8 RESULTADOS. CASO PRÁCTICO: RIERA ROJA

Una vez calculados los términos de la peligrosidad y la vulnerabilidad (ver [8.1]), puede calcularse el número medio de desenlaces θ_i por unidad de tiempo (año), pues ese valor corresponde al parámetro de Poisson que describe todo el proceso:

$$\lambda(\theta_i) = \sum_j \underbrace{\lambda(u_0)\cdot P\left[X \in \left[u_j, u_{j+1}\right]\right]}_{PELIGROSIDAD} \cdot \underbrace{P\left[\theta_i \middle| X \in \left[u_j, u_{j+1}\right]\right]}_{VULNERABILIDAD}. \qquad [8.1]$$

La peligrosidad ha sido calculada para el rango de precipitaciones mayores a 1.511 (32.4 mm), y además se conoce el grado de incertidumbre asociado a cada valor del volumen de precipitación (ver *Figura 20*). La vulnerabilidad ha sido calculada según rangos de caudal vertido en superficie (tipos de desenlace) y para rangos de volumen, empezando en 1.5 (31.6 mm), aproximadamente igual a 1.511 (ver *Tabla 9*).

Tal y como se ha comentado en el *Apartado 3*, lo deseable sería haber encontrado que para el rango de precipitación más bajo simulado en la vulnerabilidad [1.50;1.55], la probabilidad de hallar una respuesta de la red diferente del correcto funcionamiento del sistema de drenaje fuese nula, pues no es posible mediante esta metodología hallar probabilidades de que ocurran ciertos desenlaces condicionados a la ocurrencia de sucesos de volumen de precipitación menores a $u_0 = 1.511$ (umbral en la definición de la GPD). Este no ha sido el caso, y resulta que para el rango de volumen de precipitación [1.50;1.55], existe una probabilidad igual a 0.05 de que se produzcan afecciones y la red no tenga capacidad para desaguar toda la escorrentía generada. Así pues, sería interesante conocer la frecuencia con que ocurren sucesos de magnitud menor a u_0 y cuál es la probabilidad de que para esos sucesos se produzcan unos u otro desenlaces. Es decir, habría que sumar a [8.1] el siguiente término

$$\underbrace{\lambda\left(X \in \left[u^*, u_0\right]\right)}_{9.2.A} \cdot \underbrace{P\left[\theta_i \middle| X \in \left[u^*, u_0\right]\right]}_{9.2.B}, \quad \mathrm{i} = 1,...7\,, \qquad [8.2]$$

donde $u^*=1.0$ (10 mm) y $u_0=1.511$ (32.4 mm).

- El término [8.2.A] se refiere a la ocurrencia de sucesos de precipitación de volumen (u^*,u_0), que sigue un proceso de Poisson. Puesto que estos sucesos de poco volumen son bastante frecuentes y abundan en el registro (extraído de la serie Fabra), puede estimarse directamente el número medio de sucesos de volumen de precipitación (u^*,u_0) por año como el número de sucesos de este tipo registrados, dividido por el número de años del registro. El resultado obtenido es de 8.061 sucesos de este tipo por año.

- El término [8.2.B], podría calcularse mediante simulación de Monte Carlo, pero dado que no se han caracterizado las lluvias para este rango, y que la tendencia de los resultados obtenidos es suficientemente significativa, se ha estimado que la probabilidad de que dado un suceso de precipitación (u^*,u_0), la probabilidad de que la red responda correctamente (rango [0;25] m^3) es de 0.99, y la probabilidad de que se produzcan vertidos de [25;1500] m^3 es de 0.01, siendo prácticamente nula para el resto del desenlaces posibles.

Llegado este punto, podrían obtenerse las valores para [8.1] utilizando los resultados directos de la vulnerabilidad y la mediana (percentil 0.50) de los resultados de la peligrosidad. Sin embargo, procediendo de esta manera se estarían desaprovechando los desarrollos realizados para cuantificar la incertidumbre en el cálculo de la peligrosidad. Aunque no se haya calculado la incertidumbre en el cálculo de la vulnerabilidad (sólo se ha promediado el resultado mediante simulación de Monte Carlo), puede obtenerse un límite inferior de la incertidumbre final de todo el proceso utilizando la incertidumbre asociada a la peligrosidad.

Para ello se han de recuperar los valores simulados de la distribución GPD (10000 simulaciones) necesarios para el cálculo de la peligrosidad en BGPE: $\lambda(u_0)$, ξ y β (ver *Figura 19*). Hay que recordar que cada uno de los términos de la peligrosidad se calcula (para cada rango de volumen de precipitación) como

$$\lambda(u_0)\cdot\left[F_Y\left(u_j|\xi,\beta\right)-F_Y\left(u_{j+1}|\xi,\beta\right)\right],\ u_j>u_0, \qquad [8.3]$$

donde F es la función de distribución acumulada de la GPD. Si para cada una de las 10000 ternas simuladas de los 3 parámetros anteriores se calcula la expresión [8.1], se obtienen el mismo número de resultados para cada desenlace θ_i y se pueden calcular los percentiles respectivos de forma que la incertidumbre final del cálculo de la probabilidad de inundación en la cuenca de la Riera Roja esté expresada por estos valores. Lógicamente, cada vez que es calcule [8.1], los términos de la vulnerabilidad y el término [8.2] serán iguales, por lo que sólo se puede hablar de límite inferior en las incertidumbres estimadas.

Los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla 10,* expresados en forma de parámetro de Poisson: número medio de desenlaces por año; y en periodo de retorno (inverso del parámetro de Poisson). La incertidumbre queda reflejada por los percentiles 0.05 y 0.95, siendo este el intervalo de confianza del 90%. De la misma manera que ocurría en la peligrosidad, la incertidumbre es mucho mayor para sucesos extremos, que corresponden ahora a vertidos de grandes caudales en superficie.

Los periodos de retorno correspondientes al rango de caudales vertidos [0,25] m^3, que representa aquellas respuestas en que la red de drenaje a funcionado correctamente (o casi correctamente), se basan en la descripción de sucesos de lluvia realizados para la peligrosidad (*Apartado 6*), donde se han eliminado del registro un número importante de sucesos de precipitación, cuando eran de muy pequeña magnitud (poco volumen o duración muy corta). Con esto se quiere hacer notar que pueden existir muchas más de [9.19;9.95] respuestas de la red de drenaje (por año) donde funcione correctamente, asociadas a eventos con los que no se ha trabajado (por debajo del umbral de referencia *u**). No obstante, los desarrollos realizados a lo largo de la tesina no se han visto afectados por la elección de este umbral, pues la GPD mantiene su forma independientemente del umbral escogido (tal y como se ha comentado en el *Apartado 6.2.1*)

	$\lambda(\theta_i)$			$\tau(\theta_i)$		
Q [m³] = θ_i	**0.05**	**0.50**	**0.95**	**0.05**	**0.50**	**0.95**
[0,25]	9.19	9.50	9.95	0.10	0.11	0.11
[25,1500]	0.21	0.24	0.29	3.46	4.15	4.80
[1500,7500]	0.08	0.11	0.14	6.96	9.24	11.98
[7500,20000]	0.05	0.06	0.09	11.25	15.68	21.84
[20000,50000]	0.04	0.06	0.08	12.16	17.75	26.34
[50000,100000]	0.02	0.03	0.04	25.11	39.31	64.18
[100000,max]	0.00	0.01	0.01	73.55	123.36	205.45

Tabla 10. Periodos de retorno (y parámetros de Poisson) asociados a la ocurrencia de vertidos en superficie según rangos de caudales vertidos.

En un principio, la red para la cual se han calculado las frecuencias de inundación de la tabla anterior, se había diseñado (rehabilitado) para hacer frente a la lluvia de proyecto de periodo de retorno 10 años suponiendo que en adelante, las frecuencias de inundación en la cuenca serían de 1 vez cada 10 años como media. Analizando los resultados obtenidos con los desarrollos llevados a cabo en esta tesina, se pueden observar diferencias sustanciales en cuando a las frecuencias de inundación estimadas, además de disponer de información más detallada y que incorpora la incertidumbre del proceso.

Resulta que la red de drenaje rehabilitada sufre, como media, vertidos de caudales entre 25 y 1500 m^3 una vez cada [3.46;4.80] años. Si bien estos vertidos son pequeños y poco perceptibles por el ciudadano, señalan que la red rehabilitada falla más frecuentemente de lo que se esperaba.

En términos de nivel de seguridad, también pueden obtenerse algunos datos interesantes. Por ejemplo, suponiendo una vida útil (*L*) de 50 años para esta red de drenaje, se tiene que la probabilidad de que ocurra algún suceso de precipitación que provoque vertidos de caudales mayores a 100000 m^3 es de [0.22;0.49], calculada según

$$P\left[N(\theta_i) \mid \tau(\theta_i), L\right] = 1 - \exp\left(-\frac{L}{\tau(\theta_i)}\right). \quad [8.4]$$

Esto significa que a lo largo de la vida útil existe una probabilidad nada despreciable de que se viertan centenares de miles de metros cúbicos de agua en superficie, provocando daños terriblemente cuantiosos, sino pérdidas humanas. Se puede considerar que el hecho de que cada pocos años se produzcan leves niveles de inundación es un hecho que afecta poco a la población (más a las Administraciones que tienen que explicar el porqué del malfuncionamiento de la red), pero que exista una probabilidad elevada de que a lo largo de la vida útil se produzca un nivel de inundación que ponga en peligro incluso vidas humanas, es una cuestión mucho más crucial. En este sentido es importante observar como diseñar en función de un periodo de retorno, además de incurrir en los errores explicados a lo largo de la tesina, puede enmascarar algunas cuestiones tan trascendentales como ésta.

En la siguiente tabla se muestran las probabilidades de que ocurra alguno de los diferentes desenlaces a lo largo de la vida útil estimada (25, 50 y 100 años):

	L=25 años			***L=50 años***			***L=100 años***		
Q [m³] = θ_i	**0.05**	**0.5**	**0.95**	**0.05**	**0.5**	**0.95**	**0.05**	**0.5**	**0.95**
[25,1500]	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
[1500,7500]	0.97	0.93	0.88	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00
[7500,20000]	0.89	0.80	0.68	0.99	0.96	0.90	1.00	1.00	0.99
[20000,50000]	0.87	0.76	0.61	0.98	0.94	0.85	1.00	1.00	0.98
[50000,100000]	0.63	0.47	0.32	0.86	0.72	0.54	0.98	0.92	0.79
[100000,max]	0.29	0.18	0.11	0.49	0.33	0.22	0.74	0.56	0.39

Tabla 11. Probabilidad de ocurrencia de alguno de los distintos desenlaces a lo largo de la vida útil de la red de drenaje.