

MAXIN: Aplicación SIG para la estimación de valores Intensidad-Duración-Frecuencia de precipitaciones en la España peninsular

L. DE SALAS REGALADO (*), L. CARRERO DÍEZ (*) y J. A. FERNÁNDEZ YUSTE (*)

RESUMEN MAXIM es una aplicación informática desarrollada a partir de un sistema de información geográfica. MAXIN se apoya en los recientes estudios desarrollados por de Salas (2005) para la actualización y adecuación de las leyes Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en la España peninsular, y permite, mediante un mapa interactivo, calcular la intensidad máxima para cada duración y período de retorno en cualquier punto de la España peninsular. Esta aplicación, de libre difusión, está disponible en: <http://www.forestales.upm.es> (abriendo la sección, organización docente, unidades docentes, hidráulica e hidrología, enlaces).

MAXIN: A GIS APPLICATION TO ESTIMATE INTENSITY-DURATION-FREQUENCY VALUES OF PRECIPITATION IN THE SPANISH PENINSULAR TERRITORY

ABSTRACT MAXIN is a Geographic Information System application. It was developed as a result of de Salas investigations to up-date and obtain more adequate Intensity-Duration-Frequency (IDF) relationships in the Spanish peninsular territory (2005). MAXIN estimates maximum precipitation intensity for d-duration and T- return period everywhere in the Spanish peninsular area when pointing at the place of study in an interactive map. Downloading is free and it is available in: <http://www.forestales.upm.es>.

Palabras clave: SIG; Leyes IDF, Análisis regional.

1. ANTECEDENTES

La ley IDF actualmente utilizada en España, y recogida en la Instrucción 5.2-IC (1990), se desarrolló a finales de los años setenta (Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, 1978), modificándose ligeramente el mapa de isolinéas para la generalización a todo el territorio en 1987 (Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, 1987). La metodología entonces propuesta, supone el ajuste de cada una de las series de intensidades máximas anuales, I_d , (series correspondientes a duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 minutos y 24 horas) a la función Gumbel, en cada una de las 21 estaciones con pluviógrafo entonces disponibles en España con un número significativo de registros.

Del párrafo anterior se deduce que esa ley, que es la que actualmente se utiliza, presenta serias limitaciones:

- En primer lugar por el número de datos y estaciones manejados, ya que en los años transcurridos, las estaciones utilizadas han incrementado sustancialmente sus registros y, además, pueden utilizarse otras que

entonces no estaban disponibles y hoy ofrecen series continuas y amplias.

- Además, la función patrón elegida para caracterizar el comportamiento de la variable aleatoria, Gumbel, con un coeficiente de asimetría fijo 1,14, subestima sistemáticamente los cuantiles extremos al menos en el área de influencia mediterránea (Bachro and Chaoche, 2006).

Con estos antecedentes, de Salas (2005) planteó la necesidad de actualizar estas leyes, incorporando:

- Los nuevos registros recogidos en las estaciones ya utilizadas para desarrollar las leyes IDF en los años setenta, y las nuevas estaciones que hoy ya disponen de un número adecuado de datos. Todas las estaciones pertenecen a la red pluviográfica del Instituto Nacional de Meteorología (INM) quien facilitó los datos.
- Una función de distribución, SQRT-ETmax, más adecuada para la variable aleatoria de valores extremos estudiada.
- La aplicación de técnicas de regionalización "intra-estación", que permiten mejorar la robustez de las estimas correspondientes a períodos de retorno altos.

(*]E.U.I.T. Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Avda Ramiro de Maeztu s.n. 28040 Madrid. leticia.salas.regalado@upm.es

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. DATOS

Se han utilizado las series de intensidades máximas anuales para duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 minutos y 24 horas, facilitados por el INM en 63 estaciones del territorio peninsular español.

2.2. METODOLOGÍA

Estimación IDF en las estaciones

Con el fin de mejorar la robustez de las estimas para períodos de retorno altos, se optó por aplicar la técnica de regionalización. Básicamente esta técnica consiste en establecer “regiones homogéneas”, entendiendo como tales aquellas en la que las estaciones pueden diferir una de otra en media, pero no difieren significativamente ni en coeficiente de variación ni en coeficiente de asimetría. Así, si en las series de una región homogénea se elimina el factor local –dividiendo por su media– se obtienen muestras que se puede aceptar corresponden a una única población subyacente de media uno, pudiéndose entonces agruparse y conformar una muestra única representativa de la región. Una vez ajustada una función de distribución con los registros de la serie única de la región y obtenidos los cuantiles adimensionales para los períodos de retorno habituales, la intensidad máxima anual para una duración, d , y un período de retorno, T , $-I(d, T)$ se puede obtener a partir de la siguiente expresión (1):

$$I(d, T)_{\text{estación}} = CA(T)_{\text{región}} * \bar{I}_d_{\text{estación}} \quad (1)$$

Donde:

$CA(T)_{\text{región}}$, es el cuantil adimensional, para un período de retorno, T , obtenido en la región.

$\bar{I}_d_{\text{estación}}$, es la media de las intensidades máximas anuales para una duración, d , obtenida en la estación.

El enfoque regional pretende resolver el problema de carencia de datos, “paliando la carencia en el tiempo con la abundancia en el espacio” (Hosking y Wallis, 1997).

En este caso, aunque el número de estaciones y registros es muy superior al utilizado para la estimación de las leyes IDF actualmente en uso, siguen siendo claramente insuficientes para caracterizar el territorio, máxime si, como ocurre en España, la variabilidad climática es tan importante, desde un clima semiárido en el sureste español, hasta atlántico en el norte. Y esa insuficiencia se manifiesta también en la imposibilidad de establecer regiones homogéneas con un número significativo de estaciones. Por esa razón, se propuso una regionalización “intraestación”, conformado en cada estación como “región” por un lado las series correspondientes a duraciones menores o iguales a una hora, que se denominó región “cortas duraciones”, por otro lado las mayores de una hora, “largas duraciones”. Diversos estudios ponen de manifiesto diferencias significativas en cuanto al comportamiento de la intensidad máxima anual al considerar ventanas temporales menores o mayores de una hora (Hershfield, 1961; Bell, 1969; Ferrer y Ferro, 1990; Porras y Porras, 2001; Llasat, 1998), diferencias que se pudieron acreditar siguiendo el protocolo propuesto por Hosking y Wallis (1997). Esta metodología está basada en el análisis de los L-Momentos y establece tres filtros cada vez más exigentes en cuanto a control de la homogeneidad regional: 1º Gráfico; 2º Test Medida de la Discordancia; 3º Test de Heterogeneidad.

Una vez establecidas dos regiones en cada estación se procedió conforme a la siguiente secuencia:

- Elección de una función de distribución. La muestra única y adimensional formada por el conjunto de las series correspondientes a distintas duraciones de la región homogénea, se ajustó a la función de distribución SQRT-ET máx porque es más conservadora que la tradicional ley de Gumbel, por tener buena capacidad descriptiva de la rama derecha de la distribución, y porque ha sido utilizada satisfactoriamente en España para la estimación de cuantiles de precipitaciones máximas diarias anuales (Ferrer y Ardiles, 1994).
- Estimación de los parámetros de la función en cada región. Se utilizaron los métodos de momentos y de máxima verosimilitud, y se adoptó en cada caso aquél que proporcionaba unas estimas lo más próximas a los valores observados, pero siempre del lado de la seguridad para los valores usuales de período de retorno que se manejan. Los criterios de decisión se basaron en el Test de Kolmogorov-Smirnov y el análisis gráfico.
- Validación. Se generaron 100 muestras sintéticas por el método de simulación de Montecarlo, y se compararon los coeficientes de variación y asimetría con los correspondientes a los valores observados.
- Finalmente se comprobó que este análisis “regional” proporcionaba estimas más robustas que el análisis “local”.

Los detalles técnicos de la secuencia descrita pueden consultarse en de Salas y Fernández (en prensa).

IDF generalizada

El siguiente paso consistió en extender los resultados obtenidos en las estaciones que disponen de pluviógrafo al resto del territorio peninsular.

Para ello se estableció una relación entre $I(d, T)$ –obtenida tras el proceso de regionalización– y la $I(24, T)$ en la misma estación, dato disponible en todo el territorio peninsular a partir de la publicación “Máximas lluvias diarias en la España peninsular” del Ministerio de Fomento (1999). Este cociente se puede expresar como la ecuación (2):

$$\left[\frac{I(d; T)}{I(24; T)} \right]_{PG} = \frac{CA^{PG}(T)_{\text{cortas/largas}} \cdot \bar{I}_{PG_d}}{CA^{PG}(T)_{\text{largas}} \cdot \bar{I}_{PG_{24}}} = \frac{CA^{PG}(T)_{\text{cortas/largas}} \cdot \bar{I}_{PG_d}}{CA^{PG}(T)_{\text{Ferrer}} \cdot \bar{I}_{PG_{24}}} \quad (2)$$

Donde:

PG hace referencia a una estación con pluviógrafo.

$CA^{PG}(T)_{\text{cortas/largas}}$ es el cuantil adimensional deducido en la región correspondiente (cortas o largas duraciones).

$CA^{PG}(T)_{\text{Ferrer}}$ es el cuantil adimensional obtenido tras el análisis regional de las precipitaciones máximas diarias, disponible en la citada publicación. El subíndice *Ferrer* hace referencia al apellido de uno de los autores de dicho trabajo.

\bar{I}_{PG_d} es la intensidad máxima media para la duración “ d ” obtenida en una estación con pluviógrafo.

En las estaciones sin pluviógrafo, los dos términos del numerador no son conocidos, por lo que, en un intento de generalizar los resultados obtenidos en las estaciones con pluviógrafo, se analizaron dos funciones, una que relacionaría el cociente de cuantiles con el período de retorno, $h(T)$, y otra que relacionaría el cociente de intensidades medias con la duración, $g(d)$, ecuación (3).

$$\left[\frac{I(d; T)}{I(24; T)} \right]_{PG} = \frac{CA^{PG}(T)_{\text{cortas/largas}}}{CA^{PG}(T)_{\text{Ferrer}}} * \frac{\bar{I}_{PG_d}}{\bar{I}_{PG_{24}}} \equiv h(T) \cdot g(d) \quad (3)$$

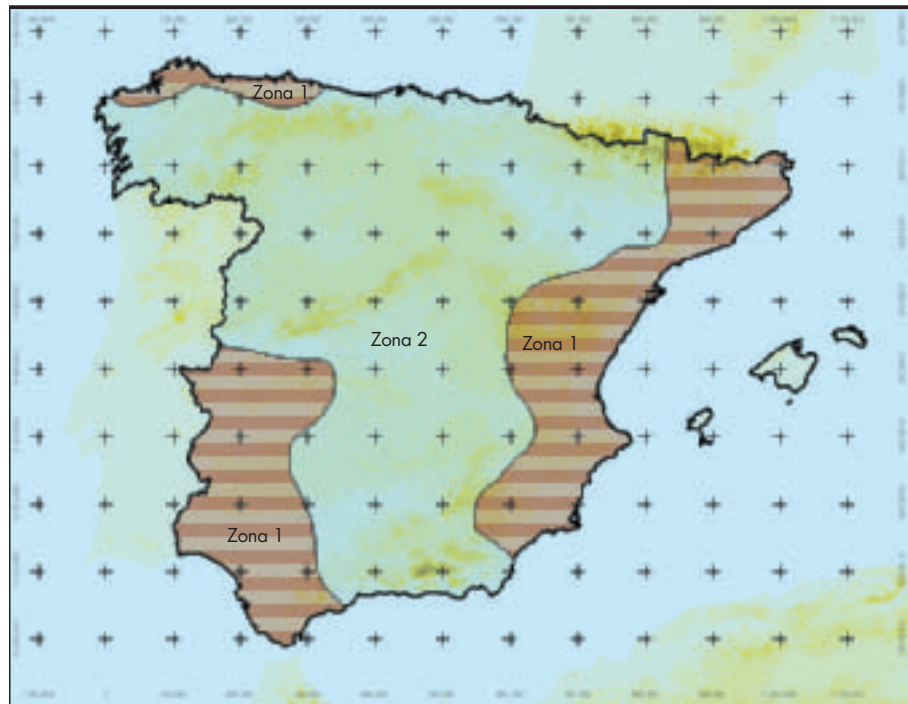


FIGURA 1. Mapa de zonas para la función $h(T)$ con "cortas duraciones".

Para la función $h(T)$ se hizo un análisis previo del cociente de cuantiles y se comprobó que su comportamiento era diferente –creciente o decreciente con el período de retorno– según la localización de la estación considerada y variando también según se tratase de la región "cortas" o de la de "largas". Por lo tanto, se definieron dos zonas geográficas para caracterizar el comportamiento de la función $h(T)$

cuando se consideraban las regiones de "cortas duraciones", y otras dos cuando se contemplaban las de "largas duraciones" (figuras 1 y 2), y se ajustó una función de tipo logarítmico en cada zona: $h(T) = a \cdot (\ln T)^2 + b \cdot (\ln T) + c$, donde \ln , es el logaritmo neperiano, T es el período de retorno en años, a , b y c son tres parámetros que adoptan los valores de la tabla 1 en cada zona, y R^2 es el coeficiente de correlación.

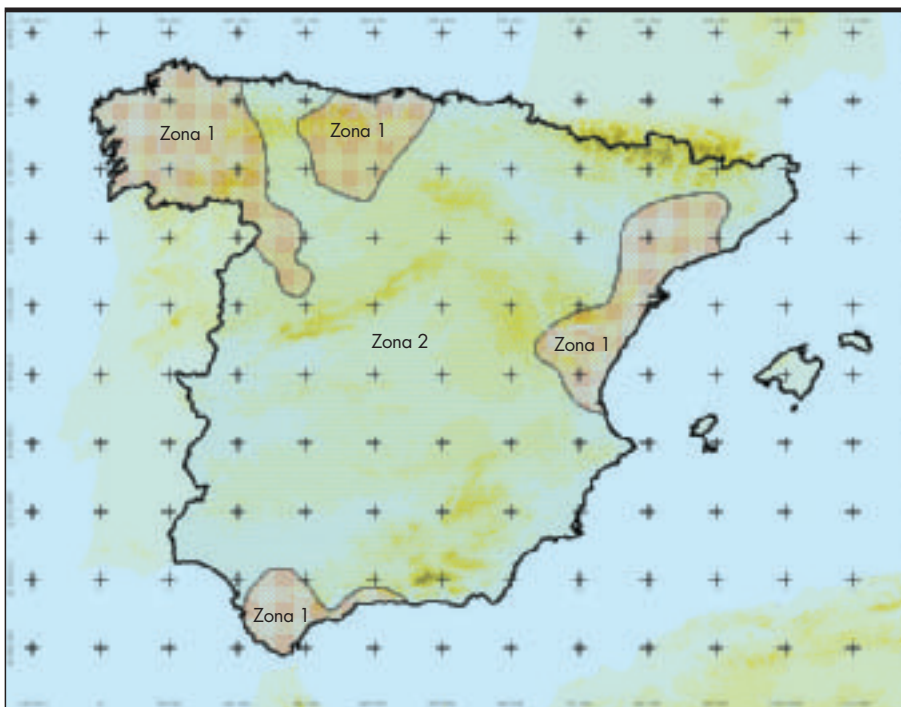


FIGURA 2. Mapa de zonas para la función $h(T)$ con "largas duraciones".

	"Cortas duraciones"		"Largas duraciones"	
	Zona 1C	Zona 2C	Zona 1L	Zona 2L
a	$-4 \cdot 10^4$	$-7 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$	$-3,7 \cdot 10^3$
b	$9,2 \cdot 10^3$	$106,6 \cdot 10^3$	$13,6 \cdot 10^3$	$55 \cdot 10^3$
c	1,004	0,909	1,022	0,954
R²	0,991	0,998	0,991	0,959

TABLA 1. Valores de los parámetros a , b , y c de la función $h(T)$ en cada zona.

Para la función $g(d)$ se propuso una función biparamétrica, ecuación (4), siendo K un parámetro con significación física e igual al cociente de las intensidades máximas medias en 1 hora y la correspondiente a 24 horas.

$$g(d) = \frac{\bar{I}_d}{\bar{I}_{24}} = K \frac{24^a - d^a}{24^a - 1} \quad (4)$$

Los valores de los parámetros K y a se obtuvieron en cada una de las 63 estaciones y su generalización a todo el territorio peninsular se hizo trazando sendos mapas de isolíneas, figuras 3 y 4. En el caso de K se utilizó el método de interpolación SPLINE, con 6 estaciones de referencia y una resolución de 1.000m, mientras que para a se realizó mediante el método de interpolación del inverso del cuadrado de la distancia con 12 estaciones de referencia y resolución 1.000 m.

Finalmente el valor de $I(d,T)$ en cualquier punto puede estimarse a partir de la ecuación (5):

$$I(d,T)_{\text{punto}} = I(24,T)_{\text{punto}} \cdot h(T) \cdot g(d) = \frac{P(24,T)_{\text{punto}}}{24} \cdot h(T) \cdot g(d) \quad (5)$$

donde $P(24,T)_{\text{punto}}$ puede obtenerse como $PMDA(T)_{\text{punto}} \cdot F$, siendo $PMDA(T)_{\text{punto}}$ la precipitación

máxima diaria anual para el punto considerado, que puede obtenerse con MAXPLU, aplicación informática disponible en la citada publicación del Ministerio de Fomento (1999) y F el factor de mayoración que permite pasar de precipitación diaria a 24 horas (suelen utilizarse valores que se mueven entorno a 1,13).

3. RESULTADOS

La aplicación MAXIN permite estimar $I(d,T)$ en cada punto de la España peninsular a partir de la expresión (5). Para desarrollar la aplicación MAXIN fue necesario georreferenciar toda la información espacial, utilizando para ello las coordenadas UTM referidas al huso 30, y la resolución espacial adoptada fue 1.000m x 1.000m. Las capas de información utilizadas fueron:

PMDA Precipitación máxima diaria anual. Mapa de isolíneas obtenido mediante método Kriging, resolución 1000 m, y malla de 2.500m.

Cv: Coeficiente de variación. El mapa de isolíneas de este parámetro fue obtenido mediante interpolación espacial por el método del inverso del cuadrado de la distancia, con las 12 estaciones más próximas, y una resolución de 1.000m.

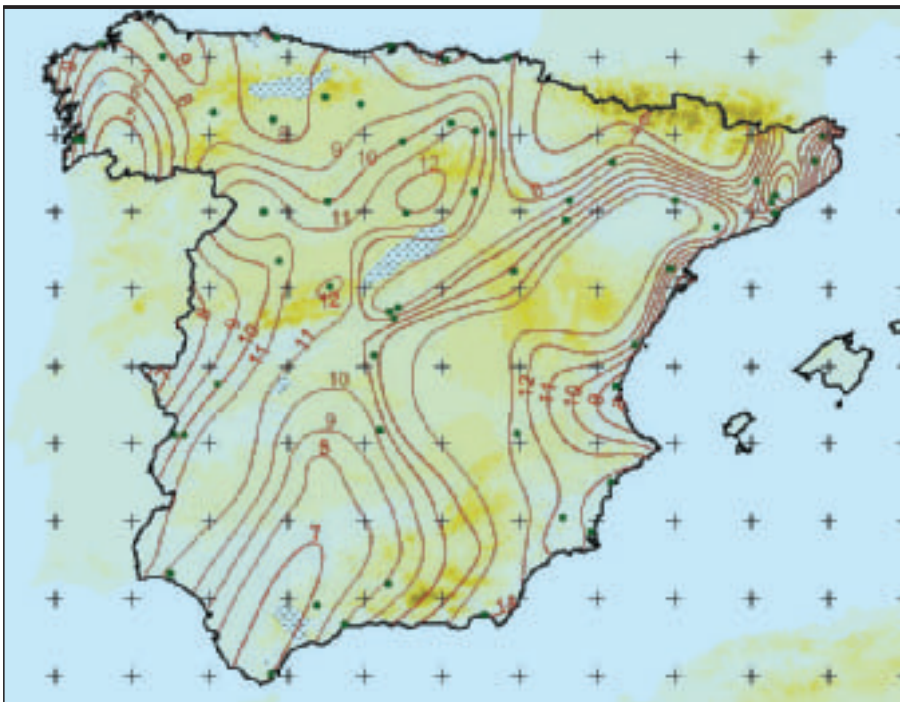


FIGURA 3. Mapa de isolíneas del parámetro K .

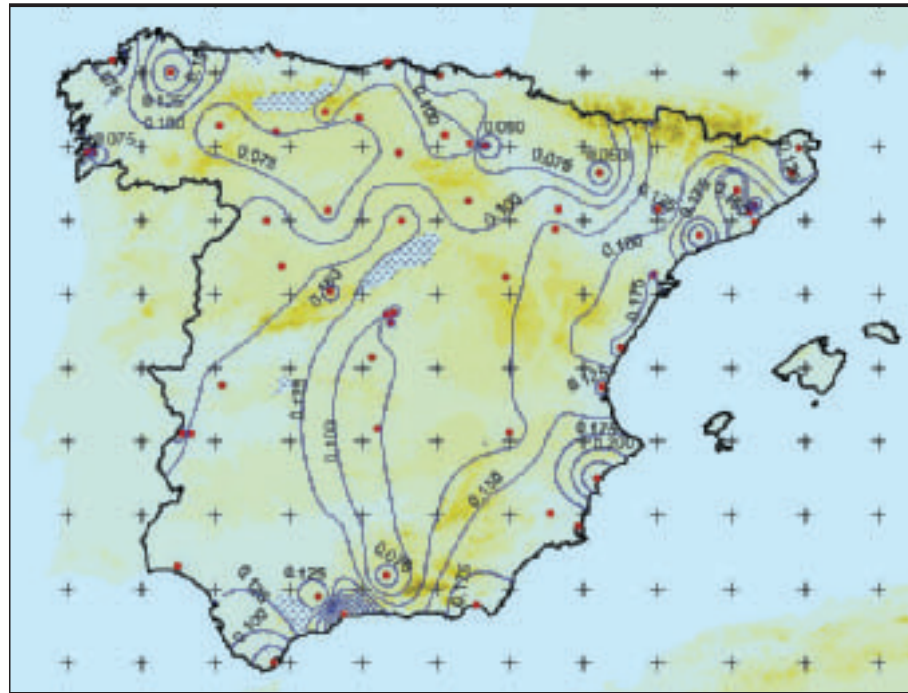


FIGURA 4. Mapa de isótopos del parámetro α .

Tanto esta capa como la anterior se obtuvieron a partir de los datos ofrecidos por el software incluido en “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” (1999).

$$K = \frac{\bar{I}_1}{I_{24}} \text{ y } \alpha, \text{ parámetros de la función } g(d).$$

Zonas 1L, 2L, 1C y 2C, zonas geográficas en “cortas y largas duraciones”, para la elección de la ecuación $h(T)$ adecuada.

MAXIN presenta al usuario un mapa interactivo (figura 5) en el que se debe señalar con el cursor el punto en estudio. Se muestra el polígono donde se encuentra el punto, po-

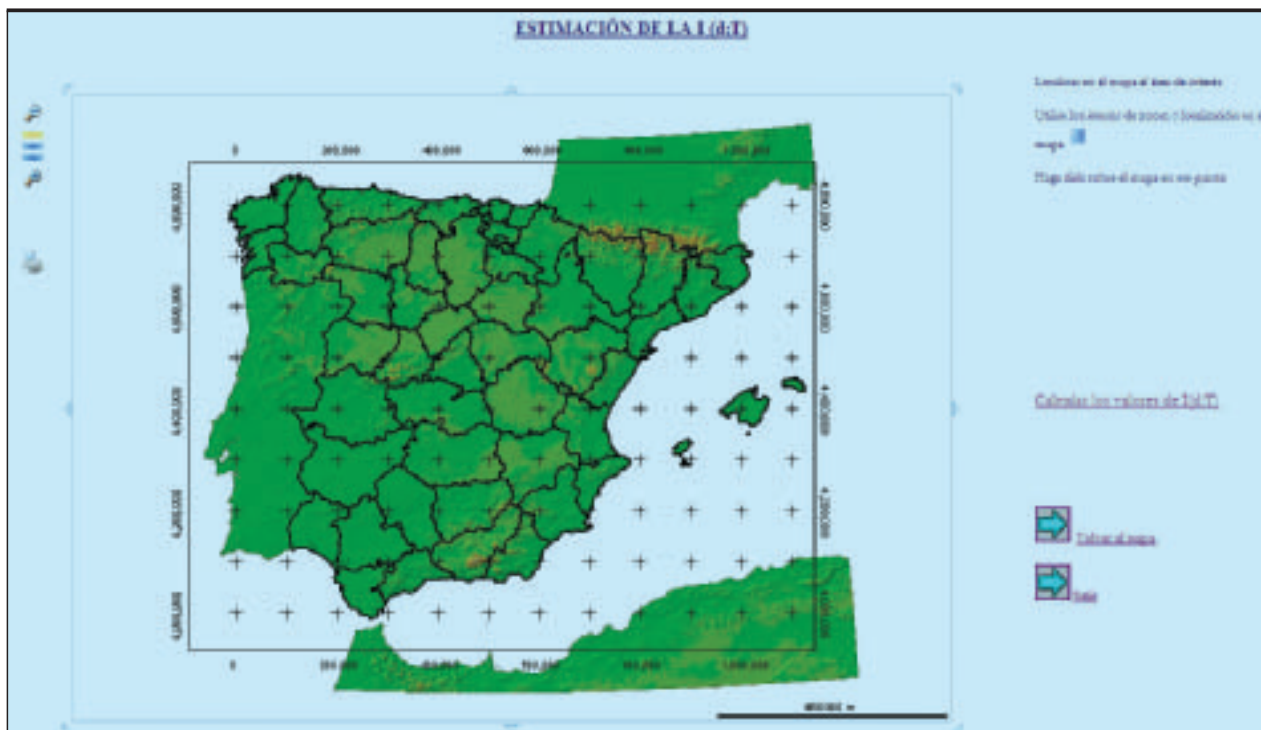


FIGURA 5. Mapa interactivo de la pantalla principal de MAXIN.

MAXIN: APLICACIÓN SIG PARA LA ESTIMACIÓN DE VALORES INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES EN LA ESPAÑA PENINSULAR

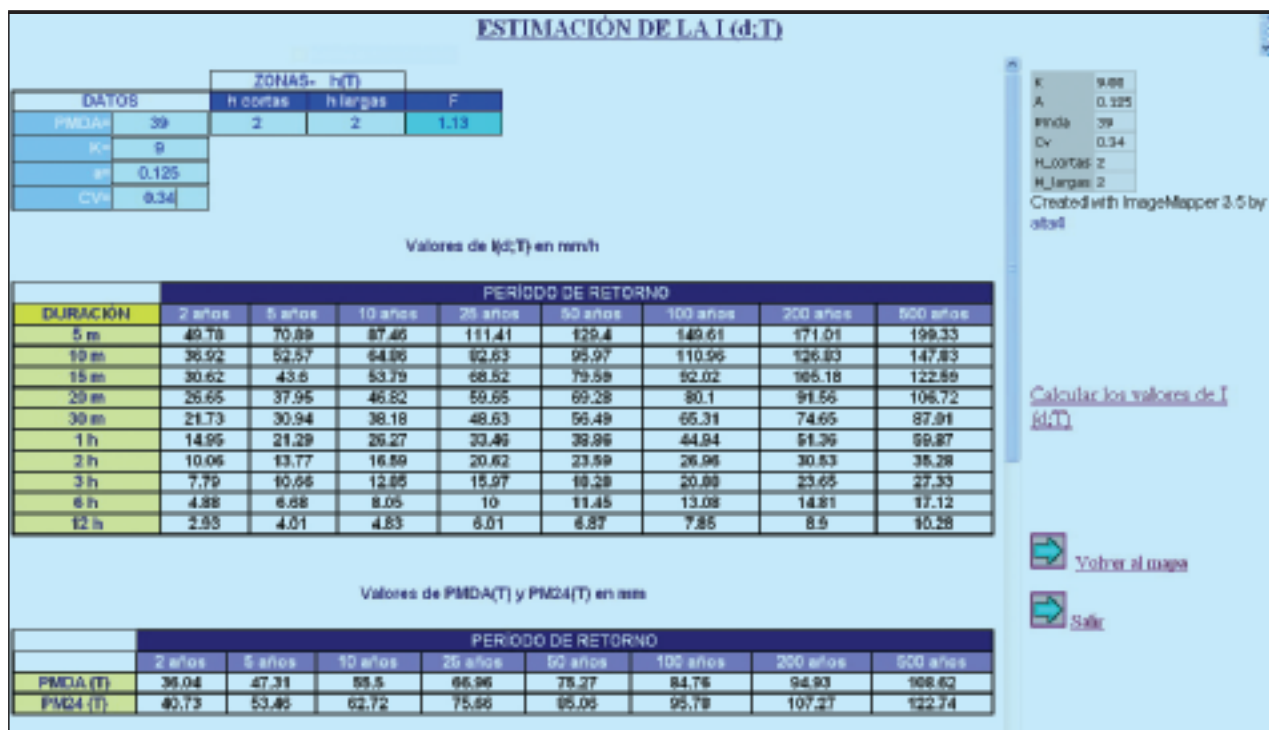


FIGURA 6. Tabla de estimas IDF ofrecidas por MAXIN.

lígono en el que los valores de los distintos parámetros son constantes. Esos valores aparecen reflejados en una tabla a la derecha de la pantalla. En el mapa se muestran los límites provinciales y la cuadrícula de las coordenadas UTM para facilitar al usuario la localización del punto de su interés. Además se pueden realizar dos zoom.

Una vez localizado el punto en estudio y obtenidos los parámetros necesarios, se presiona "calcular los valores de I(d,T)"; aparece otra pantalla, y los parámetros deberán introducirse en las celdas correspondientes en la hoja de cálculo preparada para tal efecto. Automáticamente se actualiza la tabla en la parte inferior de la pantalla que calcula la intensidad máxima para distintas duraciones y períodos de retorno en dicho punto (Figura nº6). Se puede obtener además la precipitación máxima diaria y en 24 horas siguiendo la metodología propuesta por el Ministerio de Fomento (1999). En la hoja de cálculo aparece también una celda bajo el título "F"; se trata del factor de mayoración que permite pasar de precipitaciones máximas diarias a máximas en 24 horas, y será el usuario el que elija el factor. A falta de información, se puede aceptar un valor orientativo de 1,13 propuesto por la Organización Mundial de Meteorología.

También se ofrece una guía de usuario donde, además de indicar los pasos para el uso de la aplicación, se describe y justifica brevemente la metodología desarrollada para obtener las ecuaciones resultantes.

4. CONCLUSIÓN

La aplicación MAXIN permite estimar en el territorio peninsular español, la intensidad máxima anual para distintas duraciones y períodos de retorno. La estimación se realiza aplicando una metodología que aporta las siguientes modificaciones respecto a anteriores trabajos:

- Actualización de la información pluviográfica, con los registros de intensidad-duración obtenidos hasta el año 2000 y facilitados por el INM.
- Aplicación de métodos de regionalización "intraestación" para mejorar la robustez de las estimas.
- Utilización de una función de distribución, SQRT-ET-máx desarrollada específicamente para el análisis de precipitaciones máximas.
- Aplicación de una nueva metodología para la generalización de resultados obtenidos en estaciones pluviográficas al resto del territorio peninsular.
- Utilización de un SIG que ha permitido el desarrollo de una aplicación sencilla y fácil de utilizar para el usuario.

5. REFERENCIAS

BACHRO, J-N. AND CHAUCHE, A (2006): Incertitude D'estimation des Pluies Extrêmes du Pourtour Méditerranéen Illustration par les Données de Marseille. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 51(3), pp 389-403.

BELL, F. C., (1969): Generalized rainfall-duration frequency relationship. *Journal Hydraulic Div. ASCE* 95(1), pp 311-327.

DE SALAS REGALADO, L. (2005): *Regionalización de leyes IDF para el uso de modelos hidrometeorológicos de estimación de caudales*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

DE SALAS REGALADO, L y FERNÁNDEZ YUSTE, J.A.: Annual maximum rainfall intensity "intra-station" regionalization to estimate an IDF law: a solution to scarce spatial data in Spain. *Hydrological Processes* (en prensa).

FERRER, F. J., Y L. ARDILES (1994): Análisis estadístico de las series anuales de máximas lluvias diarias en España. *Ingeniería Civil* 195, pp 87-100.

FERRERI, G.B. Y V. FERRO (1990): Short Duration Rainfalls in Sicily. *Journal of Hydraulic Engineering* 116, 3, pp 430-435.

HERSHFIELD, D.M. (1961): Rainfall frequency Atlas of the United States for durations from 30 minutes to 24 hours and return periods from 1 to 100 years. *Tech. Paper 40*, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C.

HOSKING, J.R.M. Y J.R.WALLIS (1997): *Regional Frequency Analysis*. Cambridge University Press. 224 pp.

LLASAT, M. C.(1998): Una clasificación de los episodios pluviométricos para su utilización en hidrología. Aplicación a la serie de intensidad de lluvia en Barcelona. *Ingeniería Civil* 112, pp 35-44.

PORRAS, P. J. Y J. PORRAS (2001): New Perspective on Rainfall Frequency Curves. *Journal of Hydrologic Engineering*, January/February, pp82-85.

MINISTERIO DE FOMENTO.DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (1999): *Máximas lluvias diarias en la España Península*, 28pp 2h., 25 h pleg de map. Centro de Publicaciones. Madrid

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE. Dirección General de Carreteras (1978): *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Secretaría de Publicaciones. Madrid, 123 pp.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE. Dirección General de Carreteras (1987): *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Alanmer, Madrid, 123 pp.