
TESIS DOCTORALES

GARCÍA LORENZO, Rafael. *Peligrosidad de las aguas de avenidas en los cruces de carreteras con ramblas. Estudio aplicado a la franja costera meridional de la Región de Murcia*. Departamento de Geografía, Facultad de Letras, Universidad de Murcia. Diciembre 2010. Director: Carmelo Conesa García.

INTRODUCCIÓN

Los objetivos de la presente Tesis son la identificación de la peligrosidad en las intersecciones de ramblas con carreteras y la aplicación de diferentes índices, producto de análisis cuantitativos y valoraciones cualitativas basadas en un extenso trabajo de campo reunido en fichas descriptivas.

Se analizan las diferentes obras de drenaje que afectan al área de estudio, sus funciones y requerimientos para optimizar el tipo de diseño, la ubicación y la eficiencia de las obras de drenaje transversales a los flujos de avenida. Ello sirve de base para conocer la peligrosidad de los cruces de carreteras con ramblas, que a su vez depende del nivel de exposición de las infraestructuras viarias y del tipo de cruce de carretera.

Para la obtención de datos de caudal se ha empleado el método del hidrograma unitario (MHU) y el método racional modificado (MRM), así como la integración de métodos de geometría hidráulica y técnicas de teledetección. Complementariamente, se han adoptado modelos hidráulicos y métodos empíricos para la estimación de la erosión del lecho y del transporte de fondo.

JUSTIFICACIÓN

La ocupación de zonas de riesgo, la falta de medidas y sistemas de prevención y de estrategias de mitigación, de legislación, etc., implica unos costes en muchos casos gratuitos y evitables. La escasez de estudios y datos contrastados sobre el impacto de los riesgos en España contribuye también a la insuficiente atención que, hasta ahora, han prestado las instituciones científicas, técnicas, administrativas y políticas a esta materia.

Existe una normativa muy estricta a la hora de evaluar el impacto ambiental de una obra pública, por ejemplo; pero se carece de una normativa similar para evaluar su riesgo para los ciudadanos. Así, a pesar de que en España las inundaciones son recurrentes en periodos de tiempo más o menos estables y sobre las mismas áreas, la ley sigue siendo demasiado laxa a la hora de evitar la construcción de edificios y urbanizaciones en zonas de riesgo como ramblas, torrentes o barrancos. El 95% de las muertes por inundación ocurridas en España desde 1990 se produjeron en estos terrenos potencialmente peligrosos.

El 96,5% de víctimas mortales en inundaciones se ha producido en pequeñas cuencas, en inundaciones torrenciales. Este hecho no hace sino corroborar lo que ya se sabía para la

segunda mitad del siglo XX: el problema de las inundaciones en España desde la perspectiva humana no es un problema de los ríos medios y grandes, donde la lentitud de la crecida permite en último extremo la evacuación, sino de los arroyos y cursos torrenciales. El número de muertos y de pérdidas materiales es cada vez mayor debido a una ocupación antrópica intensiva e indiscriminada de abanicos, terrazas y llanuras aluviales.

También la desaparición de la cubierta vegetal en las márgenes de los ríos es una causa añadida de riesgo de inundación. El agua erosiona más rápidamente las laderas, arrastrando materiales en suspensión que agravan los efectos de la inundación al dificultar la evacuación rápida del cauce. Se produce de esa manera el efecto pantalla que, en los casos extremos, provoca una retención y acumulación muy peligrosa del agua. La rotura de estas «presas naturales» son las que suelen provocar las mayores catástrofes por inundación. En otras ocasiones, el efecto pantalla está provocado por obras de infraestructuras lineales como autovías o ferrocarriles. También los periodos de deshielo pueden causar inundaciones catastróficas en las ciudades ribereñas.

La mayor peligrosidad de las infraestructuras viarias ante las aguas de escorrentía superficial se produce en los tramos de intersecciones carretera-rambla. En tales tramos, el nivel de peligrosidad por desbordamiento e inundación se halla condicionado por el tipo de ajuste morfológico impuesto por las estructuras y, sobre todo, por la obstrucción y escaso dimensionamiento de las obras de drenaje. Los datos de la cobertura de la red vial y los vectoriales de tramos inundables han sido completados con una detallada información de campo en los puntos concretos de cruces (diseño y dimensiones de obras de drenaje, nivel de ocupación del lecho fluvial, tipos de sedimentos y vegetación ripícola, cambios morfológicos aguas arriba y abajo de las estructuras, valores de caudal pico para diferentes tiempos de retorno, niveles *bankfull*, *flood prone*, etc.).

Una primera valoración general de la peligrosidad-vulnerabilidad de los cruces de carretera con ramblas requiere conocer: a) el nivel de exposición de las infraestructuras viarias y su uso; b) el grado de ineficiencia de las obras de drenaje en ellas instaladas (capacidad de desagüe de las estructuras menos los caudales punta de diferente tiempo de retorno o caudales hidromorfológicos); c) el tipo de cruces de carretera con ramblas (puentes, alcantarillas y badenes); y d) el peligro de obstrucción de las estructuras de drenaje.

METODOLOGÍA Y FUENTES

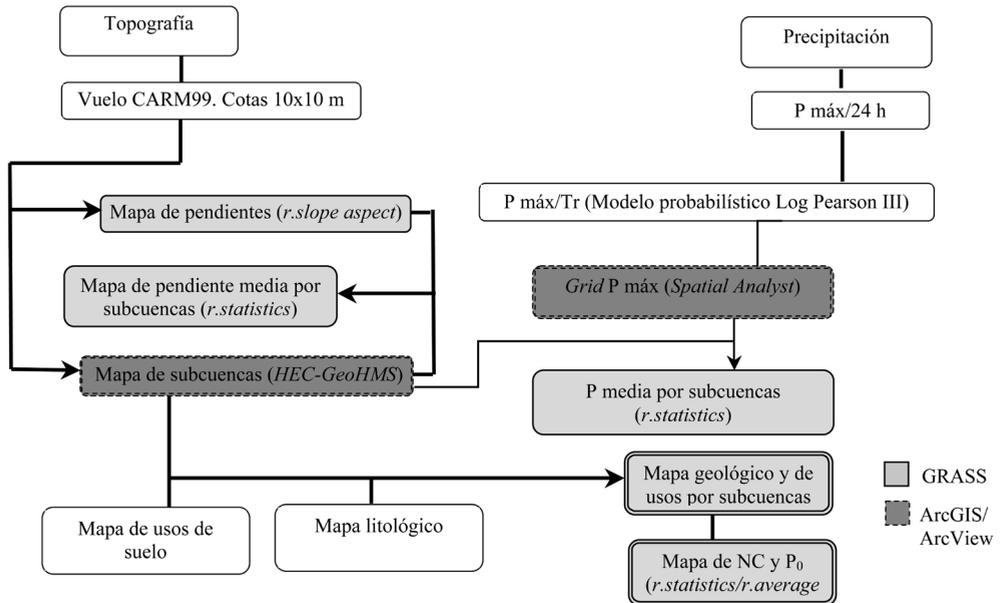
La selección de las ramblas y tramos de estudio ha requerido un importante trabajo recopilatorio de datos de diarios, archivos y fondos bibliográficos, así como un exhaustivo reconocimiento de campo, dando como resultado las siguientes consecuciones:

- Actualización de datos sobre eventos de inundación en los términos municipales de Cartagena, Mazarrón y Águilas, desde el año 2000, a través de noticias de prensa, ayuntamientos y Protección Civil.
- Obtención de datos de precipitación máxima en 24 horas correspondientes a las series disponibles en los observatorios que cubren el área de estudio (INM, IMIDA).

Para el análisis estadístico de las series de precipitación máxima diaria se ha utilizado, junto con los métodos de Gumbel I y Log Pearson III, una ley de distribución de dos parámetros, *SQRT-ETmax* (*SQRT-Exponential Type Distribution of Maximum*). Los

parámetros se han estimado usando el método de máxima verosimilitud (*Maximum Likelihood*). Con estos métodos se ha calculado la precipitación máxima diaria predecible para cada estación y diferentes tiempos de retorno.

- Selección de 26 cuencas. Para dicha selección se han empleado modelos digitales de elevación, consultado imágenes y fotografías aéreas de gran escala y llevado a cabo un exhaustivo trabajo de reconocimiento de campo, todo ello con el fin de identificar las cuencas vertientes cuyo funcionamiento comporta un riesgo significativo para la población y demás usos del suelo.



El proceso comienza en ArcView empleando un MDE en formato ASCII [*(*.asc)*; en el área de estudio se ha empleado un MDE con una resolución de celda de 10 x 10 m]. A partir del *grid* se obtienen conjuntos de datos que describen los patrones de drenaje de la cuenca: dirección y acumulación de flujo, definición y segmentación de cauces (por subcuencas y confluencias), delimitación de cuenca y subcuencas.

Posteriormente, con GRASS se obtienen distintas capas necesarias para completar los datos de geometría hidráulica (mapas de número de curva, precipitación media por subcuencas), que junto a los datos del cauce principal de una cuenca (longitud, pendiente) son el punto de partida para la aplicación del modelo hidrometeorológico.

- Comprobar, en las cuencas seleccionadas, los cambios producidos, desde el año 2000, en relación con los sectores de la construcción, agrícola (en su mayoría cultivos bajo invernaderos) y de comunicaciones.
- Cálculo de caudales mediante modelos hidrometeorológicos.

Los tipos de métodos de hidrograma aquí adoptados son el HU adimensional del SCS ajustado a una función *gamma*, el HU Témez *gamma* y el basado en el método racio-

nal modificado (MRM) de Témez. Al volumen precipitado en 24 horas obtenido por cuencas se le aplica una distribución temporal del tipo SCS, eligiendo cuál es el intervalo temporal más adecuado al tamaño de la cuenca. El adimensional del SCS es un hidrograma unitario sintético en el que se expresan los caudales en función del caudal pico (q_p), y los tiempos en función del tiempo al pico (T_p), estimados q_p y T_p a partir del HU triangular del SCS. En cambio, las fórmulas de Témez y el método racional modificado (MRM) emplean la pendiente del cauce para el cálculo del tiempo de concentración, lo que genera con frecuencia valores superiores a los del SCS, ya que la pendiente del cauce suele ser siempre menor que la media de la cuenca.

— Modelización hidráulica.

Para la delimitación de áreas inundables se ha cargado en ArcView la extensión de HEC-GeoRAS. Ésta indica paso a paso las capas que han de crearse: cauce principal, márgenes, dirección de corriente, secciones transversales, y las capas que complementan a las anteriores, aunque no sean estrictamente necesarias para la exportación a HEC-RAS, como el mapa de valores de número de curva, motas y áreas de corriente inefectiva. A continuación se asignan cotas a las capas de información bidimensional mediante la superposición de un modelo digital de elevaciones triangular (TIN) generado a partir de curvas de nivel o mapas ráster. Una vez generado, el archivo de exportación *.*sdf* puede leerse en HEC-RAS, donde pueden editarse los datos geométricos ya en 3D (principalmente, para interpolar secciones transversales). Los datos de caudal para cada tiempo de retorno se introducen en el paquete de datos de flujo.

— Selección de tramos y secciones de cauce para el trabajo de campo.

Para el análisis de competencia de la corriente y tensión crítica del lecho se han seleccionado 58 tramos afectados por el cruce de carreteras, repartidos en 15 cuencas de ramblas vertientes al litoral sur de la Región de Murcia. Cada uno de ellos está dotado de una longitud media de 400 m, que se reparten en dos subtramos de 200 m, uno situado aguas arriba del citado cruce y otro aguas abajo. Aproximadamente 200 m constituyen la longitud media de las cuñas sedimentarias y de los segmentos de lecho directamente afectados por la interposición de carreteras con nulo o escaso drenaje transversal en esta área. En cada subtramo se han realizado muestreos granulométricos y mediciones de geometría hidráulica para dos secciones: una a 100 m del cruce de la carretera, evitando la zona inmediata, de flujo turbulento, y otra a 200 m, situada en el límite del subtramo de referencia. De esta manera, han sido controladas 4 secciones por tramo: dos en el segmento situado aguas arriba del cruce de carretera, y las otras en el segmento de cauce aguas abajo del mismo.

— Elaboración de índices de peligrosidad.

Entre las aplicaciones más útiles de un trabajo como este se encuentra la elaboración de índices basados en variables cualitativas y cuantitativas. El índice de peligrosidad específica de carreteras, está basado únicamente en la combinación de tres capas de información: cobertura de red vial con especificación de clases de carreteras, datos vectoriales de tramos con peligro de inundabilidad o circulación de aguas y datos vectoriales de tramos con distinta categoría de carretera e intensidad de tráfico (*IMD*). Para establecer los niveles de exposición se han empleado los mapas de aforos de *IMD* de vehículos y *IMD_p* de tráfico pesado efectuados por la Dirección General de Carreteras de la CARM. El índice de peligrosidad

hidrológica se ha desarrollado para dos tipos de cruces: i) pasos de carretera provistos de caños y alcantarillas, y ii) cruces de carreteras enrasados con fondos de ramblas. Usa datos de caudal, anchura de carretera, velocidad y calado. Por último, otro índice destacado es el de peligrosidad hidrogeomorfológica, que emplea datos propios de la medición de variables geomorfológicas del lecho: tasa de acorazamiento, tamaño del sedimento, erosión transitoria, entre otros.

CONCLUSIONES

Las aportaciones del trabajo van desde una clasificación de la peligrosidad de cruces de carretera con ramblas a la definición de propuestas de gestión de los datos sobre peligrosidad orientadas a estrategias y planes de protección civil. La información generada tras combinar datos cualitativos (exposición, cobertera vegetal) y cuantitativos (precipitación, caudal, pendiente, tamaño de partículas sedimentarias, geometría de las estructuras de drenaje, tráfico de vehículos) dan lugar a unos índices de peligrosidad global, geomorfológica, hidrológica e hidráulica, asociados principalmente a niveles de exposición, grado de ineficiencia, obstrucciones y obstáculos.

Tras la aplicación de los índices y la comparación de distintos enclaves de la zona de estudio se aprecia que varios puntos de cruce de la carretera N-332 son realmente peligrosos por su exposición y la entidad de las ramblas que la atraviesan (especialmente Benipila y Valdelentisco).

Hay que destacar la inexistencia de una red suficiente de control de estos episodios de avenida en ramblas (sistema SAIH) lo que facilitaría la gestión del territorio en momentos críticos y previos al peligro (prevención antes que actuación o corrección).

En lo que respecta a los cruces con puentes, son en casi un 65% capaces de desaguar caudales con tiempo de retorno de hasta 500 años. Tanto las alcantarillas como los tramos enrasados (badenes) son mucho menos eficientes, presentando en el primer caso algunos ejemplos de obstrucción por acumulación de sedimentos aguas arriba de la infraestructura y de erosión aguas abajo, imprimiendo en dichos tramos gran inestabilidad al lecho.

Debido a la proximidad de los relieves al mar, la pendiente es la variable más decisiva en la dinámica morfológica de estos cursos, ya que reduce enormemente las tasas de infiltración, genera tiempos de concentración de la escorrentía muy cortos y reduce de forma notoria los tiempos de retardo de los hidrogramas de avenida. Los caudales transportan una fuerte carga sólida, de fondo y en suspensión, que aumenta el potencial erosivo de la corriente, pero al mismo tiempo favorece la obstrucción y relleno de numerosas obras de drenaje, especialmente caños y alcantarillas (costa occidental).

Estos resultados deben llegar a las administraciones encargadas de la protección civil, ya que la importante base de datos creada al respecto proporciona una información valiosa de gran utilidad para la planificación territorial y gestión de riesgos hidrológicos e hidrogeomorfológicos en la zona.

Como la información geográfica no se entiende sin la representación gráfica o cartográfica, deben aprovecharse las nuevas tecnologías de la información para difundir esta información, siendo una buena opción los visores web. Éstos son fáciles de manejar y permiten

una interacción para que el usuario obtenga información eligiendo las capas deseadas (estándares *Open Geospatial Consortium*).

Finalmente, la integración, mantenimiento y manejo de los datos, así como la creación de un Atlas interactivo de peligrosidad hidrológica e hidromorfológica en cruces de carreteras con ramblas son aplicaciones prácticas concretas de la Tesis, que tienen una importante proyección para la toma de decisiones y gestión de este tipo de riesgos a escala local y regional.