

9 CONCLUSIONES

Aunque esta tesina está aplicada al caso particular de la cuenca de la Riera Roja en Sant Boi de Llobregat, las conclusiones que a continuación se exponen son de carácter general, ya que los desarrollos llevados a cabo a lo largo de este trabajo pueden extrapolarse al análisis de redes de drenaje en otras cuencas urbanas, especialmente de la zona mediterránea:

- La probabilidad de ocurrencia de los diferentes niveles de fallo de una red de drenaje (grados de afección según el nivel de inundación, por ejemplo), puede ser abordada mediante el cálculo de la peligrosidad y la vulnerabilidad, en base a un modelo de Poisson-GPD que describa la probabilidad de ocurrencia de los sucesos de precipitación y su volumen.
- Disponer de una serie pluviométrica como la del Observatorio Fabra, con más de 60 años de registro continuado es un elemento fundamental para poder realizar un análisis con garantías, tanto de la peligrosidad como de la vulnerabilidad, de forma que la incertidumbre de los resultados sea suficientemente ajustada. De todas maneras es necesario definir los sucesos de lluvia válidos del registro del Observatorio Fabra, de manera que sean independientes entre sí para poder garantizar que siguen un proceso de Poisson (hipótesis básica en todo el proceso), y trabajar únicamente con aquella parte de los sucesos que afecta al sistema de drenaje estudiado, eliminando las colas de baja intensidad que preceden o siguen al núcleo de las precipitaciones.
- Usando el programa BGPE es posible calcular la peligrosidad correspondiente a la ocurrencia de sucesos de precipitación de un volumen determinado y cuantificar la incertidumbre de esta estimación mediante técnicas Bayesianas. Algunos comentarios particulares pueden hacerse con respecto a la cálculo de la peligrosidad:
 - Trabajar en escala logarítmica (la variable volumen de precipitación) permite describir mejor las diferencias relativas entre los volúmenes de precipitación. De esta manera, la *Distribución Generalizada de Pareto* que describe la magnitud (el volumen) de precipitación de los sucesos se sitúa en el dominio de atracción de *Weibull*, limitando superiormente esta variable, de acuerdo a la física del problema.
 - La elección del umbral inferior del volumen de precipitación para la definición de la *Distribución Generalizada de Pareto* debe realizarse de acuerdo a la información a priori (conocimientos generales sobre la pluviometría de la zona de estudio) y a la información propia del registro de precipitaciones. En

cualquier caso, el umbral escogido no modifica la forma de la distribución, que es independiente con respecto a la elección de este valor.

- La incertidumbre en los resultados de la peligrosidad es creciente con el periodo de retorno de los sucesos. Es decir, la incertidumbre aumenta al describir los sucesos de volumen de precipitación más elevados, ya que no se dispone de registros suficientes de este tipo en la serie pluviométrica pese a su notable longitud temporal.
- El modelo matemático para la simulación hidrológica e hidráulica SWMM es una herramienta que permite modelizar eficazmente los procesos de generación de esorrentía y propagación de flujo por la red de drenaje de una cuenca urbana mediante la resolución de las ecuaciones de *Saint-Venant*, permitiendo la simulación de elementos como los depósitos de retención.
- El método de Monte Carlo es una herramienta válida para el cálculo de la vulnerabilidad en una cuenca urbana, de forma que se puede tener en cuenta la incertidumbre asociada a los parámetros de entrada (*inputs*) del sistema. Para ello es necesario describir la aleatoriedad de estas variables (estimar sus distribuciones), teniendo en cuenta todos los datos y conocimientos disponibles. Existen parámetros más determinantes que otros en la cálculo de las probabilidades de la vulnerabilidad, y que por tanto necesariamente deben ser tratados estocásticamente. Este es el caso de la forma y la duración de la precipitación (dado el volumen del suceso). Otros parámetros de gran influencia como la impermeabilidad del suelo, pueden ver reducida su incertidumbre mediante una exhaustiva caracterización y descripción del territorio.
- Aunque la capacidad de cálculo de procesadores y computadores ha mejorado espectacularmente en los últimos años, lo que permite el empleo del método de Monte Carlo incluso con modelos complejos, como el caso de SWMM, hay que tener en cuenta que sigue siendo un proceso que consume mucho tiempo. Para el cálculo de la vulnerabilidad en esta tesina se han necesitado aproximadamente 15 días de CPU.
- Los resultados de la probabilidad de ocurrencia del vertido de caudales en superficie (y la consecuente inundación) muestran que un diseño mediante una lluvia de proyecto de periodo de retorno T años, no implica que el fallo de la red se produzca una vez cada T años como media. Incluso se está, para el caso concreto de la Riera Roja, del lado de la inseguridad.
- El diseño tradicional en ingeniería de las redes de drenaje –determinista–, en base a un periodo de retorno asociado a una lluvia de proyecto, y que no tiene en cuenta la variabilidad y la incertidumbre de los parámetros de este problema (por ejemplo, la precipitación), puede ser revisado, dando paso al uso de técnicas como, por ejemplo, las expuestas a lo largo de esta tesina.
- Mediante un análisis en términos de peligrosidad y vulnerabilidad es posible conocer mejor el nivel de seguridad asociado a la red de drenaje diseñada, calculando las probabilidades de ciertos grados de afección (o inundación) a lo largo de la vida útil de la red. En este sentido es interesante ver como puede

ser más determinante diseñar para evitar probabilidades elevadas de ocurrencia de sucesos muy catastróficos frente al hecho de que más frecuentemente ocurran pequeños malfuncionamientos de la red de drenaje, que difícilmente pueden ser causantes de grandes pérdidas económicas o incluso humanas.

Tal y como se ha comentado a lo largo de este trabajo, sería deseable que el diseño escogido para la construcción (rehabilitación o ampliación) de una red de drenaje fuese consecuencia de un análisis completo del riesgo asociado a los diferentes diseños posibles, en base a los cálculos de la peligrosidad y vulnerabilidad realizados. En consecuencia, se recogen seguidamente algunas líneas de trabajo que no han sido abordadas aquí y que podrían ser objeto de futuros trabajos, constituyendo una continuación natural de los resultados expuestos en esta tesina:

- Realización del análisis de vulnerabilidad mediante simulación de Monte Carlo, incorporando el tratamiento estocástico de un mayor número de parámetros, como la pendiente natural de las subcuencas, sus porcentajes de impermeabilización, la capacidad de infiltración, las pérdidas por retención, etc.
- Cálculo de las probabilidades de afección en términos de nivel de inundación en superficie (frente al concepto de caudal total vertido en superficie en los diferentes nodos de cálculo de SWMM).
- Descripción cuantitativa y no sólo cualitativa de la incertidumbre asociada al cálculo de la vulnerabilidad.
- Incorporación de los factores necesarios para un análisis global de todo el sistema de drenaje, incluyendo además la red de drenaje, la capacidad de captación de los imbornales, la capacidad de los colectores-interceptores, la propagación en superficie de los caudales vertidos, etc.
- Análisis del coste asociado a los diferentes niveles de inundación (según quien sea el tomador de la decisión en cuanto al nivel de seguridad escogido, se adoptarán unos criterios determinados).
- Evaluación del riesgo mediante el estudio de los costes asociados a las inundaciones y a la construcción de la red de drenaje, para cada uno de los diferentes diseños analizados, pudiendo así elegir el diseño óptimo que minimice estos costes.