaparrones máximos para la ciudad de Valencia a partir de series pluviométricas de alta resolución temporal**

Miguel Rico Cortés, Rafael García Bartual, Ignacio Andrés-Doménech  
*Universitat Politècnica de València. Instituto Universitario de Ingeniería del Agua y Medio  
Ambiente (IIAMA). Cno. de Vera s/n 46022 Valencia.*

## **1. Introducción**

Desde la antigüedad, la humanidad ha perseguido estar en posesión de un mayor conocimiento sobre la precipitación. A lo largo de la historia, los estudios han ido progresivamente mejorando su calidad y exactitud, pasando de primitivas mediciones del volumen total precipitado en vasijas cilíndricas a detallados estudios sobre la variabilidad temporal y espacial empleando imágenes de radar.

La vertiente mediterránea de la península Ibérica sufre habitualmente la crudeza de los episodios de lluvia torrenciales. Por ello, la precipitación constituye un variable clave a la hora de acometer el diseño de cualquier tipo de infraestructuras en esta región. Este proceso de diseño, supone habitualmente un enfrentamiento entre la seguridad y la economía, circunstancia que debe resolverse teniendo en cuenta que la elección de un mal criterio o una deficiencia en el análisis de la realidad, puede producir importantes daños materiales o incluso la pérdida de vidas humanas.

La recogida de datos meteorológicos también ha experimentado grandes mejoras, por lo que es conveniente explotar al máximo la información disponible realizando análisis que contemplen tanto la estructura externa de la precipitación, como sus variables internas y las relaciones entre éstas.

## **2. Datos empleados**

Para el desarrollo del trabajo de investigación que se presenta, se utilizaran los datos pluviométricos cinco-minutales de la ciudad de Valencia. Estos datos provienen del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), más concretamente de la estación meteorológica ubicada en la propia sede de la CHJ. La serie de datos que se va a emplear cubre el periodo comprendido entre 1990 y 2012.

Aunque todos los datos empleados provienen de la misma fuente (SAIH-CHJ), ha de hacerse una distinción entre dos periodos de datos, según los estudios previos existentes:

### **M.1.**

- Periodo I: 1990-2006
- Periodo II: 2007-2012

Los datos comprendidos en el periodo I, han sido analizados y validados por Andrés-Doménech (2010), mientras que los del periodo II han sido tratados previamente por Martínez Mercado (2014). Los estudios previos de estos autores analizan la validez estadística de los datos, decretando que los fallos y errores existentes no influyen en un estudio de eventos extremos. Por tanto, se asumen como válidos los datos del SAIH-CHJ, correspondientes al periodo 1990-2012, con discretización temporal cinco-minutal.

### 3. Análisis de los datos

#### 3.1 Separación de eventos independientes

El concepto de episodio o evento de lluvia tiene un enfoque diferente desde el punto de vista meteorológico y desde el punto de vista puramente estadístico (Adams B. y Papa F., 2000). Si se quiere considerar desde un punto de vista exclusivamente estadístico, bastará con considerar la estructura externa del evento para poder asociar unas probabilidades de ocurrencia y superación.

Aunque no existe una metodología universal para la identificación de episodios estadísticamente independientes, el trabajo de Restrepo-Posada y Eagleson (1982) sigue marcando las directrices generales a seguir en la materia. Según estos autores, los eventos de precipitación deben considerarse estadísticamente independientes, de modo que existirá una determinada separación crítica  $s_{crit}$  que provocará que la serie de separaciones entre eventos independientes  $s$ , se ajuste a una función de distribución exponencial, de modo que siga un proceso de Poisson.

La metodología a seguir requiere por tanto la definición de series para distintos valores de  $s_{crit}$ , comprobando cuál de ellos se ajusta mejor al citado proceso de Poisson. De este modo, para cada separación propuesta, se tiene la siguiente función de distribución exponencial:

$$F_S(s) = 1 - e^{-\beta s} \quad s > 0 \quad [1]$$

Esta función tiene un único parámetro, que puede estimarse por máxima verosimilitud mediante:

$$\hat{\beta}_{MLE} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n s} = [E(s)]^{-1} \quad [2]$$

Adicionalmente, el coeficiente de variación de la distribución puede obtenerse mediante la siguiente expresión, debiendo tomar un valor próximo a la unidad:

$$CV(s) = \frac{\sigma(s)}{E(s)} \quad [3]$$

Para el caso de la ciudad de Valencia, otros autores han estudiado esta separación crítica, fijando este valor en  $s_{crit}=22$  horas (Andrés-Doménech, 2010). En definitiva, se considerarán como independientes aquellos eventos entre los que exista un tiempo igual o superior a 22 horas sin que se produzca precipitación. Tras el análisis, resultan en el periodo 1990-2012, 987 eventos independientes.

### 3.2 Selección de eventos independientes representativos

Para el estudio que se aborda, no se emplearán todos los eventos independientes de la serie histórica, sino únicamente aquellos que cumplan unas determinadas condiciones.

Los episodios lluviosos requeridos, deben tener cierto carácter convectivo, por lo que únicamente se considerarán aquellos que cumplan las siguientes condiciones:

$$i_{max} \geq 35 \text{ mm/h}$$

$$\beta^* \geq 0.3$$

El indicador de convectividad  $\beta^*$  de Llasat M.C. (2001) refleja de una manera objetiva el mayor o menor grado de convectividad de un episodio lluvioso, basándose exclusivamente en los datos registrados de precipitación cinco-minutales, sin requerir información meteorológica adicional. El parámetro propuesto, tiene la siguiente expresión:

$$\beta_{L,\Delta T}^* = \frac{\sum_{i=1}^N I(t_i, t_i + \Delta T) \theta(I - L)}{\sum_{i=1}^N I(t_i, t_i + \Delta T)} \quad [4]$$

Siendo  $\theta(I-L)$  una función de Heaviside, y  $L$  un umbral de convectividad dependiente de  $\Delta T$ , y estimado en 35 mm/h por Llasat (2001) para un  $\Delta T$  cinco-minutal.

$$(I-L)=1 \text{ si } I > L$$

$$(I-L)=0 \text{ si } I < L$$

$$(I-L)=1 \text{ si } I = L$$

En definitiva, este indicador obtiene la porción de lluvia total que ha precipitado con una intensidad superior a 35 mm/h. Aunque el umbral de convectividad  $L$ , ha sido estimado para la región de Catalunya, es perfectamente admisible suponer el mismo valor para la ciudad de Valencia.

Siguiendo la clasificación propuesta por Llasat M.C. (2001), indicadores de convectividad con valores superiores a 0.3, garantizan que la precipitación es, al menos, ligeramente

convectiva, dejando fuera de la selección todos aquellos episodios que, claramente, no tienen una componente convectiva.

Aplicando estos criterios, se tienen un total de 64 eventos independientes que reúnen las condiciones solicitadas, del total de 987 registrados en este periodo.

Si se realiza un análisis estadístico, sobre los descriptores principales (volumen, intensidad máxima, duración e indicador de convectividad) de estos episodios lluviosos, se obtienen los siguientes resultados:

	Beta	Volumen	Intensidad máxima	Duración
<b>Media</b>	0.5825	33.81	78.86	610.2
<b>Máximo</b>	1.000	220.8	206.4	4010
<b>Mínimo</b>	0.3000	4.600	36.00	15.00
<b>Mediana</b>	0.5317	21.10	69.60	250.0
<b>Desviación típica</b>	0.1941	41.41	38.35	802.6

*Tabla 1. Estadísticos univariados más habituales de los descriptores fundamentales de los eventos lluviosos independientes.*

Destacable resulta la enorme variabilidad existente en las duraciones de los eventos. La duración puede incluir grandes periodos internos con ausencia de precipitación. La concatenación de varias celdas convectivas espaciadas unas horas, entre las que puede existir o no precipitación, da lugar a estos episodios lluviosos que pueden llegar a varios días de duración.

En ocasiones estas celdas convectivas (denominadas también, y en adelante, como chaparrones), están unidas entre sí por una lluvia de intensidad muy débil (entre 2.4 y 4.8 mm/h) denominada intensidad de fondo. Habitualmente, estas celdas convectivas solo cubren una pequeña parte de la duración total del episodio, sin embargo suponen un alto porcentaje de la lluvia total acumulada, en muchas ocasiones superior al 80%.

Estos eventos extremadamente largos son la puerta de entrada al siguiente paso de este estudio, que consistirá en tratar de aislar aquellas celdas convectivas (chaparrones) que son las verdaderas protagonistas del episodio lluvioso.

### 3.3 Identificación de chaparrones

Antes de acometer la tarea de identificación se propone una clasificación cualitativa que trate de describir la diversidad existente en los eventos seleccionados.

- *Tipo I:* Se trata de una tormenta formada por una única celda convectiva. Se caracterizan por tener una duración moderada y una intensidad media considerable. Pueden tener intervalos de intensidad baja antes y/o después del grueso de la precipitación.
- *Tipo II:* Episodios lluviosos de larga duración que se componen de dos o más chaparrones separados en el tiempo. En este espaciamento temporal puede existir

una precipitación de baja intensidad denominada intensidad de fondo. También puede no existir precipitación en este espaciamento, siendo éste siempre inferior a las 22 horas requeridas para que los episodios sean estadísticamente independientes.

Siguiendo esta clasificación para los eventos independientes identificados en el apartado anterior, se tienen 58 del tipo I y 6 del tipo II.

Aunque no existe ninguna metodología específica para el aislamiento de estos chaparrones dentro de los episodios independientes, se tratará de seguir el siguiente proceso sistemático:

- 1 – Se identifica el pico del evento, siempre superior a 35 mm/h, y su entorno más próximo.
- 2 – El inicio del chaparrón vendrá marcado, por el bloque anterior a aquel que tenga una intensidad superior a 9.6 mm/h.
- 3 – El final del chaparrón vendrá marcado por un cambio en el signo de la derivada del hietograma, siempre en un entorno de intensidad inferior a 9.6 mm/h.

Desafortunadamente se trata de un procedimiento complejo y difícil de automatizar. Además cada chaparrón requiere de una revisión de sus características particulares, que podrían requerir romper alguna de las reglas propuestas para así poder incluir su particularidad. Siguiendo esta metodología, se extraen de los episodios independientes un total de 73 chaparrones, procedentes de los 64 eventos independientes.

### 3.4 Análisis estadístico de la muestra de chaparrones

En primer lugar se realiza un análisis univariado de los tres descriptores fundamentales de los chaparrones. En éste puede observarse como el rango de variación de la variable duración, se encuentra mucho más acotado que en la muestra de eventos lluviosos independientes, presentando además una asimetría mucho menos marcada. Además, puede advertirse como todos los descriptores presentan asimetrías positivas y unos picos menos agudos que el de la distribución normal.

	Volumen	Intensidad máxima	Duración
<b>Media</b>	19.97	76.41	38.01
<b>Máximo</b>	69.20	206.4	115.0
<b>Mínimo</b>	4.200	36.00	10.00
<b>Mediana</b>	15.00	64.80	30.00
<b>Desviación típica</b>	15.90	37.28	21.87
<b>Sesgo</b>	1.394	1.461	1.210
<b>Curtosis</b>	1.363	2.091	1.176

**Tabla 2.** Estadísticos univariados más habituales de los descriptores fundamentales de la muestra de chaparrones.

Si se obtiene la matriz de correlaciones entre las variables, puede advertirse como existe una importante relación entre el volumen y la duración del chaparrón. Esta relación, intuitiva a primera vista, constituye un avance importante que podría permitir una relación biunívoca entre el volumen de un evento y su duración.

	V (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	t (min)
V (mm)	1	-	-
I <sub>max</sub> (mm/h)	0.6386	1	-
t (min)	0.8394	0.2609	1

**Tabla 3.** Matriz de correlaciones entre los descriptores fundamentales de los chaparrones.

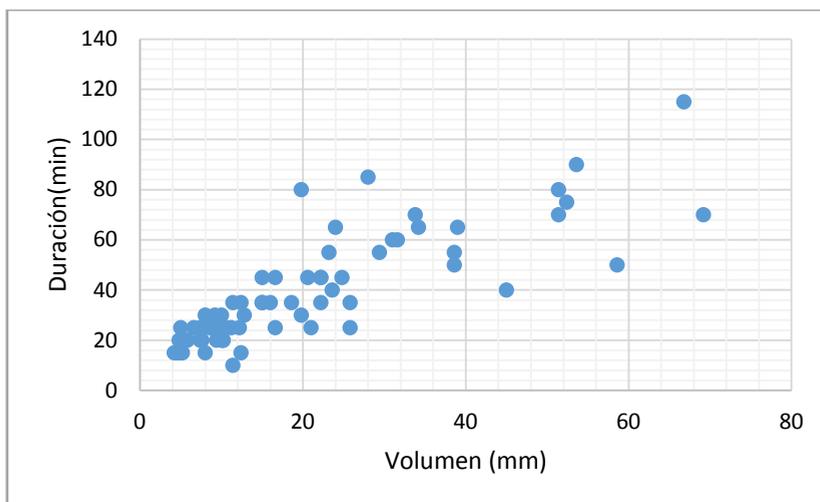
#### 4. Estudio de la relación volumen-duración

El coeficiente de correlación de Pearson muestra posibles dependencias lineales entre variables aleatorias cuantitativas. Además, y a diferencia de la covarianza, esta relación es independiente de la magnitud de las variables comparadas.

$$\rho_{XY} = \frac{1/n \sum_{i=1}^n (x_i - m_x) \cdot (y_i - m_y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad [5]$$

Valores próximos a la unidad, delatan una correlación positiva perfecta, en la que existe una dependencia total entre las variables en la que si una de ellas aumenta, la otra lo hace también en proporción constante. Para las variables volumen y duración, se tiene un coeficiente de correlación de 0.84, por lo que existe una importante linealidad positiva.

Al representar todas las parejas volumen-duración de los chaparrones empíricos extraídos de la serie, puede apreciarse como existe una clara relación lineal entre ambas variables. No obstante, la nube de puntos planteada presenta una excesiva dispersión concentrada en los volúmenes intermedios, lo que podría dar lugar a errores excesivos en la estimación de una duración a partir de un volumen.



**Figura 1.** Parejas volumen-duración para la muestra de chaparrones analizada.

Para tratar de mejorar esta situación, se tratará de abordar un análisis conjunto de las tres variables fundamentales de los chaparrones: el volumen, la duración y la intensidad máxima.

Una posible vía para tratar de abordar el análisis, consiste en fraccionar la población de chaparrones, en tres poblaciones independientes, atendiendo a la intensidad máxima registrada en el chaparrón. Para abordar este procedimiento, se requiere la definición de los umbrales que van a constituir la separación entre las poblaciones. Se determinarán, por tanto, dos valores de intensidad A y B, que reclasificarán los chaparrones según se muestra:

- $I_{\max} < A$  : Intensidad baja
- $A < I_{\max} < B$ : Intensidad media
- $I_{\max} > B$ : Intensidad alta

La determinación de estos valores A y B de intensidad, puede resultar un proceso sumamente complejo que puede requerir de un análisis de sensibilidad estadística. Sin embargo, se realizará un procedimiento simplificado en el que se propondrán tres parejas de umbrales y se adoptará finalmente la que presente unas condiciones más favorables.

#### Opción I.

Tipología	Umbral	nº de eventos	R <sup>2</sup> ajuste
<b>Intensidad baja</b>	$I_{\max} < 50$ mm/h	30	0.8377
<b>Intensidad media</b>	$50 < I_{\max} < 100$ mm/h	24	0.8911
<b>Intensidad alta</b>	$I_{\max} > 100$ mm/h	19	0.7082

**Tabla 4.** Número de eventos y coeficiente de ajuste para la primera propuesta de umbrales.

Esta primera aproximación propone unos intervalos cualitativamente correctos para lo que en Valencia se consideran intensidades bajas, medias y altas. El ajuste lineal mejora muy

significativa respecto a la nube de puntos inicial. No obstante, la gran diferencia entre el número de eventos en una y otra categoría puede resultar problemática desde el punto de vista de la significancia estadística.

### Opción II.

Tipología	Umbral	nº de eventos	R <sup>2</sup> ajuste
Intensidad baja	$I_{\max} < 55 \text{ mm/h}$	22	0.9039
Intensidad media	$55 < I_{\max} < 80 \text{ mm/h}$	26	0.9261
Intensidad alta	$I_{\max} > 80 \text{ mm/h}$	25	0.6775

*Tabla 5. Número de eventos y coeficiente de ajuste para la segunda propuesta de umbrales.*

En esta segunda estimación, se persigue que los números de eventos por tipología sean lo más similares posible, siempre dentro de unos valores cualitativamente correctos para la ciudad de Valencia. Sin embargo, la gran diferencia existente entre los valores del coeficiente de determinación entre las intensidades baja y media y la intensidad alta, puede ser mejorada.

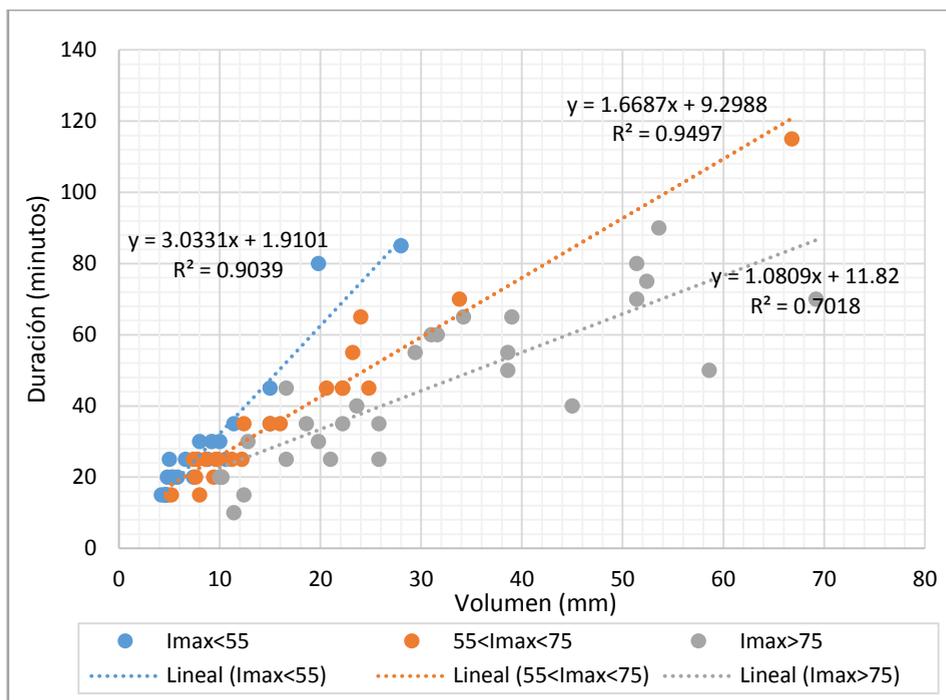
### Opción III.

Tipología	Umbral	nº de eventos	R <sup>2</sup> ajuste
Intensidad baja	$I_{\max} < 55 \text{ mm/h}$	22	0.9039
Intensidad media	$55 < I_{\max} < 75 \text{ mm/h}$	22	0.9497
Intensidad alta	$I_{\max} > 75 \text{ mm/h}$	29	0.7018

*Tabla 6. Número de eventos y coeficiente de ajuste para la tercera propuesta de umbrales.*

En esta última alternativa se busca una homogenización en los coeficientes de determinación, buscando también que el número de eventos sea lo más similar posible entre tipologías.

Finalmente, se asumen los umbrales propuestos por la Opción III al ser la que mejor compatibiliza el número de eventos por tipología con un buen ajuste de cada categoría. Representando las muestras asociadas a cada población (tipología) y planteando un ajuste lineal sobre las mismas, se obtienen la siguiente salida gráfica.



**Figura 2.** Parejas volumen-duración y ajuste lineal planteado para todas las familias de intensidades.

En resumen, de los ajustes lineales planteados se obtienen las siguientes relaciones Volumen-Duración (con Volumen en mm e Intensidad máxima en mm/h):

Tipología	Umbral	Ecuación	R <sup>2</sup> ajuste
Intensidad baja	$I_{\max} < 55 \text{ mm/h}$	$D = 3.0331 \cdot V + 1.9101$	0.9039
Intensidad media	$55 < I_{\max} < 75 \text{ mm/h}$	$D = 1.6687 \cdot V + 9.298$	0.9497
Intensidad alta	$I_{\max} > 75 \text{ mm/h}$	$D = 1.0809 \cdot V + 11.82$	0.7018

**Tabla 7.** Relaciones obtenidas entre el volumen y la duración, para distintos rangos de intensidad.

## 5. Conclusiones

Se ha realizado un análisis estadístico completo de los datos pluviométricos de Valencia, con resolución temporal cinco-minutal, comprendidos entre los años 1990 y 2012. Tras comprobar la validez estadística de los mismos, se ha abordado la separación de la serie en eventos lluviosos independientes empleando las directrices de Rastrepo-Posada y Eagleson (1980), con una separación crítica previamente estudiada por Andrés-Doménech et al. (2010).

De estos episodios lluviosos, se han tomado aquellos que presentan cierto carácter convectivo, empleando un criterio objetivo basado únicamente en información pluviométrica. Estos eventos convectivos, han sido analizados y se ha definido una

metodología para extraer los chaparrones que contienen, es decir aquella porción temporal que contiene gran parte del volumen precipitado.

El análisis estadístico de los descriptores fundamentales de los chaparrones ha motivado el estudio de la relación entre las variables volumen y duración, debido a la alta correlación existente entre ellas. Realizando una división de los chaparrones en familias según su intensidad máxima, se ha llegado a establecer una relación biunívoca entre el volumen y la duración, estableciendo de forma razonada los umbrales separadores de intensidad.

La obtención de esta relación es de suma importancia para la definición de modelos de chaparrón sintéticos que reproduzcan la variabilidad temporal de los eventos lluviosos, sin desprestigiar la reproducción de los descriptores fundamentales y su estructura interna.

## Agradecimientos

Los resultados publicados en el presente artículo han sido desarrollados en el marco del Proyecto “FORMULACIÓN DE UN HIETOGRAMA SINTÉTICO CON REPRODUCCIÓN DE LAS RELACIONES DE DEPENDENCIA ENTRE VARIABLES DE EVENTO Y DE LA ESTRUCTURA INTERNA ESPACIO-TEMPORAL”, número de expediente GV/2015/064 de las ayudas para la realización de proyectos de I+D para grupos de investigación emergentes financiados por la Conselleria d’Educació, Cultura i Esport de la Generalitat Valenciana.

## Referencias

Adams B.J. y Papa F. 2000. Urban stormwater management planning with analytical probabilistic methods. John Wiley & Sons, Inc, New York 358 pp.

Andrés-Doménech I., Montanari A. y Marco J.B. 2010. Stochastic rainfall analysis for storm tank performance evaluation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 1221-1232.

Llasat M.C. 2001. An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: application to rainfall intensity in the northeast of Spain. *International Journal of Climatology* 21, 1385-1400.

Marco Segura J.B., Albentosa Hernández E. y Andrés Doménech I. 2010. Estudio de las características estocásticas a escala temporal fina de los eventos de lluvia en regiones áridas para el análisis de la formación y umbrales de escorrentía. Instituto de ingeniería del agua y medio ambiente. Universitat Politècnica de València.

Martínez Mercado C. 2014. Modelo estacional de lluvias en base a procesos de Poisson no homogéneos. Trabajo final de Máster. Universitat Politècnica de València.

Restrepo-Posada P.J. y Eagleson P.S. 1982. Identification of independent rainstorms. *Journal of Hydrology*, Elsevier, 55 (1-4) 303-319.